



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option: DEPARTEMENT AMENAGEMENT ET GENIE HYDRAULIQUE

THEME :

**ETUDE DE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS
DU CENTRE DE LA VILLE DE HONAINE
(WILAYA. TLEMCEM)**

Présenté par :

ZENAINI Chaimaa

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
HADJ SADOK Ahmed	M.C.A	Président
ZEROUAL Ayoub	M.C.A	Examineur
BOUZIANE Mamar	M.A.A	Examineur
BENSALAH Mohamed Draid	M.C.B	Promoteur

Dédicace

Je suis reconnaissante à tous ceux qui ont eu du mérite durant mon parcours d'étude et m'aident, même avec un peu. Je dédie cette thèse en signe d'amour, de respect et mes gratitudes :

A mon père et A ma mère

*Auxquels je dois ce que je suis. Mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi, avec leur soutien, patience et leurs sacrifices pendant mes études et pendant ce projet. Vous êtes ma source de force qui fais de moi la personne que je suis fière de l'être. Mama, Abi quoi que je fasse ou que je dise je ne vous remercierais jamais comme je le devrais.
Que Dieu vous protège et vous garde pour moi.*

A ma chère sœur

J'ai tellement de chance d'avoir une sœur comme toi, tu es ma star, mon bonheur, tu me soutiens toujours malgré la distance qui nous sépare. je suis vraiment fier que tu sois ma sœur Hanane.

A mes chers frères

Pour leur encouragement permanent, leur soutien moral et l'amour qu'ils n'ont pas cessé de me fournir, vous êtes ma source d'espoir et de motivation.

A mes chers grands parents

Pour leur amour, leur tendresse, leur soutient et leurs prières tout au long de mes études.

A mes amis

Qui étaient toujours présents à mes côtés, qui m'ont aimée inconditionnellement. Puisse Dieu vous garder et vous aider à réaliser à votre tour vos vœux.

ZENAINI Chaimaa

Remerciement

En tout premier lieu, je remercie le bon Dieu chaque jour pour tous les bienfaits dont il nous a comblés. De m'avoir donné la force et la volonté d'étudier et de terminer ce modeste travail, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés tout au long mes années d'études.

Je tiens à exprimer mes sincère gratitude à mon encadreur Mr. BENSALAH.M pour son soutien et ses conseils et sa disponibilité.

Je tiens à remercier du fond du cœur aussi :

L'ensemble du personnel et enseignants de l'Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique (ENSH), et à tous les professeurs qui m'ont accompagné durant toutes ces cinq années.

Toute ma gratitude s'adresse aussi à Mme.REZMA.H. pour sa disponibilité, le temps qu'elle consacré et les précieuses information qu'elle ma prodiguées avec intérêt et compréhension.

J'adresse aussi mes vifs remerciements aux membres des jurys qui m'on fera l'honneur d'examiner et d'apprécier mon travail.

ملخص

تشهد مدينة هنين الواقعة شمال غرب الجزائر في ولاية تلمسان خطر الفيضانات الناتجة عن الامطار الغزيرة التي تعرفها المنطقة سنويا، إضافة إلى الوديان المارة وسط المدينة المتمثلة في واد هنين و واد منزل، و التي لطالما خلفت خسائر مادية مختلفة، وبذلك تعد هذه الظاهرة خطرا كبيرا على المنطقة و سكانها . لهذا تطرقنا إلى إقتراح نظام تهئية الاودية من خلال دراسات عديدة من بينها: الدراسة الهيدولوجية باستخدام برنامج ArcGIS من أجل تحديد مصدر التدفق وانتقاله الى المنفذ، تحليل هطول الامطار و تحديد كمية التدفق و الدراسة الهيدولوجية للمحاكاة باستخدام برنامج Hec-Ras . من خلال عملنا هذا ناقشنا الطول المختلفة و قمنا باختيار الحل الأنسب من الناحية التقنية والاقتصادية بهدف الحد من خطر الفيضانات وحماية وسط مدينة هنين.

الكلمات المفتاحية: هنين ، خطر الفيضانات ، الامطار الغزيرة ، التدفق ، نظام تهئية الاودية ، حماية.

Résumé

La ville de Honaine est située au nord-ouest de l'Algérie Willaya de Tlemcen, cette ville est menacée par les inondations résultant des pluies torrentielles annuelles, plus les oueds passant au centre de la ville tel qu'oued Honaine et oued Menzel qui ont toujours causé diverses pertes matérielles, c'est pour ça ce phénomène représente un grand danger sur la région et leurs habitants.

C'est pourquoi nous avons traité la proposition d'un système d'aménagement des cours d'eau à travers de nombreuses études, dont l'étude hydrologique à l'aide du logiciel ArcGIS afin de déterminer la source d'écoulement et son transfert à exutoire, l'analyse des précipitations du débit. L'étude hydraulique pour la simulation à l'aide du programme Hec-Ras.

A travers de notre travail, nous avons échangé sur différentes solutions et choisi la solution la plus appropriée techniquement et économiquement afin d'assurer la protection contre les inondations du centre de Honaine.

Mots clés: Honaine, les inondations, pluies torrentielles, débit, système d'aménagement, protection.

Abstract

Honaine is located in the northwest of Algeria city of Tlemcen, this town threatened by floods resulting from the annual torrential rains, plus the wadis passing through the center of the city such as oued Honaine and oued Menzel, which have always caused various material losses. That is why this phenomenon represents a great danger for the region and their inhabitants .

For this reason, we have dealt with proposing a system of landscaping of the rivers through numerous studies, including the hydrological study using ArcGIS software in order to determine the source of flow and its transfer to the outlet, analysis of flow precipitation. The hydraulic study for the simulation using Hec-Ras program.

Through our work, we discussed different solutions and chose the most technical and economic appropriate solution to ensure flood protection in the center of Honaine

Keywords: Honaine, flood, torrential rains, landscaping system, protection.

Sommaire

Chapitre I Généralités sur les inondations

Introduction Générale

Introduction

I.1 Les principales causes des inondations	2
I.2 Les crues.....	3
I.2.1 Éléments descriptifs d'une crue.....	3
I.2.2 Principaux paramètres nécessaires pour évaluer une crue et l'ampleur des dégâts engendrés.....	4
I.3 Type des Crues	4
I.4 Composition d'un bassin.....	5
I.5 Paramètres Fondamentaux d'un cours d'eau	5
I.5.1 lit d'un cours d'eau	5
I.5.2 Rive, berge	6
I.5.3 Alluvions et substratum.....	6
I.6 Risque naturel.....	6
I.6.1 Aléa.....	7
I.6.2 Vulnérabilité.....	8
I.7 Inondation.....	9
I.8 Types d'inondations.....	9
I.8.1 Les inondations lente	9
I.8.2 Les inondations par crue torrentielle.....	10
I.8.3 L'inondation par ruissellement pluvial en milieu urbain.....	10
I.8.4. L'inondation par submersion marine.....	10
I.9 Les inondations en Algérie	11
I.9.1 Les causes des inondations en Algérie	12
I.10 Les inondations dans la ville de Honaine	13
I.11 Conclusion	14

Chapitre II La situation géographique Et topographique

II.1 Introduction	16
II.2 Situation Géographique.....	16
II.3 Géomorphologie.....	17
II.3.1. Topographie et Relief.....	17
II.3.2. Géologie	19
II.3.3 La sismicité.....	19
II.3.4 Pédologie.....	21

II.3.5 Infrastructure et le réseau routière.....	22
II.4 Situation Climatique	23
II.4.1. Précipitations	23
II.4.2. Température	24
II.4.3. Les vents	24
II.5 Situation Hydrographique	24
II.6 Occupation du sol	25
II.7 Conclusion	25

Chapitre III Etude Hydrologique

Introduction	27
III.1. Caractéristiques principales du bassin versant	27
III.1.1. Bassin versant	27
III.1.1.1. Caractéristiques géographiques du bassin versant	27
III.1.1.2. Caractéristiques morphologiques du bassin versant	29
III.1.1.2.1 caractéristique du relief	29
III.1.1.2.2 Les caractéristiques de forme	37
III.1.1.2.3 Les caractéristique hydrologique	38
III.2. Etude des précipitations	44
III.2.1. Pluviométrie	44
III.2.1.1. Répartition de la pluie moyenne dans le bassin	44
III.2.1.2. Précipitation moyenne interannuel	45
III.2.1.3. Estimation de la pluie max journalière	45
III.2.1.3.1. Calcul des paramètres statistique de la série pluviométrique.....	46
III.2.1.3.2. Test d'homogénéité de la série pluviométrique.....	47
III.2.1.3.3. Ajustement de la série pluviométrique.....	48
III.2.1.3.4. Pluie courte durée de diffèrent fréquence.....	54
III.2.2. Etude des apports	57
III.3. Etude des crues	60
III.3.1. Détermination des débits maximums fréquentiels	60
III.3.1.1. Détermination des débits maximums fréquentiels par les formules empiriques	60
a. Formule de Mallet-Gauthier	60
b. Formule de TURZZA	61

c. Formule de SOKOLOVSKY	61
III.3.1.2. Détermination des débits maximums fréquents par la méthode GRADEX	62
III.3.2. Hydrogrammes de crue	67
III.3.3. Choix de la crue de projet	70
III.4. Etude des apports solides	70
Conclusion	72

CHAPITRE IV : Etude de diagnostic du cours d'eau non aménagé

Introduction	74
IV.1. Généralités (Graf et al, 1993)	74
IV.1.1. Ecoulement à surface libre	74
IV.1.2. Canaux à ciel ouvert	74
IV.1.3. Types l'écoulement	75
IV.1.4. Régime l'écoulement	77
IV.2. Diagnostique et modélisation du cours d'eau non Aménagé	79
IV.2.1. Etat des oueds de la zone d'études	79
IV.2.2. Modélisation de l'écoulement.....	81
IV.2.2.1. Présentation du logiciel HEC-RAS	82
IV.2.2.2. Etapes de simulation par HEC-RAS	82
IV.3. Les zones inondables.....	87
Conclusion	88

CHAPITRE V : Etudes des variantes d'aménagement

Introduction	89
V.1. Principe d'aménagement	89
V.1.1. Les différents types d'aménagements	90
V.1.1.1. Curage	90
V.1.1.2. Recalibrage	90
V.1.1.3. Endigement/enrochement.....	90
V.1.1.3.1. Les différents types de revanche	91
V.1.1.4. Réalisation des canaux.....	91
V.1.2. Conception des canaux	91

V.1.3. Choix des paramètres de dimensionnement	91
V.1.3.1. La pente du projet d'un canal	92
V.1.3.2. Le coefficient de rugosité d'un canal.....	92
V.1.3.3. Revanche des Canaux.....	93
V.1.3.4. Vitesse d'érosion.....	93
V.2. Etude des variantes.....	93
V.2.1. Aménagement en béton armé (et canal trapézoïdale)	94
V.2.1.1. Dimensionnement	94
V.2.1.2. Les paramètres d'écoulement	95
V.2.1.3. Estimation financière.....	98
V.2.2. Aménagement en Gabion (canal mixte gabion et béton armé)	98
V.2.2.1. Dimensionnement	99
V.2.2.2. Les paramètres d'écoulement.....	99
V.2.2.3. Estimation financière	102
V.3. Choix de la variante d'aménagement	102
V.3.1. Critères d'évaluation.....	102
V.3.2. Description de la variante choisit	102
Conclusion	103

CHAPITRE VI : Organisation de chantier

Introduction	105
VI.1. Généralité	105
VI.1.1. Installation de chantier	105
VI.1.2. Plan d'installation	105
VI.1.3. Les différents intervenants sur le chantier.....	105
VI.1.4. Les différentes phases à réalisation d'un projet	106
VI.1.5. Les engins de chantier	107
VI.2. Devis quantitatif et estimatif du projet	107
VI.3. Planification	108
VI.3.1. Méthode bases sur le resau.....	108
VI.3.1.1. Définition.....	108
VI.3.1.2. Construction du réseau	108

VI.3.2. Méthode basée sur le graphique	109
VI.3.3. Les étapes de planification	109
VI.3.4. Choix de la méthode de calcul (BENLAOUKLI ,2004)	110
VI.3.4.1. Les paramètres de calcul dans la méthode	110
VI.3.4.2. Chemin critique (C.C)	110
VI.3.5. Diagramme de Gantt	111
VI.4. Elaboration du réseau selon la méthode CPM	112
Conclusion.....	114
Conclusion générale.....	115

Liste des tableaux

Chapitre I Généralité sur les inondations

Tableau I.1 Les types de vulnérabilité.....	7
---	---

Chapitre II La situation géographique Et topographique

Tableau III.1 Coefficient d'accélération.....	18
Tableau II.2 Précipitations moyennes mensuelles de la période (1983-2015).....	23
Tableau II.3 Températures moyennes mensuelles de la période (1983-2015)	24

Chapitre III Etude Hydrologique

Tableau III.1 Caractéristiques Morphométriques des sous bassins versants d'oued Honaine	29
Tableau III.2 Les résultats de calcul d'altitude du bassin versant	30
Tableau III.4 Répartition Hypsométrique d'Oued Honaine.....	32
Tableau III.5 Classification du relief selon Ig donné par l'ORSTOM	34
Tableau III.6 Classification O.R.S.T.O.M selon la dénivelé spécifique (type de relief).....	35
Tableau III.7 Les résultats de calcul des différentes pentes de bassin versant d'oued Honaine.....	35
Tableau III.8 Correspondance valeur de Kc et type de réponse attendue.....	37
Tableau III.9 1Les résultats de calcul des indices de forme.....	38
Tableau III.10 résultat de calcul de la densité hydrographique et le coefficient de torrentialité	41
Tableau III.11 La pente moyenne du cours d'eau du bassin versant	41
Tableau III.12 Le temps de concentration de bassin versant d'oued Honaine en heure ... Error! Bookmark not defined.	
Tableau III.13 Caractéristique Morphométriques du relief.....	43
Tableau III.14 Caractéristique Morphométriques de forme	43
Tableau III.15 Caractéristique Morphométriques de forme	43
Tableau III.16 Station pluviométrique exploitée dans l'étude.....	44
Tableau III.17 Pluies maximales journalières prise de la station 040101	46
Tableau III.18 Caractéristiques de la série pluviométrique.....	46
Tableau III.19 Résultat de l'ajustement à la loi de GAUSS (loi Normal).....	49
Tableau III.20 Comparaison des caractéristiques de la loi normale et de l'échantillon	50
Tableau III.21 Résultat de l'ajustement à la loi de GALTON (loi Log-Normal).....	51
Tableau III.22 Comparaison des caractéristiques de la loi Log-normale et de l'échantillon.....	52
Tableau III.23 Résultat de l'ajustement à la loi de GUMBEL	52
Tableau III.24 Comparaison des caractéristiques de la loi Gumbel et de l'échantillon.....	53
Tableau III.25 Comparaison des caractéristiques des lois.....	54
Tableau III.26 Les précipitations et les intensités pour les différentes fréquences.....	55
Tableau III.27 Résultats de calcul d'apport liquide par les formules empiriques	58
Tableau III.28 calcul des erreurs pour le choix de l'apport moyen liquide	58
Tableau III.29 calcul de débit maximum fréquentiel selon la formule de Sokolovsky	61
Tableau III.30 calcul de débit maximum fréquentiel selon la formule de Mallet-Gauthier.....	61
Tableau III.31 calcul de débit maximum fréquentiel selon la formule de Turraza.....	62

Tableau III.32 Les débits maximums de crue de bassin versant d'oued Honaine	62
Tableau III.33 les caractéristiques de la loi de Gumbel	64
Tableau III.34 Débits de pointe de bassin versant par la méthode GRADEX.....	66
Tableau II.35 les débits calculés par la méthode de GRADEX et la formule de TURRAZA	67
Tableau III.36 Les valeurs des débits de pointe optées	67
Tableau III.37 Les valeurs des débits de pointe optées pour oued Honaine et oued Menzel	67
Tableau III.38 Coefficients de forme de l'hydrogramme de crue δ	68
Tableau III.39 Valeurs des débits de crues en fonction du temps	68
Tableau III.40 Estimation de la crue du projet.....	71
Tableau III.41 Estimation du coefficient de perméabilité.....	72

CHAPITRE V : Etudes des variantes d'aménagement

Tableau V.1 Valeurs de coefficient de rugosité	94
Tableau V.2 Valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolidés.....	94
Tableau V.3 Dimensions du canal en béton armé d'oued Honaine	95
Tableau V.4 Dimensions du canal en béton armé d'oued Menzel.....	95
Tableau V.5 Paramètres d'écoulement de la variante canal en béton armé (oued Honaine).....	Error!
Bookmark not defined. 95	
Tableau V.6 Paramètres d'écoulement de la variante canal en béton armé (oued Menzel)	Error!
Bookmark not defined.	
Tableau V.7 Devis de la variante (canal en béton armé).	99
Tableau V.8 Caractéristique géométrique de la section gabionnée	99
Tableau V.9 Dimensions du canal mixte	100
Tableau V.10 Dimensions du canal mixte d'oued Menzel	99
Tableau V.11 Paramètres d'écoulement de la variante canal mixte d'oued Honaine	100
Tableau V.12 Paramètres d'écoulement de la variante canal mixte d'oued Menzel.....	101
Tableau V.13 Devis de la variante (canal mixte).....	Error! Bookmark not defined. 103

CHAPITRE VI : Organisation de chantier

Tableau VI.1 Engins utilisés	108
Tableau VI.2 Le devis des différents travaux de l'aménagement des oueds de la zone d'étude	109
Tableau VI.3 Liste des opérations avec leurs durées (Premier chantier).....	112
Tableau VI.3 Liste des opérations avec leurs durées (deuxième chantier).....	112
Tableau VI.3 Succession des tâches (oued Honaine)	112
Tableau VI.4 Succession des tâches (oued Menzel)	114

Liste des figures

Chapitre I Généralités sur les inondations

Figure I.1 Eléments descriptif d'une crue.....	4
Figure I.2 Composition d'un bassin.....	5
Figure I.3 Lit d'un cours d'eau.....	6
Figure I.4 coupe transversale d'une plaine alluviale	6
Figure I.5 Définition 5 risque naturel.....	7
Figure I.6 Risque naturel	8
Figure I.7 inondation a montée lente	9
Figure I.8 écoulement lors d'une crue torrentielle	10
Figure I.9 inondations par ruissellement pluvial.....	10
Figure I.10 inondation et les submersion marine	11
Figure I.11 inondation torrentielle avril 2018.....	11
Figure I.12 inondation de novembre 2001.....	11
Figure I.13 inondation de septembre 2019 Alger	12

Chapitre II La situation géographique Et topographique

Figure II.1 La situation géographique de la commune de Honaine dans la wilaya de Tlemcen.....	16
Figure II.2 Image satellitaire de la commune de HONAINÉ.....	17
Figure II.3 Carte topographique Honaine, altitude	18
Figure II.4 Carte de micro zonages de l'Algérie.....	18
Figure II.4 Géologie de la commune de Honaine	22
Figure II.5 Réseau routier de la commune de Honaine.....	23
Figure II.6 Réseaux Hydrographie de la commune de Honaine.....	25

Chapitre III Etude Hydrologique

Figure III.1 Présentation des Sous Bassins Versant d'oued Honaine.....	28
Figure III.2 Carte hypsométrique du bassin versant.....	25
Figure III.3 Courbe hypsométrique du bassin versant.....	32
Figure III.4 les intervalles de pente du bassin versant d'oued Honaine	33
Figure III.5 Courbe de niveau du bassin versant d'oued Honaine.....	36
Figure III.6 Le réseau hydrographique du bassin versant d'oued Honaine.....	40
Figure III.7 station pluviométrique de GHAZAOUET.....	44
Figure III.8 Répartition mensuelle des précipitations.....	45
Figure III.9 Représentation des pluies maximum journalières de 32 ans.	48
Figure III.10 Ajustement à la loi de GAUSS (loi normal).....	50
Figure III.11 Ajustement à la loi de GALTON (loi Log-normal).....	51

Figure III.12 Ajustement à la loi de GUMBEL	53
Figure III.13 La courbe des pluies de courte durée de différent fréquence.....	56
Figure III.14 La courbe des intensités en fonction de temps de différent fréquence	56
Figure III.15 La représentation graphique de la loi Gumbel	64
Figure III.16 Graphe de la méthode de GRADEX	66
Figure III.17 hydrogramme de crue	70

CHAPITRE IV : Etude de diagnostic du cours d'eau non aménagé

Figure IV.1 canal naturel	75
Figure IV.2 Canaux artificiels à ciel ouvert	76
Figure IV.3 Ecoulement permanent.....	77
Figure IV.4 Ecoulement non-permanent.....	77
Figure IV.5 Schéma illustrant les différents types d'écoulements.....	78
Figure IV.6 Passage du régime fluvial au régime torrentiel	79
Figure IV.7 amont de L'oued HONAINE.....	81
Figure IV.8 Traversé de L'oued Honaine au niveau du port.....	81
Figure IV.9 Traversée de l'Oued Menzal à l'enbochure.....	82
Figure IV.10 Traversée busé de l'Oued Menzal	82
Figure IV.11 Les profils en travers d'oued Honaine.....	84
Figure IV.12 Les profils en travers d'oued Menzal	84
Figure IV.13 Vue en Plan en 3D d'Oued Honaine après la simulation.....	85
Figure IV.14 Profil en long d'Oued Honaine après la simulation.	86
Figure IV.15 Vue en Plan en 3D d'Oued Menzel après la simulation.	86
Figure IV.16 Profil en long d'Oued Menzel après la simulation.....	87
Figure IV.17 Exemple d'une section en travers d'oued Honaine (station 400)	87
Figure IV.18 Exemple d'une section en travers d'oued Menzel (station 150).....	88
Figure IV.19 Les zones inondables de centre de Honaine.....	88

CHAPITRE V : Etudes des variantes d'aménagement

Figure V.1 Le reprofilage et le recalibrage d'un cours d'eau.....	91
Figure V.2 Les caractéristiques géométriques pour Les différentes formes de canaux.....	93
Figure V.3 Schéma d'un canal trapézoïdal en béton armé	Error! Bookmark not defined. 93
Figure V.4 Section du profil B32 (canal trapézoïdal en béton armé)	99
Figure V.5 Section du profil B9 (canal trapézoïdal en béton armé)	Error! Bookmark not defined. 97
Figure V.6 Section du profil A14 (canal trapézoïdal en béton armé)	98
Figure V.7 Section du profil A3 (canal trapézoïdal en béton armé)	Error! Bookmark not defined. 98
Figure V.8 Coupe en travers d'un canal en gabion.....	Error! Bookmark not defined. 99
Figure V.9 Section du profil B3 (canal en Gabion oued Honaine)	101
Figure V.10 Section du profil A10 (canal en Gabion oued Menzel).....	101
Figure V.11 Section du profil A17 (canal en Gabion oued Menzel).....	102
Figure V.12 Section du profil A5 (canal en Gabion oued Menzel).....	102 Error! Bookmark not defined.

CHAPITRE VI : Organisation de chantier

Figure VI.1 Réseau de planification des taches (premier chantier) par la méthode CPM.....	101
Figure VI.2 Réseau de planification des taches (deuxième chantier) par la méthode CPM.....	118

Liste des planches

Planche N°1 : Vue en plan de la zone de MENZEL (Wilaya de TLEMCEN)

Planche N°2 : Vue en plan de la zone de HONAINNE (Wilaya de TLEMCEN)

Planche N°3 : Profil en long des Oueds HONAINNE et MENZEL (Wilaya de TLEMCEN)

Planche N°4 : Section en travers des oueds HONAINNE et MENZEL (Wilaya de TLEMCEN)

Introduction Générale

L'inondation est un des principaux risques naturels étaient d'origine météorologique ou hydrologique dans le monde, c'est la catastrophe naturelle la plus destructrice et même la plus fréquente qui provoque le plus de dégâts humains et matériels. Ces dernières années en raison du changement climatique, les inondations représentent une menace mondiale majeur.

L'Algérie est l'un des pays confrontés aux phénomènes de crues et d'inondations et particulièrement ces deux dernières décennies, on assiste en Algérie aux effets dévastateurs d'inondations qui affectent tous le territoire du pays. Ces phénomènes constituent une contrainte majeure pour le développement économique et social. C'est pourquoi est nécessaire de faire face à ces grands risques naturels.

Notre étude porte sur la lutte contre les inondations de la zone de Honaine wilaya de Tlemcen, quel est traversée par deux cours d'eau importants au niveau de la région. Oued Menzel et oued Honaine, ce dernier a connu ces dernières années une augmentation intense de la densité d'habitation au niveau des deux rives, cela a augmenté sa vulnérabilité aux débordement.

L'objectif de ce travail sera donc l'aménagement de ces cours d'eau. Pour cela, on a effectué plusieurs étapes, dont la première étape est de bien détaillées la zone d'étude. Après une étude hydrologique afin d'estimer les débits des crues correspondants aux différentes périodes de retours, cette étude est basée sur une analyse statistique fréquentielle des données pluviométriques. Ensuite une étude hydraulique consiste à donner une modélisation hydraulique en utilisant le logiciel HEC-RAS qui utilise à son tour le débit prévu précédemment, la géométrie, la pente et la rugosité du cours d'eau afin d'avoir en sortie les lames d'eaux correspondantes. Puis on propose des solutions sous forme plusieurs variantes dont on choisira la mieux adaptée pour la protection du centre de Honaine.

A la fin de ce mémoire on fera une étude d'organisation de chantier visant à gérer le bon déroulement du projet afin d'avoir une idée sur le coût et le délai de réalisation de l'aménagement.

CHAPITRE I
Généralités sur les inondations

Introduction

Le risque d'inondation en Algérie fait partie des dix risques majeurs présents sur le territoire qui a été cité au titre de la loi 04-20 du 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable (J.O.R.A., 2004). Il est en deuxième position après les séismes et les risques géologiques dans le classement national des risques majeurs, à cause de l'ampleur des dégâts matériels et immatériels engendrés.

En Algérie, particulièrement ces deux dernières décennies, on assiste aux effets dévastateurs d'inondations qui affectent aussi bien le Nord que le Sud du pays. Ces phénomènes sont imprévisibles dans le temps et dans l'espace, elle constitue une contrainte majeure pour le développement économique et social.

C'est pour cette raison qu'il faut prendre en considération ces aléas naturels afin de réduire ces effets néfastes sur le déroulement des crises et l'ampleur des impacts humains et économique. Car le risque n'est pas le même sur les différents territoires exposés, puisque ni l'aléa ni la vulnérabilité ne sont les mêmes.

Le but principal de ce chapitre est la présentation des notions et concepts Fondamentaux liés à ce phénomène aléatoire ainsi que les enjeux et la vulnérabilité de ce dernier.

I.1 Principaux causes des inondations

Les principales causes des inondations se divisent en deux grandes parties :

1. Les causes des inondations terrestres :

Les causes des inondations terrestres qui peuvent se produire dans l'intérieur des terres :

- Le débordement direct d'un cours d'eau dans son lit majeur, suite à des épisodes de fortes précipitations ou à la fonte des neiges hivernales
- Le débordement indirect d'une réserve d'eau (de surface ou souterraine) suite à la remontée des nappes phréatiques ou bien d'eaux à travers les canalisations.
- L'accumulation des eaux de ruissellement suite à des précipitations abondantes. Il se peut en effet que les capacités de drainage et d'infiltration d'une zone soient insuffisantes pour évacuer les eaux reçues, qui s'accumulent alors. Ce phénomène est accru lorsqu'il y a eu une imperméabilisation des sols (urbanisation) sans création d'un réseau d'évacuation suffisant.
- La rupture d'un ouvrage de protection contre les inondations, comme un barrage ou une digue. Un défaut de conception, un manque d'entretien ou tout simplement un volume d'eau trop important peuvent créer une brèche puis une rupture de l'ouvrage. Les conséquences sont en général catastrophiques car le flux d'eau est soudain et très puissant.

2. Causes des inondations marines

Les causes des inondations marines affectent le littoral, parmi ces causes nous mentionnons :

- La marée haute de vives eaux exceptionnelle : à l'équinoxe, lorsque les conditions astronomiques sont favorables, le coefficient de marée peut frôler la valeur maximale de 120. C'est alors que se produisent les marées les plus importantes qui, parfois, inondent les terres du littoral.

- Les phénomènes de surcote, qui provoquent une élévation supplémentaire du niveau de la marée haute. Ondes de houle, vagues, dépressions atmosphériques et plus rarement tempêtes et tsunamis créent une élévation locale du niveau des eaux sur le littoral. Ces phénomènes rendent alors possible une pénétration des eaux marines à l'intérieur des terres.
- La rupture d'un ouvrage de génie civil sur le littoral est encore une fois possible.
- L'élévation du niveau de la mer suite au réchauffement climatique. Cette montée des eaux à long terme menace des zones qui ne sont actuellement pas inondables et fragilisent celles qui le sont.

L'ensemble de ces mécanismes peut bien entendu se combiner et créer les conditions d'une inondation d'ampleur très importante aux conséquences dévastatrices.

I.2 les Crues

Une crue est qualifiée comme étant un terme plutôt hydrologique, elle peut être défini par l'augmentation plus ou moins brutale du débit ou le dépassement d'une certaine hauteur un cours eau permanent ou non, due à une précipitation ou éventuellement à une autre cause (la fonte de neige, des pluies torrentielles...etc.). Cette hauteur d'eau peut être qualifiée en fonction de sa durée de retour, une **crue décennale** pour une hauteur d'eau ou un débit qui a une chance sur dix de se produire chaque année.

Une crue est caractérisée par quatre paramètres à savoir :

- Le débit.
- La hauteur d'eau.
- La vitesse d'écoulement.
- La durée.

Une crue est représentée graphiquement par un hydrogramme en fonction des variations de débit avec le temps. Plus précisément, est la partie montante de Cette hydrogramme qui est appelé « crue », la partie descendante représente « la décrue ».

I.2.1 Eléments descriptifs d'une crue

Une crue peut être décrite par quatre éléments comme c'est illustré sur la Figure I.1, dont en cite les points suivants (Hafiane i. et Benzaid I., 2019) :

- **Temps de concentration** : Durée nécessaire à la goutte d'eau tombée au point le plus éloigné du bassin pour atteindre l'exutoire.
- **Pointe de crue** : Puissance de la crue et durée de la période critique.
- **Courbe de tarissement** : Retour de la rivière au niveau antérieur à la crue.
- **Fréquence de retour** : Une crue centennale a, chaque année, une chance sur cent (1/100) de se produire.

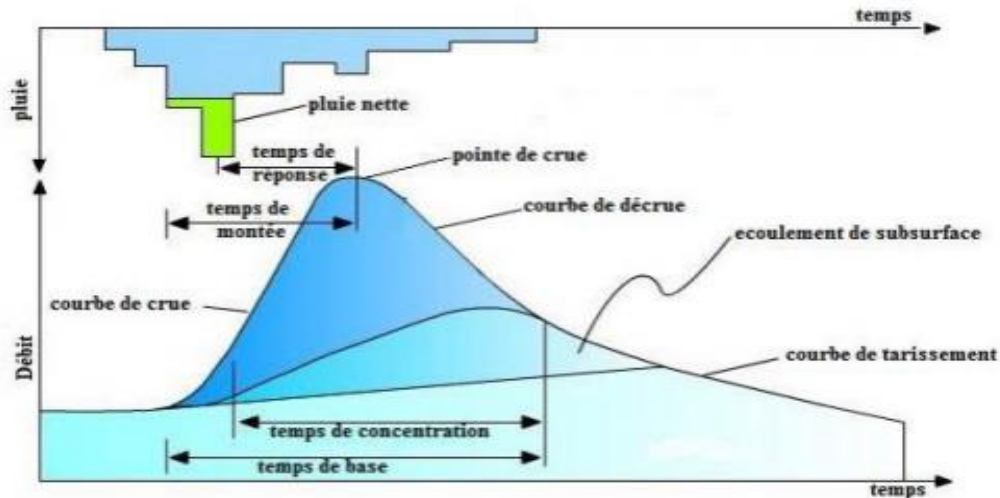


Figure I.1 Eléments descriptif d'une crue

Source : (Hafiane i. et Benzaid I., 2019)

I.2.2 Principaux paramètres nécessaires pour évaluer une crue et l'ampleur des dégâts engendrés

Les principaux paramètres nécessaires pour évaluer une crue se résume comme :

- La période de retour des crues.
- La hauteur et la durée de submersion.
- La vitesse d'écoulement.
- Torrentialité du cours d'eau.

La possibilité d'apparition d'une crue dépend de nombreux paramètres autres que ceux cités antérieurement, exemple : la répartition spatiale et temporelle des pluies par rapport au bassin versant, l'évaporation et la consommation d'eau par les plantes, l'absorption d'eau par le sol, les infiltrations dans le sous-sol ou le ruissellement...etc.

Les dégâts occasionnés par les inondations dépendent des paramètres suivants :

- La hauteur de submersion.
- La durée de submersion.
- Les vitesses d'écoulement.
- Le volume de matériaux solide transportés.
- L'érosion des bergs

I.3 Type des Crues

On distingue plusieurs types de crue :

- Simples : lorsqu'elles n'ont qu'une cause principale, telles celles résultant :
 - De la rupture de barrage naturel comme les crues d'embâcles (amoncellement d'objets flottants).

- D'averse provoquée par des pluies intenses sur un bassin versant imperméable ou imperméabilisé dont le sol est déjà saturé, où l'eau ruisselle directement sur les versants jusqu'à la rivière.
- Liées à la fonte des neiges (crues nivales) mais plus encore à des averses de printemps venant gonfler les débits déjà soutenus dus à la fusion nivale.
- Les crues complexes dues à l'interférence de plusieurs causes sur un même bassin versant.

I.4 Composition d'un bassin

Un bassin versant c'est un espace drainé par un cours d'eau et ses affluents et toutes les eaux dans cet espace écoulent et convergent vers un même point de sortie appelé exutoire. Il se compose d'un bassin de réception, chenal d'écoulement et talweg.

- **Bassin de réception** : est la plus haute partie d'un torrent où les eaux se rassemblent.
- **Chenal d'écoulement** : est la zone de transfert des matériaux du lit.
- **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.



Figure I.1 Composition d'un bassin
Source: cours Mr. AMMARI (slideshare.net)

I.5 Paramètres Fondamentaux d'un cours d'eau

I.5.1 lit d'un cours d'eau

En fonction de débit, la crue peut être contenue dans le lit mineur ou déborder dans le lit moyen ou le lit majeur.

- **Lit mineur** : c'est le chenal apparent limité par des berges franches dans lequel s'écoulent les basses eaux et le débit moyen annuel.
- **Lit majeur** : est la zone d'expansion des crues exceptionnelles dont la période de retour est de l'ordre de cent ans. Il s'agit donc des zones basses situées de part et d'autre du lit mineur, sur une distance qui va de quelques mètres à plusieurs kilomètres.
- **Lit moyen** : entre les deux lits précédents, sur lesquels s'écoulent les crues moyennes.

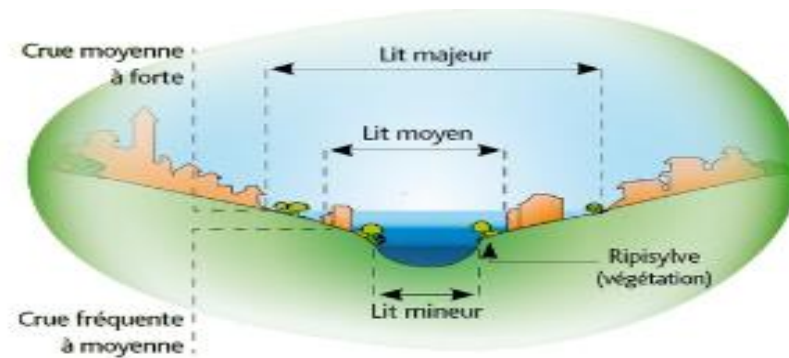


Figure I.3 lit d'un cours d'eau

Source : Smmar.org

I.5.2 Rive, berge

Une berge est le talus incliné plongeant dans l'eau qui sépare le lit mineur et le lit majeur. Tandis que la rive est le milieu géographique qui sépare les milieux aquatique et terrestre. Elle démarre au sommet de la berge et constitue une partie plate plus ou moins étendue qui reste sous l'influence du milieu aquatique.

I.5.3 Alluvions et substratum

Les alluvions sont les grains fins ou grossiers alternativement déposés ou repris par le courant. Elles recouvrent le substratum qui est une couche formée d'une roche dure ou plus ou moins tendre (grès, marnes...).

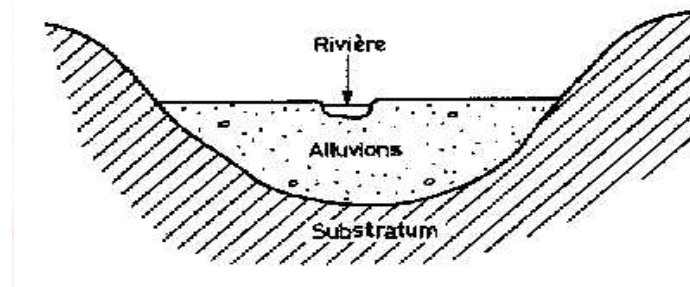


Figure I.4 coupe transversale d'une plaine alluviale

Source : hmf.enseiht.fr

I.5 Risque naturel

Le risque naturel peut être défini comme étant la probabilité pour les communautés et les populations d'être exposé aux aléas, de subir des dommages humains, économiques et socio-culturels, des destructions et de leurs biens et de leur environnement.

Le risque naturel résulte de la conjonction spatiale et temporelle d'un aléa naturel caractérisé par sa localisation, son intensité et sa fréquence d'apparition, avec des enjeux vulnérables. Comme c'est illustré sur la figure I.4 « Le Risque est le résultat de la combinaison d'un aléa et d'éléments vulnérables »

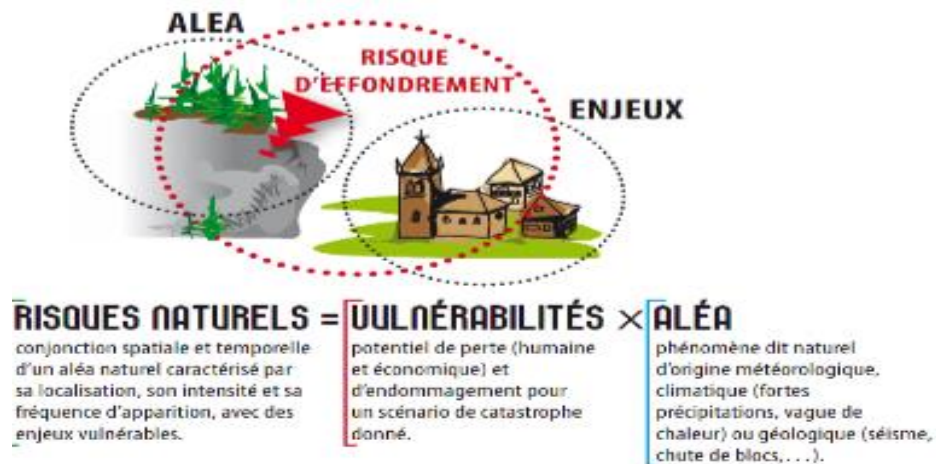


Figure I.5 Définition de risque naturel

Source : risknat.org

Selon la définition du concept de risque, il est la résultante de la conjugaison et le croisement entre deux facteurs : Aléas et enjeux qui peuvent se formaliser par l'expression suivante :

$$\text{Risque} = \text{Aléa} * \text{Vulnérabilité}$$

Les risques sont classés en général par nature ont :

Risque naturel : qu'est un risque déclenché par un phénomène dans lequel la nature est l'unique composante, sa source est donc un ou plusieurs aléas naturels, il peut être d'origine :

- Géologique : Séisme, Tsunami, Eruption volcanique, Mouvement du Terrain;
- Climatique : inondation, cyclone, Ouragan, Tempête et Vent, Avalanche, Sécheresse;
- Environnementale : Déforestation, Désertification...etc.

Les risques technologiques : Ils regroupent les risques industriels, nucléaires, biologiques, rupture de barrage.

Les risques de transports collectifs : (personnes, matières dangereuses) sont un cas particulier des risques technologiques car les enjeux varient en fonction de l'endroit où se produit l'accident

Les risques de la vie quotidienne : (accidents domestiques, accidents de la route ...)

Les risques liés aux conflits.

I.5.1 Aléa

L'Aléa est un phénomène ou évènement, naturel ou humain, potentiellement dommageable en terme de perte en vies humaine et matériel, susceptibles d'interrompre les activités économiques et socioculturelles et détruire l'environnement et les biens.

Un aléa dit naturel d'origine météorologique, climatique (ex : les fortes précipitations, une vague de chaleur) ou géologique tels que : Séisme, Chute de blocs...etc.

I.5.2 vulnérabilité

La vulnérabilité est liée à celle d'insécurité de danger réel dont il faudrait pouvoir se préserver, elle représente par conséquent un paramètre fondamental pour la prévention. La vulnérabilité est le rapport de la fragilité du site et la gestion préventive.

$$\text{Vulnérabilité} = \frac{\text{Fragilité du site}}{\text{Gestion (préventive)}}$$

A titre d'exemple : pour un risque à une inondation fluviale, nous avons :

- L'aléa : la crue du cours d'eau.
- Les enjeux : les personnes et les biens, notamment les immeubles.
- La vulnérabilité : la hauteur, à la solidité et à l'étanchéité des immeubles face au débordement.

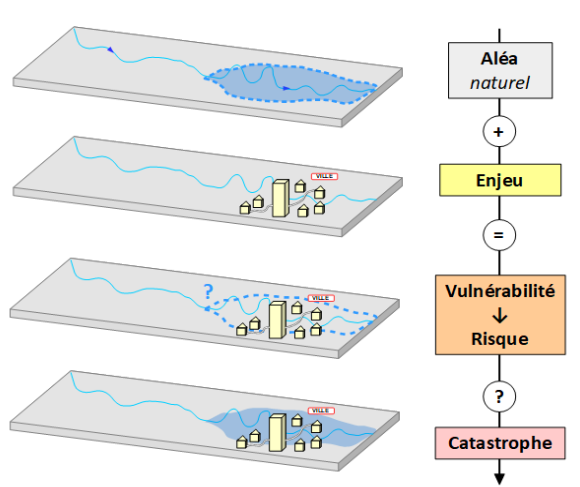


Figure I.6 Risque naturel

Source : wikipedia.org

Il existe trois types de vulnérabilité qui sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau I.1 Les types de vulnérabilité

Type de vulnérabilité	Porte sur
La vulnérabilité physique	<ul style="list-style-type: none"> - Bâtiment à usage d'habitation - Équipement - Infrastructures de communications - Infrastructure de transport
La vulnérabilité environnement	<ul style="list-style-type: none"> - Dégradation des ressources naturelles - La perte de résistances des systèmes écologique et la diminution de la biodiversité - Modification des paysages - L'exposition aux polluants toxiques et dangereux - Service de base VRD

La vulnérabilité sociale	Facteurs sociaux influençant la vulnérabilité	<ul style="list-style-type: none">- La croissance démographique- La densité de la population
	Groupes sociaux vulnérables	<ul style="list-style-type: none">- Enfants- Personne âgées- Groupes intellectuellement, psychologiquement handicapés

I.6 Les inondations

Une inondation est la submersion par des eaux d'une zone généralement émergée, cette submersion peut se faire lentement ou brutalement. Elles constituent un risque majeur du monde et figurent au premier rang des catastrophes naturelles dans le monde en occasionnant environ 20 000 victimes par an (Simona et Cedric, 2007).

I.7 Types d'inondations

I.7.1 Les inondations lente

Ce type d'inondation est connue par le progressivement lent de sa hauteur lorsque qu'il sort de son lit mineur et inonde la plaine pendant une période relativement longue. La rivière occupe son lit moyen et éventuellement son lit majeur. Cette inondation concerne les terrains bas.

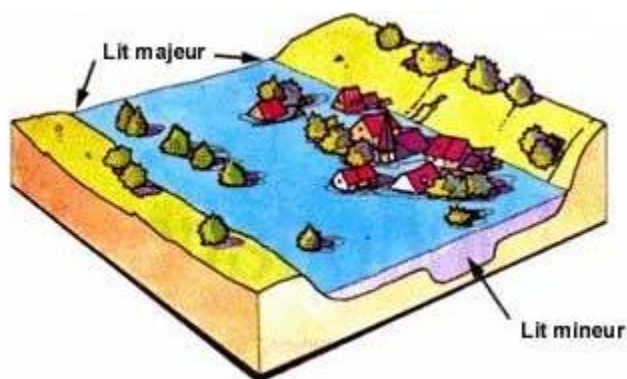


Figure I.7 inondation a montée lente

Source : e-monsite.com

I.7.2 Les inondations par crue torrentielle

Les crues torrentielles représentent une menace permanente pour beaucoup de villages de montagne qui se trouvent implantés sur le cône de déjection de torrents. La soudaineté de ces crues et la puissance des écoulements qui en résultent les rendent particulièrement dévastatrices.

Elles se produisent sur une période inférieure à 12 heures, ce qui rend la prévention très difficile. Le cours d'eau peut transporter de grandes quantités de flottants comme des branches, ou des déchets ce qui se traduit par une forte érosion du lit et un dépôt des matières transportées.



Figure I.8 écoulement lors d'une crue torrentielle

Source : slideshare.net

I.7.3 L'inondation par ruissellement pluvial en milieu urbain

Les inondations par ruissellement en secteur urbain sont provoquées par l'augmentation du volume d'eau ruisselée dans les rues sur le site ou qui ne sont pas absorbés par le réseau d'assainissement superficiel et souterrain.



Figure I.9 inondations par ruissellement pluvial

Source: unblog.fr

I.7.4. L'inondation par submersion marine

Une submersion marine est une inondation temporaire de zone côtière, lors un évènement météorologiques (tempête, cyclone, forte dépression et vent de mer), ou océanographiques (houle, marée, tsunami). Elle est due des plus hauts jets d'eau de mer de la bordure maritime dépassent la crête des accumulations littorales, provoquant un transfert d'eau et parfois de sédiments sur le versant terre de cordon littoral.

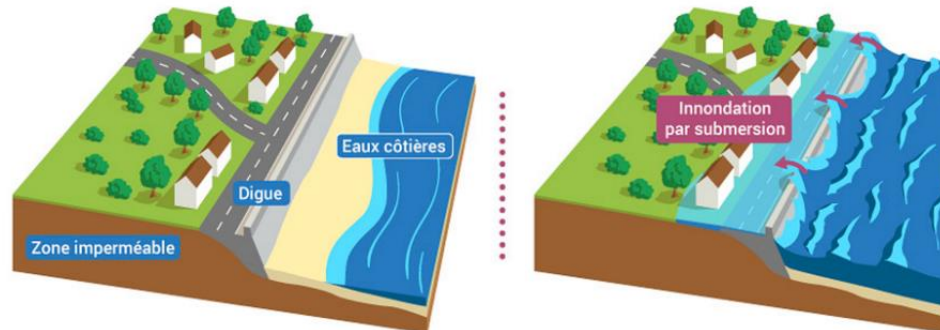


Figure I.10 inondation et les submersion marine

Source : eaufrance.fr

I.8 Les inondations en Algérie

L'Algérie reste un pays confronté aux phénomènes de crues et des inondations qui se manifestent de façon catastrophiques elles constituent une contrainte majeure pour le développement économique et social. Telles que :

- Les inondations 1874, 1900 et de Mars 1973 sur l'Est Algérien.
- De Janvier 1992 sur le centre Algérien,
- De Janvier 1999, Les inondations sur l'Ouest du Sahara Algérienne
- D'Octobre 2000 à Sidi Bel Abbes
- De novembre 2001 sur la cote Algéroise (inondation de Bab El Oued).



Figure I.12 inondation de novembre 2001
Source: reflexiondz.net



Figure I.11 Inondations torrentielle El-Bayad avril 2018
Source : mediaterranee.com



Figure I.13 inondation de septembre 2019 Alger
Source : dia-algerie.com

I.8.1 Les causes des inondations en Algérie

➤ Perturbations météorologiques

L'Algérie est soumise régulièrement à des systèmes perturbés pluvieux très diversifiés liés d'une part à sa grande superficie et d'autre part à sa situation géographique considérée comme position centrale entre les phénomènes d'origine polaire et tropicale, subissant des sécheresses et des inondations d'ampleur et de périodicité variable. En effet, les fortes pluies qui se produisent généralement entre septembre et mai, sont dues essentiellement aux perturbations du front polaire. Elles sont provoquées par l'arrivée de masses d'air polaire de l'arctique et qui se régénèrent fortement lorsqu'elles parviennent sur les eaux chaudes de la Méditerranée. Le fort flux de chaleur d'humidité de la mer vers les masses d'air est en effet prépondérant dans l'intensification des perturbations. Ces dernières peuvent parfois pénétrer vers les régions sahariennes, elles sont alors fortement alimentées en humidité en provenance des régions tropicales. Une analyse des perturbations atmosphériques dites "sévères" (précipitations supérieures à

30 mm pendant 24 heures) ayant affectées l'Algérie, le nombre des perturbations varie considérablement d'une année à l'autre, jusqu'à 33 pendant l'année 1997/98, et seulement 15 perturbations en 1989/90. (Yahiaoui & Touaibia, 2012).

Les inondations liées à des situations météorologiques remarquables se traduisant par une forte pluviosité (pluie importantes, orages violents), tels que les inondations de décembre 1957 des bassins de Mazafran et de la Sebaou, les inondations de l'automne 1969 en Algérie et en Tunisie, les inondations catastrophiques de mars 1973 sur l'Est algérien, les inondations de mars 1974 des bassins versants de l'Algérois et de la Sebaou les inondations de décembre 1984 sur tout l'Est algérien etc... (Yahiaoui & Touaibia, 2012).

➤ Une urbanisation érigée aux bords des oueds et rivières

Depuis quatre décennies, les villes algériennes connaissent une poussée démographique due à l'exode rural. Cet afflux massif des populations vers les villes a entraîné une extension urbaine et une densification du tissu urbain. Les populations issues de ce phénomène sont confrontées au problème de logement, bien social, dont l'Etat n'arrive pas à définir une véritable politique afin de donner à chaque Algérien un cadre de vie idéal. Face à cette situation, les populations, à majorité des classes sociales défavorisées, se livrent à l'auto construction occupant des espaces instables (fonds de Oueds), où les systèmes d'assainissement sont inexistantes ou ne répondent pas fonctionnellement et quantitativement au défi de l'urbanisation. (Yahiaoui, 2012).

Le nombre de constructions dans les zones inondables dans toutes les wilayas du pays est remarquable ou on trouve 14545 quartiers plus Merdja et Baraki dans la wilaya d'Alger, 06 cités pour la wilaya d'Oran, 1261 constructions dans la wilaya de Sétif, et 30 cités et quartiers dans la wilaya de Annaba (Yahiaoui, 2012).

➤ Un environnement topographique défavorable

Inondations produites dans des régions présentant un environnement topographique défavorable comme le cas des villes traversées par des cours d'eau (Bordj Bou Arreridj, Oued R'Hiou Bel Abbés) ou situées au pied d'une montagne (Ain Defla, Batna, Médéa). Ces agglomérations à forte concentration des populations et sous l'effet d'une urbanisation anarchique et non réglementée présentent des grands risques, des pertes humaines et des destructions de constructions sont enregistrées à chaque inondation aussi légère qu'elle soit.

I.9 Les inondations dans la ville de Honaine

Honaine c'est une ville côtière c'est-à-dire la submersion marine représente un risque sur la ville, plus qu'elle a un réseau hydrographique développé au centre de la ville.

Ce qui pose un problème d'inondation énorme aux agriculteurs et aux habitants de la région après chaque forte précipitation.

I.10 Conclusion

Les inondations représentent un risque majeur sur le territoire national, et engendrent des dégâts de graves conséquences sur les personnes, l'activité économique, les infrastructures, l'environnement et le patrimoine culturel. Elles peuvent endommager ou détruire les logements et les zones d'activités touchées par la montée des eaux. C'est pour cette raison qu'il faut mobiliser d'importants moyens humains, techniques et financiers pour renforcer la gestion de ce risque.

Cela est à travers la description du régime des crues d'un bassin versant qui nécessite une banque de données pluviométriques et hydrométriques, ainsi qu'une analyse statique qui permet de connaître la nature du régime et le débit de pointe donc le débit de dimensionnement des différents aménagements sur un cours d'eau.

CHAPITRE II
Présentation de la zone d'étude

II.1 Introduction

La présentation de la situation géographique et topographique de la zone d'étude est une phase très importante avant tout projet d'aménagement d'un Oued, pour cela la collecte des données doit être menée correctement, afin de l'élaboration de notre étude et de protéger contre les risques de ce phénomène et prévoir ces catastrophes.

Le but de ce chapitre est de présenter la zone d'étude et de déterminer les caractéristiques géographiques et physiographiques, qui sont indispensables à la compréhension future des mécanismes hydrologiques des cours d'eaux.

II.2 Situation Géographique

Honaine est une commune de la wilaya de Tlemcen, elle occupe la partie nord-est de cette zone des Traras orientaux, située à l'extrême nord-ouest de l'Algérie, à 60 km au nord-ouest de Tlemcen et à 120 km à l'ouest de Sidi Bel Abbés, à 141 km de la ville d'Oran et de 560 km de la capitale .

Elle s'étend sur 5700 hectares pour 5390 habitants, répartis de manière inégale soit une densité de 95 hab/km² (monographie de la wilaya de Tlemcen 2008). Avec des activités s'articulant autour d'une agriculture très peu développée et implantée dans les talweg d'oued.

Les communes limitrophes de Honaine :

- Nord : Mer Méditerranée.
- Est : la commune de Beni Khellad.
- Ouest : la commune de Dar yaghmouracene.
- Sud : la commune de Beni Ouarsous.



Figure II.1 La situation géographique de la commune de HONAINE dans la wilaya de TLEMEN

Source : carte Algérie.com



Figure II.2 Image satellitaire de la commune de HONAINE
Source : Google Earth

II.3 Géomorphologie

II.3.1. Topographie et Relief

La région de Honaine, présente une morphologie singulière, délimitée par la mer méditerranée sur 12 Kilomètres, fortement accidentée avec des paysages calcaires.

Les pentes sont variables, au Nord elles sont plus douces.

- Au sud les massifs sont plus abruptes et les pentes Nord- Sud varient entre 35 et 40% et constituent un ensemble montagneux fortement raviné et de parcours très difficiles.
- Au Nord, elles vont de 10 à 15% vers des pentes plus douces.

La morphologie de la région s'est formée à la faveur d'une succession de mouvements tangentiels et de soulèvement de l'orogénèse atlasique et alpine. Néanmoins, subsiste le substratum primaire bien individualisé par le granité de Nedroma et son auréole métamorphique. Ces mouvements tectoniques profonds ont créé un important métamorphisme régional.

C'est cette tectogénèse atlasique qui est à l'origine des reliefs actuels, de la nature des faciès des formations et d'éventuels mouvements néotectoniques actuels.

L'emplacement de notre site d'étude qui est à un niveau zéro mètre d'altitude présente une topographie plus au moins stable de point de vu paysagère avec les autres espaces aux reliefs accidentés en rupture.

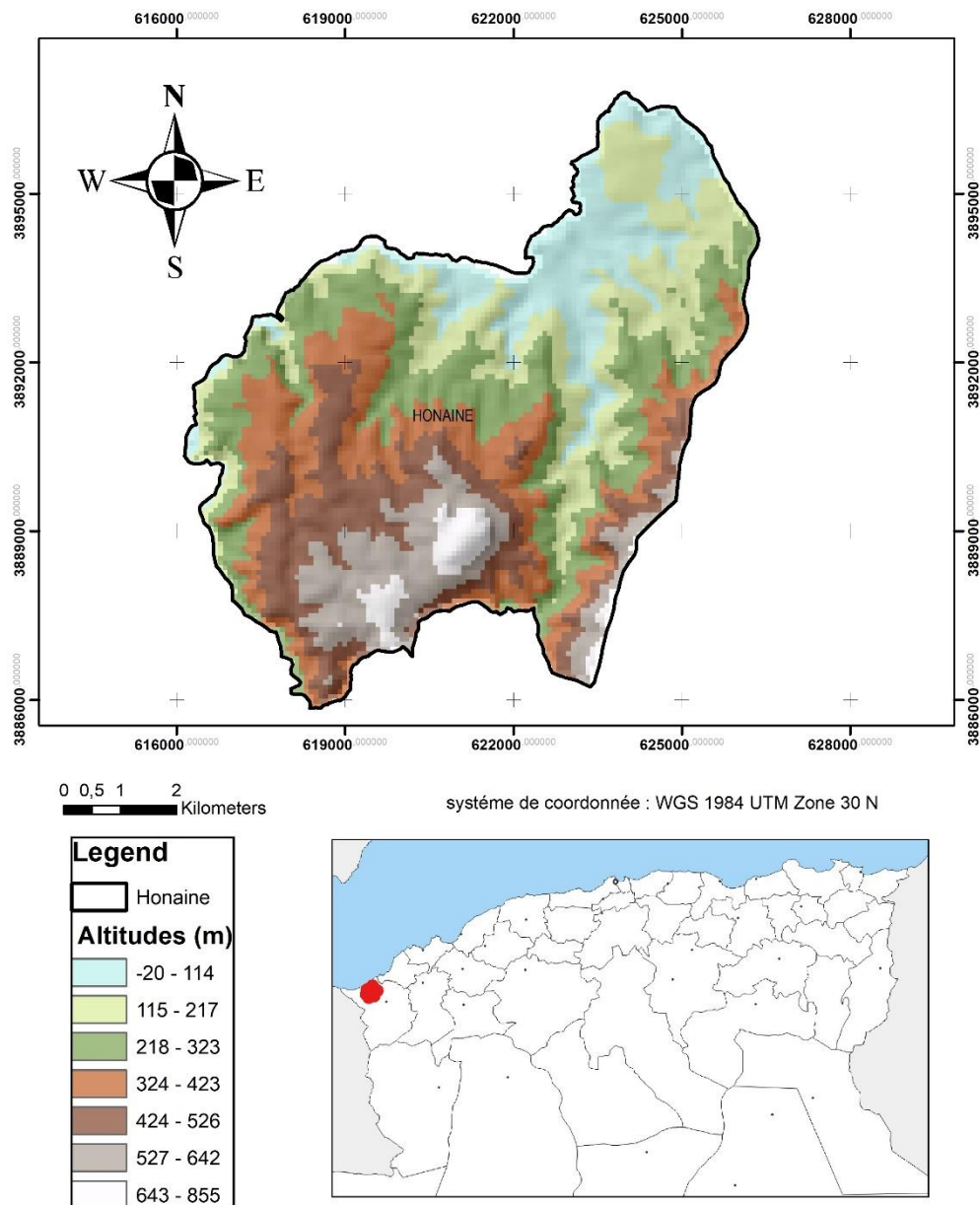


Figure II.3 Carte topographique Honaine, altitude

Source : Logiciel Arcgis

II.3.2. Géologie

Dans le contexte de cette étude l'objectif n'est pas de donner une description détaillée des formations géologiques de la zone mais d'appréhender l'aspect descriptif de la zone par un aperçu très général de la composante géologique observée.

La principale unité structurale de la zone côtière est présentée par le massif des Traras qui couvre à lui seul, plus de la moitié de la région oranaise.

Il comprend deux grandes régions séparées par une base granitique à savoir :

- ❖ Le massif de Traras.
- ❖ Le massif de Fillaoucène.

Les traits marquants des monts des Traras sont :

- ❖ Le déversement vers le Sud.
- ❖ Des failles abondantes.
- ❖ Le glissement superficiel des unités allochtones sur des pentes faibles marquant la fin de la tectonique récente.

La géologie de la région de Honaine se présente comme suit :

a) Les formations carbonatées compactes

Elles occupent la zone comprise entre le cap Tarsa et **Honaine**, elles constituent l'essentiel des principaux sommets de djebel Tadjra, Sidi Sofiane et djebel Zendel. Il s'agit des calcaires Jurassiques de l'unité de Tadjra

b) Les formations non carbonatées

Les formations non carbonatées sont limitées et ne se rencontrent que dans la partie Est de Honaine et beni Ouarsous en particulier. Il s'agit d'un massif schisteux primaire entrecoupé de passées conglomératiques. Il existe également quelques lambeaux de grès quartzeux, massif dans la région d'el Mokrane (commune de Honaine et de beni khaled).

Les sols qui se développent sont décarbonatés, souvent acides et fortement lessivés en surface. Il s'agit dans la plupart des cas de sols fer sialiques lessivés qui conditionnent l'existence de rares enclaves de végétation calcifuge de la région.

c) Les formations volcaniques

Pour ce qui est des formations volcano-sédimentaires, elles ne se rencontrent qu'en petits lambeaux dans les environs de Honaine. Elles résultent d'un comportement explosif lorsqu'un magma arrive au contact avec des terrains saturés en eau.

II.3.3 La sismicité

Un séisme est une vibration du sol provoquée par une rupture brutale des roches de la lithosphère le long d'une faille.

Une faille est une zone de rupture en profondeur dans la roche qui se prolonge parfois jusqu'à la surface du sol, et le long de laquelle les deux Bords se déplacent l'un par rapport à l'autre.

Les séismes sont l'une des manifestations de la tectonique des plaques.

Chapitre II Présentation de la zone d'étude

La surveillance sismique du territoire a débuté en Algérie en 1910 lorsque fût installée la première station sismologique à Bouzaréah. D'autres stations furent installées telle que celle au sein de l'Université d'Alger et qui fonctionna jusqu'en 1982. En 1935, une station fût installée à Oued Fodda au niveau du barrage. En 1955, fût installée la station de Relizane. La quatrième station installée fût celle de Sétif en 1958.

Grâce à ces stations, la carte de classification des zones sismiques et des catalogues de sismicité furent édités.

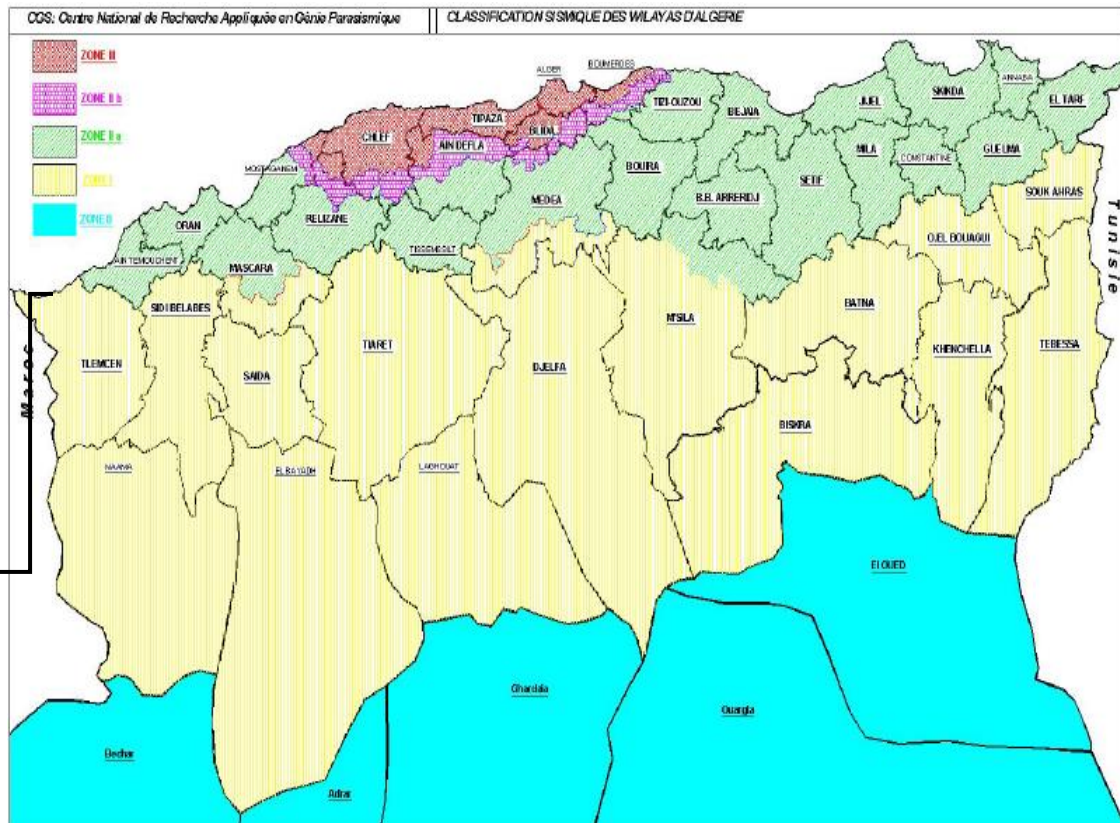


Figure II.4 Carte de micro zonage de l'Algérie (selon le RPA-99- Addenda 2003)

Notre zone d'étude est classée la zone sismique (**I**), selon la carte de micro zonage, et en groupe d'usage (**1B**) à partir du paragraphe 3.2 de règlement parasismique Algérien (RPA 99) avec un coefficient d'accélération de zone égale à **0.12 g**, selon le tableau II.1.

Groupe	ZONE			
	I	II a	II b	II
1 A	0,15	0,25	0,30	0,40
1 B	0,12	0,20	0,25	0,30
2	0,10	0,15	0,20	0,25
3	0.07	0.10	0.14	0.18

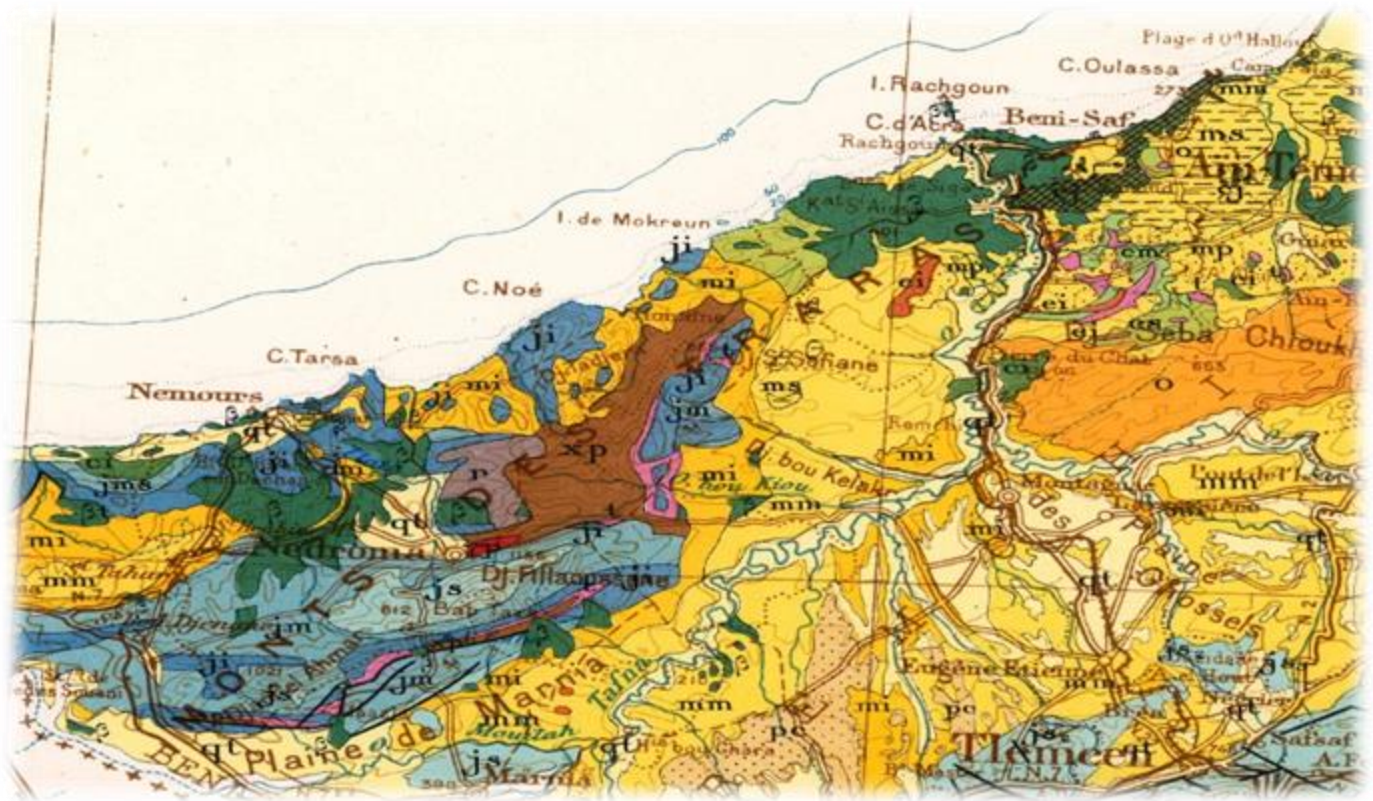
Tableau II.1 Coefficient d'accélération

II.3.4 Pédologie

Les monts des Traras comportent surtout des sols calcaires (55% de la zone) où dominent principalement les régo sols sur terrain marneux et dans une moindre mesure des lithosols sur calcaire et dolomie dure. Présence également de sols sur schistes et sur terrain volcanique (25% de la zone). Les sols alluviaux colonisent quelques bassins n'occupant que 15% et d'autres types de sols très peu représentés.

Les principaux types de sols identifiés sont (voir carte des sols):

- A. Formations du quaternaries :
 - Formations éoliennes
 - Formations alluviales
- B. Formations carbonatées :
 - Formations de calcaire tendre
 - Formations de calcaire dur
 - Formations non carbonatées



Légende

ka	Cambro- Ordovicien
ka	Acadien
ki	Géorgien
lcx	Conglomérat de base du Géorgien
x	Primaire non subdivisé
x _{9a}	Précambrien supérieur { Schistes et grès Conglomérats
x ₃	
x ₀	Précambrien moyen: schistes et séricitoschistes

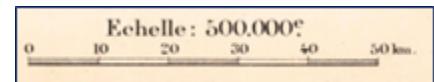


Figure II.5 Géologie de la commune de Honaine

Source : HPO.ORAN

II.3.5 Infrastructure et le réseau routière

La route est l'élément fondamental pour le développement d'une région, elle est aussi un paramètre principal pour tout aménagement, afin de permettre l'accès au territoire en assurant la communication mécanique entre les différents groupements humains tant au niveau local que régional : le réseau routier de Honaine comprend :

- CW 104 : vers Souk El Khemis
- CW 1 : vers Souk Ethnin

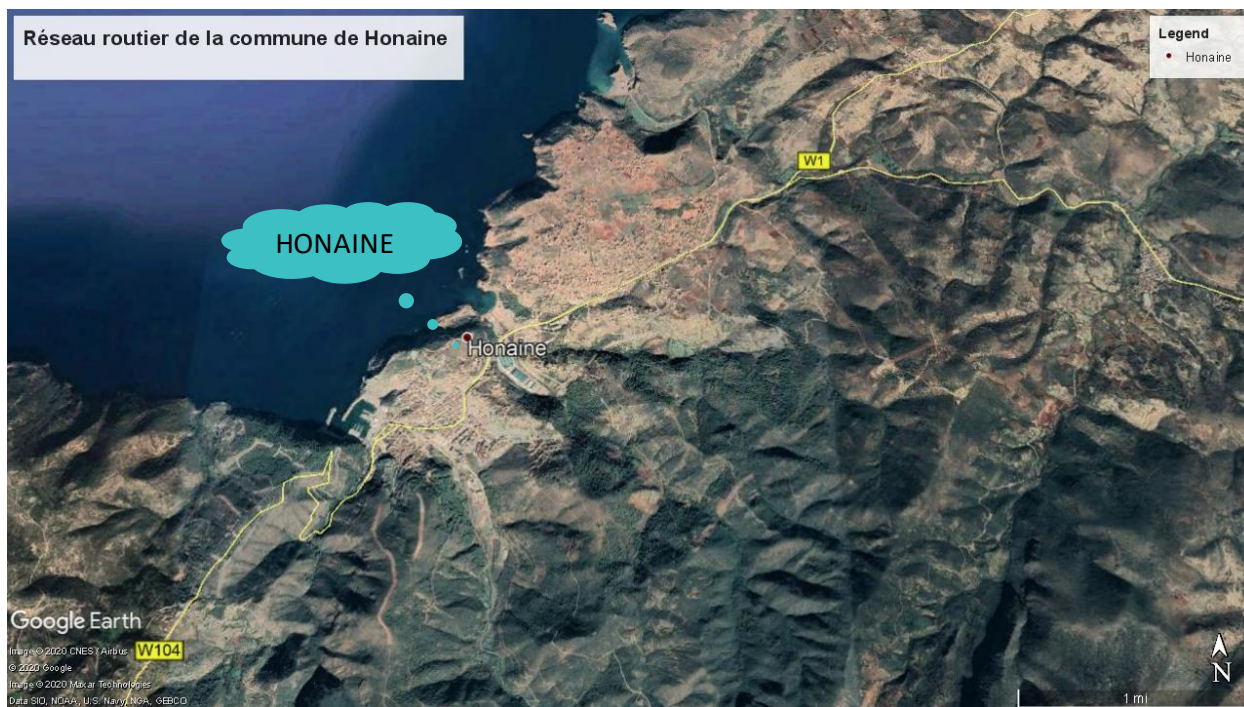


Figure II.6 Réseau routier de la commune de Honaine

Source: Google Earth

II.4 Situation Climatique

Le climat d'une région se détermine par :

- ⇒ La position par rapport aux zones cycloniques et anticycloniques.
- ⇒ L'approximatif ou l'éloignement des masses océaniques.
- ⇒ Et la diversité des reliefs.

II.4.1. Précipitations

La zone de Honaine présente un climat méditerranéen avec une pluviométrie moyenne de l'ordre de 350 - 400 mm et de 500 mm par an les meilleures années.

La période la plus arrosée s'étale de Novembre à Avril avec 80% des précipitations totales et 48 jours de pluies.

La zone connaît en moyenne 20 jours de brouillard par an.

Les données obtenues auprès de la direction des ressources en eau de la wilaya d'Alger de la période (1983-2015) sont illustrées dans le tableau II.2.

Tableau II.2 Précipitations moyennes mensuelles de la période (1983-2015)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Août
Pmoy(mm)	16,80	31,71	54,89	49,28	43,89	53,4	54,03	39,36	26,89	5,67	0,94	4,19

Source : Direction des ressources en eau W. Alger

II.4.2. Température

Honaine est caractérisée par deux caractères climatiques, une à caractère continental des terrains montagneux et l'autre, à caractère maritime.

Les températures y sont irrégulières et variables avec minima relatifs mensuels en hiver, et l'absolu, en janvier et février avec des valeurs avoisinant la valeur de **1°C**. Le maximum étant situé en juin avec une température de **42°C** sensiblement élevée, comme c'est le cas de l'ensemble de l'Ouest du pays.

La direction des ressources en eau de la wilaya d'Alger donne les moyennes mensuelles des températures de la période (1983-2015) illustrées dans le tableau II.2.

Tableau II.3 Températures moyennes mensuelles de la période (1983-2015)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
Tmoy (C°)	22.7	19.1	15.5	13.0	12.0	12.5	13.7	15.1	17.7	21.1	24.2	25.0
Tmin (C°)	14	13	11	6	3	4	9	11	14	22	25	27
Tmax (C°)	26	26	18	10	9	10	19	22	27	32	40	41

Source : Direction des ressources en eau W. Alger

II.4.3. Les vents

La fréquence et l'orientation des vents conditionnent le régime des précipitations. En outre les vents dominants sont ceux provenant des secteurs Est nord Est (E.N.E) et ouest sud-ouest (W.S.W).

II.5. Situation Hydrographique

Le réseau hydrographique de Honaine est connu par deux oueds principaux Oued MENZAL et Oued Honaine qui tirant leurs origines des monts des Traras et qui vont se jetés dans la frange littorale (écoulement exoréique) de Honaine.

La figure ci-dessous représente la situation hydrographique de la commune Honaine.



Figure II.7 Réseaux Hydrographie de la commune de Honaine

Source : HPO.ORAN

II.6. Occupation du sol

La commune de Honaine est une zone résidentielle avec lieux commerciaux au niveau de l'agglomération locale de Honaine.

Terres à vocation agricole au Sud, Sud- Est et Sud –Ouest de l'agglomération chef-lieu de la commune de Honaine.

II.7 Conclusion

Ce chapitre nous permis de faire un constat sommaire de la situation actuelle du site en matière topographique, hydrologique, géologique et sismique. Ces données nous serviront à entamer et mieux exploiter l'étude de notre projet.

CHAPITRE III
Etude hydrologique

Introduction

L'objectif essentiel de ce chapitre est notamment de déterminer les principaux paramètres de bassin versant d'Oued Honaine et Oued Menzel de la ville de Honaine dans ses aspects hydroclimatologiques, après avoir délimité le bassin versant en utilisant le logiciel Arc GIS.

Aussi d'estimer les périodes de retours et déterminer les débits de crue nécessaire pour la conception de l'aménagement des oueds qui servira à la protection de la zone contre les inondations.

III.1. Caractéristiques principales du bassin versant

III.1.1. Bassin versant

Le bassin versant c'est une unité de base pour la détermination du bilan hydrologique il est défini comme la surface parcourue par un cours d'eau et ses affluents. Un cours d'eau généralement naissance dans une zone a reliefs et draine la surface topographique. Les écoulements convergent vers la section la plus basse du cours d'eau appelée exutoire.

Le bassin versant de centre de Honaine, situé dans la partie centrale des Monts de Traras dans les côtières oranais, dont leurs affluents convergent en éventail pour former l'artère principale vers l'exutoire qui est la mer. Il s'agit d'un site montagneux dont les crêtes forment une barrière climatique séparant les zones continentales relativement sèches au sud, des zones plus humides situées au nord vers le littoral. Ces montagnes qui interceptent les principales périodes pluvieuses remarquables en matière de crue, représentent notamment la région la plus arrosée des côtières dont les crues, parfois très importantes, peuvent atteindre des hauteurs d'eau assez conséquentes en matière d'inondation.

III.1.1.1. Caractéristiques géographiques du bassin versant

La région d'étude est une région montagneuse. Le bassin versant au site proposé se trouve situé à distance de 6km au Nord-Ouest de de la ville de Tlemcen. Le bassin versant culmine à une altitude 790m sur Djebel Dahr Ed Dis. Le réseau hydrographique se caractérise par un écoulement suivant une direction Sud/Nord dans la partie aval, au niveau de l'exutoire du bassin versant qui est la mer. Le chevelu du réseau hydrographique est moyennement dense, généré par un relief à pentes fortes à moyennes. Le bassin concerné a été divisé en cinq sous bassins.

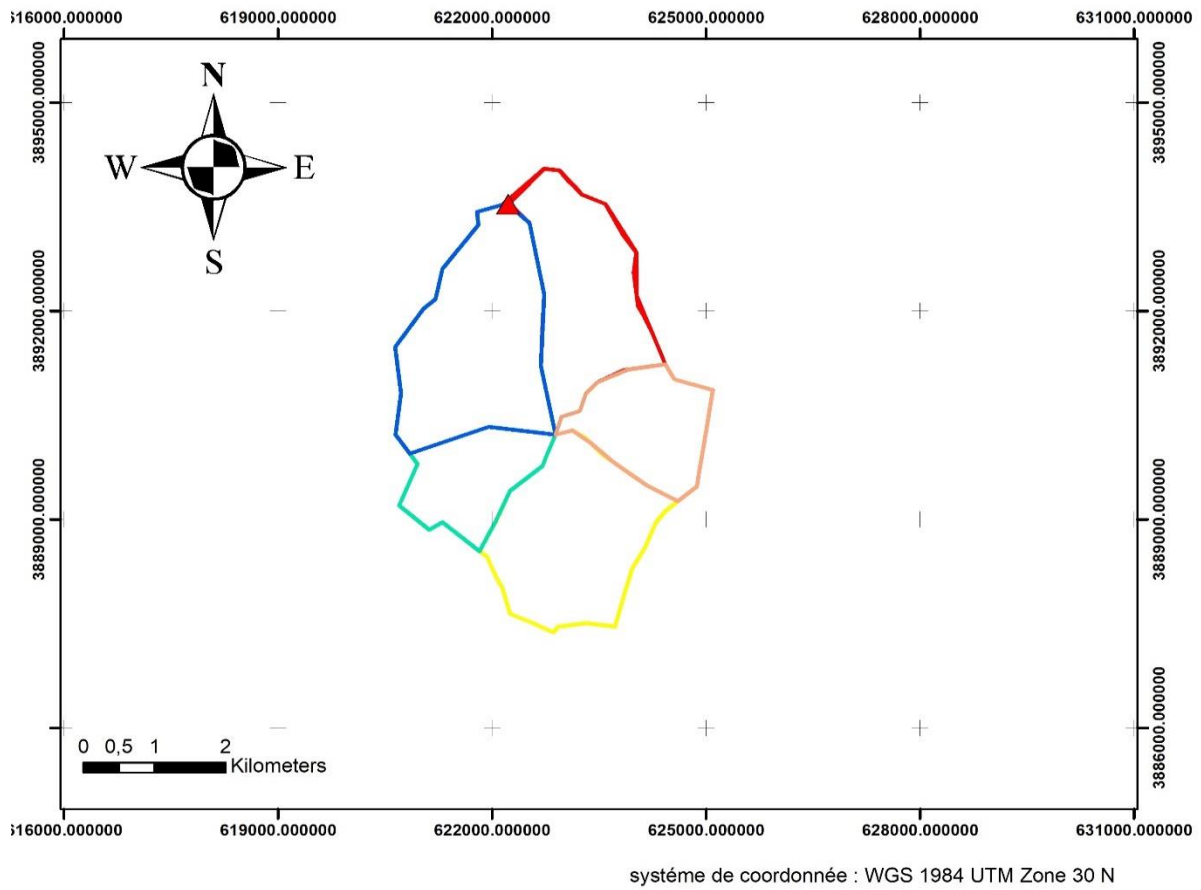


Figure III.1 Présentation des Sous Bassins Versant d’oued Honaine

Source : logiciel Arc gis

III.1.1.2. Caractéristiques morphologiques du bassin versant (Touaïbia, 2004)

III.1.1.2.1 Caractéristique du relief

a) Surface A

La surface topographique est le paramètre le plus important, il permet de contrôler l'intensité de plusieurs phénomènes hydrologiques.

$$A = 19.12 \text{ Km}^2$$

b) Périmètre P

Il correspond à la limite extérieure du bassin.

$$P = 18.14 \text{ Km}$$

c) Longueur du Thalweg Principal

Correspond à la ligne formée par les points ayant la plus basse altitude.

$$L_p = 4.51 \text{ Km}$$

d) Les altitudes

L'altitude maximale et minimale « H max, H min »

L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale représente le point le plus bas du bassin qui est généralement l'exutoire. Ces altitudes sont tirées directement de la carte topographique.

Ces paramètres ont été déterminés en utilisant le logiciel ArcGIS.

Tableau III.1 Caractéristiques Morphométriques des sous bassins versants d'oued Honaine

Sous bassin	SB 1	SB 2	SB 3	SB 4	SB5	BV
Surface(km ²)	4.7	2.2	2.6	5.4	4.2	19.12
Périmètre(km)	8.7	6.4	6.6	10	9.8	18.14
H _{max} (m)	726	853	624	576	351	853
H _{min} (m)	104	86	75	8	8	8

Source : Logiciel Arcgis

L'altitude médiane « H 5% »

C'est la projection du point qui correspond à 5% de la surface cumulée sur la courbe hypsométrique.

L'altitude médiane « H 50% »

C'est la projection du point qui correspond à 50% de la surface cumulée sur la courbe hypsométrique.

L'altitude médiane « H 95% »

C'est la projection du point qui correspond à 95% de la surface cumulée sur la courbe hypsométrique.

L'altitude moyenne « H moy »

Elle est calculée par la formule suivante :

$$H_{moy} = \frac{\sum A_i * H_i}{A}$$

- H_i : Altitude moyenne entre 2 courbes de niveaux consécutives. Tel que $H_i = \frac{H_{i+1} + H_i}{2}$ (m)
- A_i : Surface partielle comprise entre 2 courbes de niveaux consécutives en km²
- A : Surface totale du bassin versant en km²

Tableau III.2 Les résultats de calcul d'altitude du bassin versant

Altitude (m)	H 5% (m)	H 50% (m)	H 95% (m)	H moy (m)
Bassin Versant	698.84	408.05	117.26	292.22

e) La courbe hypsométrique

Il est aisé de comprendre que l'étude du relief dans un bassin versant, pris comme une unité hydrologique, requiert la notion des terrains orographiques affectés de leurs caractères altimétriques dans l'espace. C'est dans cet aspect, que la pente entre en action dans l'écoulement en tenant compte notamment de la gravité terrestre. Ainsi, on caractérise ce relief en hydrologie par sa courbe hypsométrique qui relève de la répartition des surfaces partielles qui composent le bassin en fonction de ses altitudes.

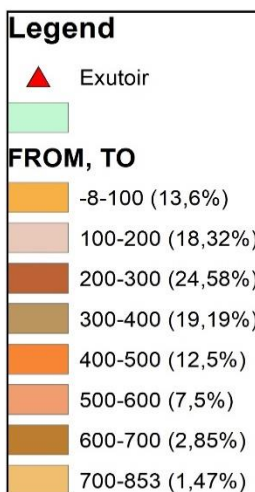
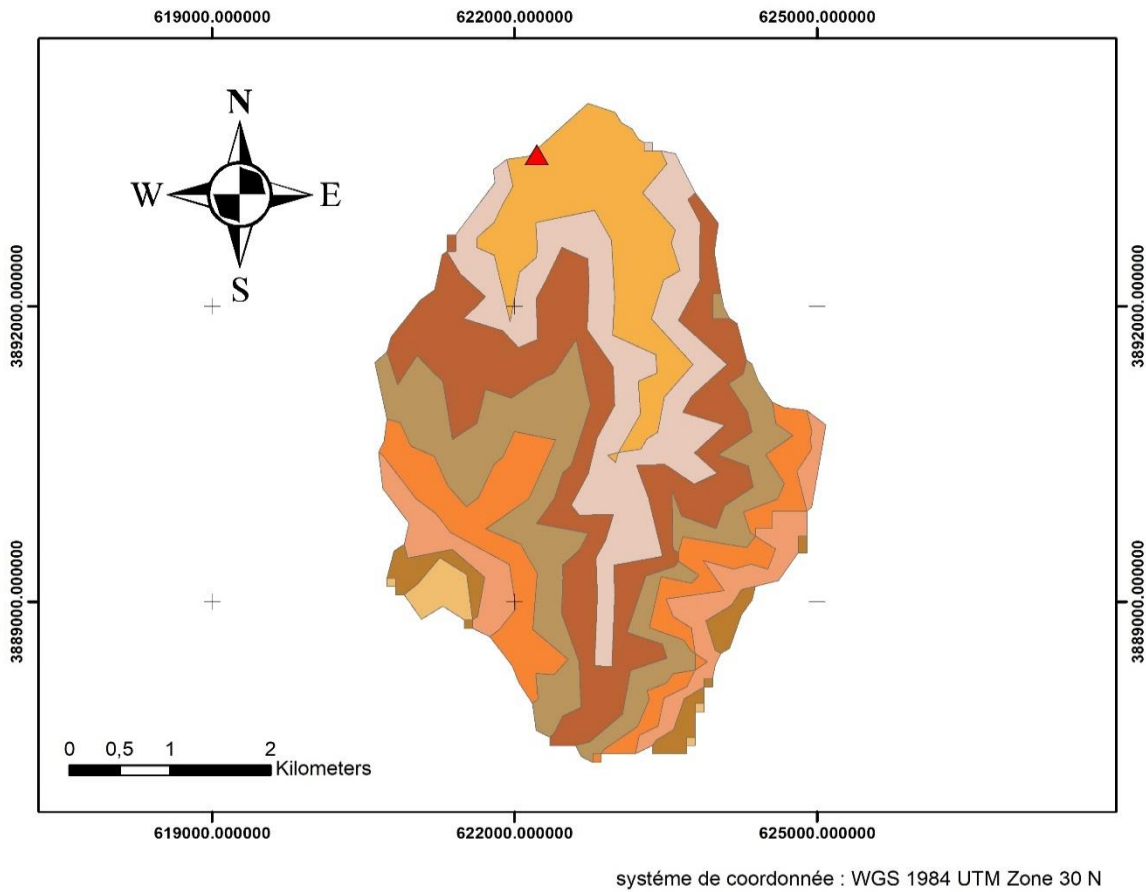


Tableau III.2 Carte hypsométrique du bassin d'Oued Honaine

Source : Logiciel ArcGIS.

Tableau III.3 Répartition Hypsométrique d'Oued Honaine

Altitudes(m)	Hi (m)	Ai (Km ²)	ΣAi(km ²)	Ai(%)	ΣAi (%)	Hi*Ai (m.km ²)
8-100	46	2,6	2,6	13,6	13,60	119,6
100-200	150	3,5	6,1	18,32	31,92	525
200-300	250	4,7	10,8	24,58	56,50	1175
300-400	350	3,7	14,5	19,19	75,69	1295
400-500	450	2,4	16,9	12,5	88,19	1080
500-600	550	1,4	18,3	7,5	95,69	770
600-700	750	0,54	18,84	2,85	98,54	405
700-853	777	0,28	19,12	1,47	100,00	217,56
					totale	5587,16

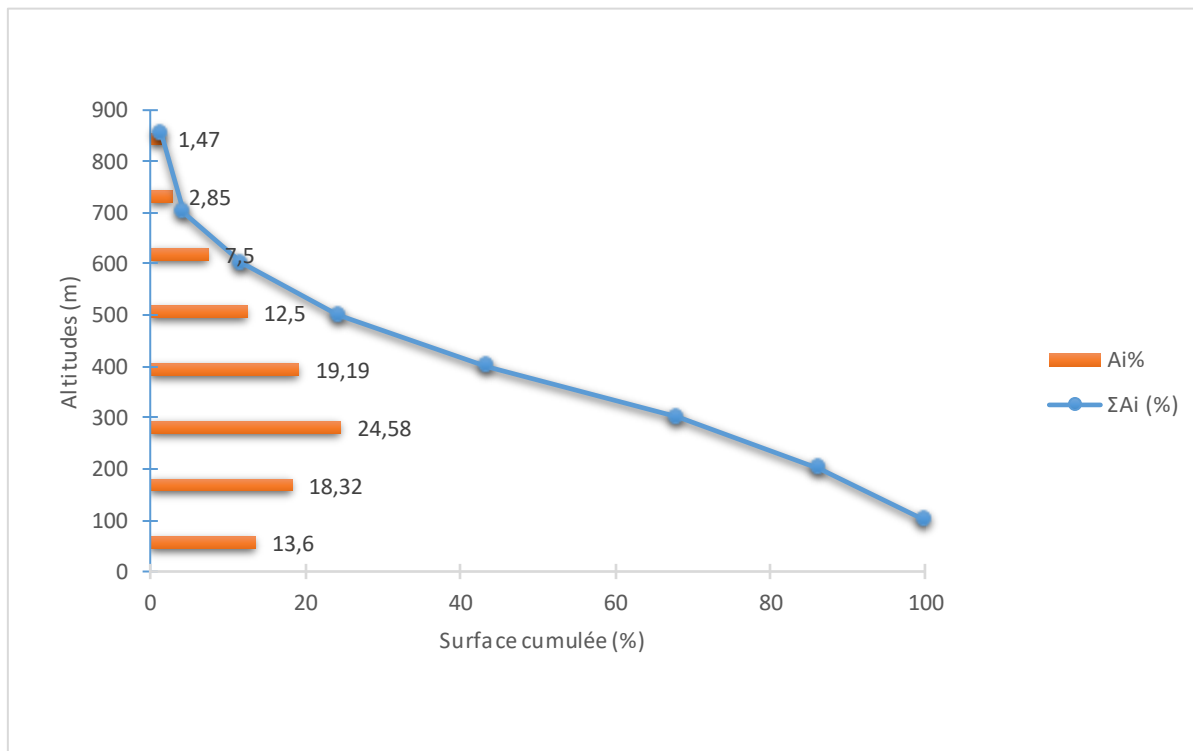


Figure III.3 Courbe hypsométrique du bassin versant

f) Les pentes du bassin versant

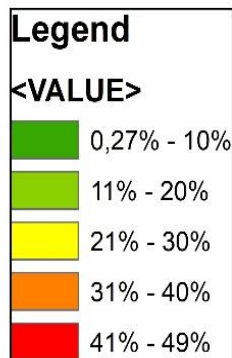
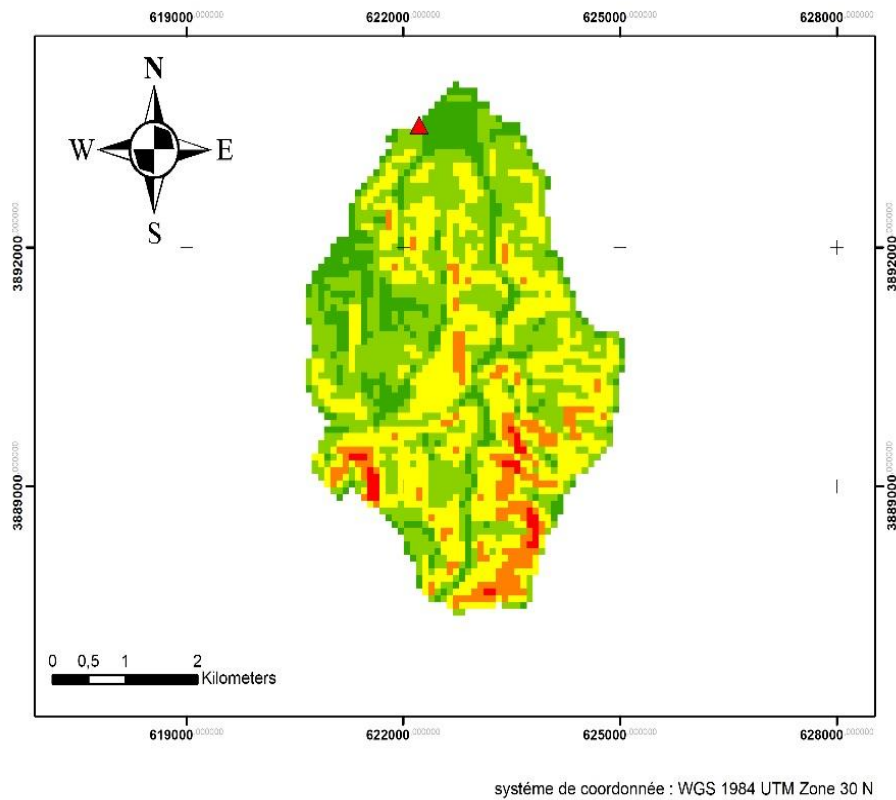


Figure III.4 les intervalles de pente du bassin versant d'oued Honaine

Source : Logiciel Arcgis

La pente moyenne de bassin versant

$$\bar{p} = \frac{\Delta H * (0.5L_1 + L_2 + \dots + 0.5L_n)}{A}$$

- ΔH : Dénivelés entre deux courbes de niveaux successives
- L₁L₂.... L_n : les longueurs des courbes de niveaux (Km)
- A : superficie du bassin versant (Km²)

Application numérique :

$$\bar{p} = 3.57 \%$$

Indice de pente moyenne de bassin versant

$$I\bar{p} = \frac{H \text{ max} - H \text{ min}}{L}$$

- Hmax: Altitude maximale du bassin versant en (m).
- Hmin : Altitude minimale du bassin versant en (m).
- L : la longueur de rectangle équivalent (Km).

Application numérique :

$$I\bar{p} = 1.51 \%$$

Indice de pente I_g

$$I_g = \frac{D}{L}$$

- D : le dénivelé, avec D = Z_{95%} - Z_{5%} (m).
- L : Longueur du rectangle équivalent (Km).

Tableau III.4 Classification du relief selon I_g donné par l'ORSTOM

R1	Relief très faible	I _g <2	(m/Km)
R2	Relief faible	2<I _g <5	(m/Km)
R3	Relief assez faible	5<I _g <10	(m/Km)
R4	Relief modéré	10<I _g <20	(m/Km)
R5	Relief assez fort	20<I _g <50	(m/Km)
R6	Relief fort	50<I _g <100	(m/Km)
R7	Relief très fort	100<I _g	(m/Km)

Application numérique :

$$I_g = 1.02 \%$$

Donc selon la classification de l'indice de pente notre relief est un relief fort.

g) Dénivelée spécifique D_s

Elle est le produit de l'indice de pente global (IG) par la racine carrée de la superficie du bassin versant. La D_s étant supérieure à 100 m, le relief du BV est fort.

$$D_s = I_g * \sqrt{A}$$

- I_g : Indice de pente (m/Km)
- A : surface du Bassin Versant (km²)
-

Le type de relief selon la classification de l'O.R.S.T.O.M

Tableau III.5 Classification O.R.S.T.O.M selon la dénivelé spécifique (type de relief)

R1	Relief très faible	$D_s < 10$ m
R2	Relief faible	$10 \text{ m} < D_s < 25$ m
R3	Relief assez faible	$25 \text{ m} < D_s < 50$ m
R4	Relief modéré	$50 \text{ m} < D_s < 100$ m
R5	Relief assez fort	$100 \text{ m} < D_s < 250$ m
R6	Relief fort	$250 \text{ m} < D_s < 500$ m
R7	Relief très fort	$500 \text{ m} < D_s$

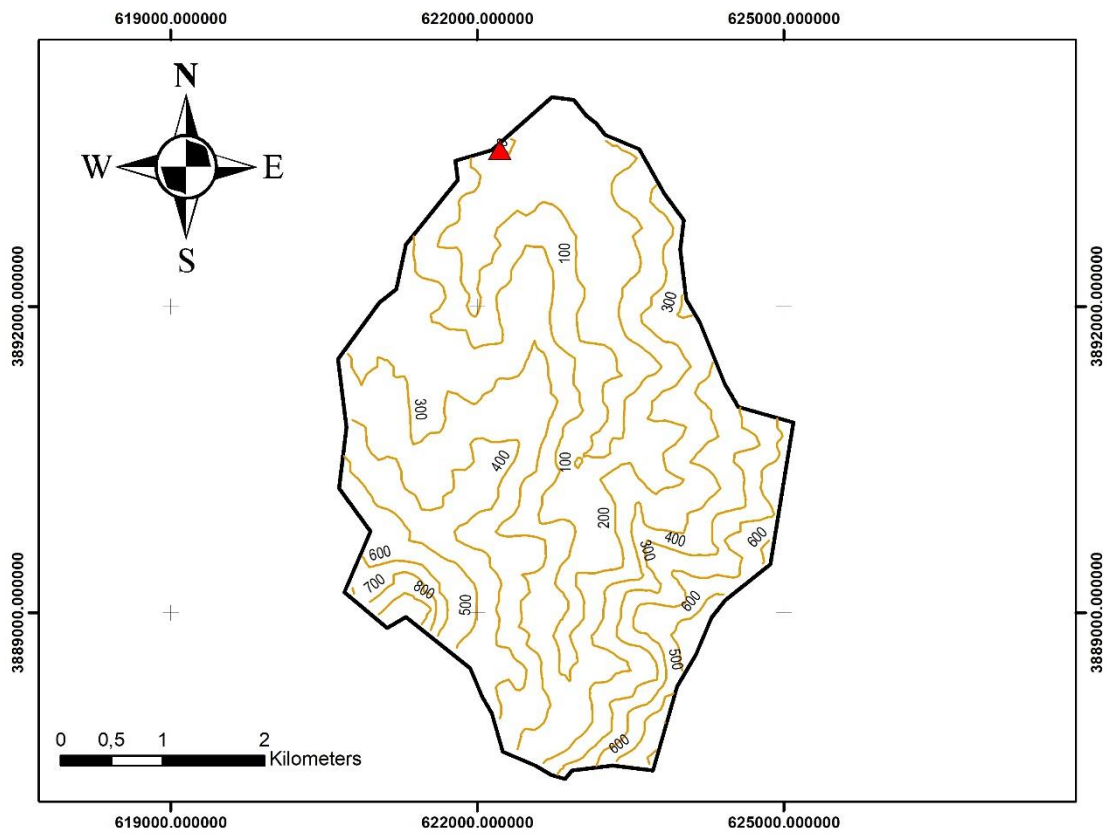
Application numérique :

$D_s = 445.35 \text{ m}$

Tableau III.6 Les résultats de calcul des différentes pentes de bassin versant d'oued Honaine

Bassin versant	\bar{p} (%)	$\bar{I}p$ (%)	I_g (%)	D (m)	D_s (m)	Relief
BV	3.57	1.51	1.02	581.58	445.35	Fort

Donc notre bassin versant est bassin avec relief fort.



système de coordonnées : WGS 1984 UTM Zone 30 N

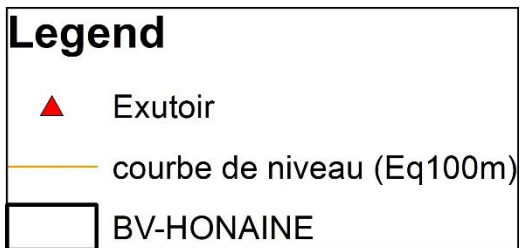


Figure III.5 Courbe de niveau du bassin versant d'oued Honaine

Source : Logiciel Arcgis

III.1.1.2.2 Caractéristique de forme

a) Indice de compacité de Graveluis K_c

L'indice de compacité, ou indice de Graveluis est un paramètre indicateur de la forme du bassin versant ; il renseigne aussi sur la vitesse de concentration des débits, la puissance des crues et l'importance de l'activité de l'érosion du sol.

Ce paramètre se détermine en comparant le périmètre du bassin versant à étudier à celui d'un cercle qui a la même surface.

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

- P : périmètre du Bassin Versant (km).
- A : surface du Bassin Versant (km²).

On admet communément la classification suivante : (Laborde, 2003)

Tableau III.7 Correspondance valeur de K_c et type de réponse attendue

$K_c < 1.25$	Bassin compact	Réponse rapide
$1.25 < K_c < 1.5$	Bassin de forme moyenne	Réponse moyenne
$1.5 < K_c$	Bassin plus allongé	Réponse plus lente

Application numérique :

$$K_c = 1.16$$

Donc notre bassin versant est bassin compact caractérisé par une réponse rapide. (Bennis, 2004).

b) Rectangle équivalent

C'est une transformation purement géométrique de la forme du bassin en rectangle de dimension L et l, de même superficie et même périmètre : elle permet la comparaison des bassins entre eux de point de vue de l'influence de la forme sur l'écoulement.

✦ Longueur du rectangle équivalent

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right] \quad (\text{Km})$$

$$L = 5.71 \text{ Km}$$

✦ Largeur du Rectangle équivalent

$$l = \frac{K_c \sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right] \quad (\text{Km})$$

$$l = 3.35 \text{ Km}$$

- K_c : indice de compacité.
- A : surface du Bassin versant (km²).

c) Indice de Horton K_H

Il exprime le rapport de la largeur moyenne du bassin versant et la longueur de cours d'eau principal (Horton 1932).

$$K_H = \frac{A}{L_p^2}$$

- A : surface du Bassin Versant (km²).
- L_p : la longueur de cours d'eau principal (Km).

Application numérique :

$K_H = 0.94$

Tableau III.8 Les résultats de calcul des indices de forme

Bassin Versant	Kc	K_H	L (Km)	l (Km)	Forme du bassin
BV	1.16	0.94	5.71	3.35	Ramassé

d) Coefficient d'allongement

Le coefficient d'allongement est le rapport entre la Longueur du Talweg principal et la Surface du bassin versant.

$$Ca = \frac{L_p^2}{A}$$

- L_p : la longueur du talweg principal (km).
- A : la superficie du bassin versant (km²).

$Ca = 1.06$

III.1.1.2.3 Caractéristiques hydrologiques

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eaux naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. C'est l'une des caractéristiques importantes du bassin. La différenciation du réseau hydrographique d'un bassin versant est dû à quatre facteurs principaux :

- Le climat : densité du réseau plus ou moins importante.
- La géologie : nature des roches, sensibilité plus ou moins forte à l'érosion.
- La pente du terrain : détermine si les cours d'eau sont en phase érosive ou sédimentaire.
- La présence humaine : la construction des barrages, la protection des berges, le drainage agricole. Le drainage des terres agricoles....

Il existe plusieurs types de classifications des tronçons des cours d'eau, dont la classification de STRAHLER (1957) qui est la plus utilisée.

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:

1. Tout cours d'eau dépourvu de tributaires est d'ordre 1.
2. Le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau d'ordre différent prend l'ordre du plus élevé des deux.
3. Le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau du même ordre est augmenté de 1.
4. 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.

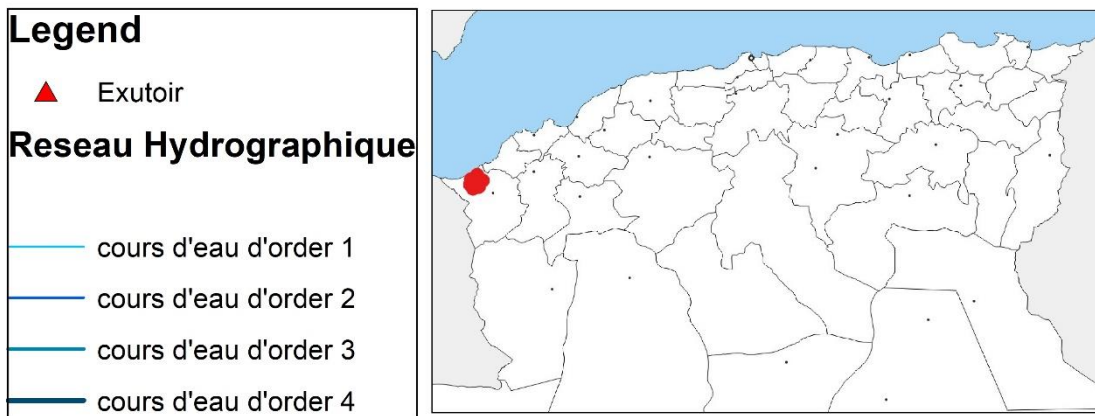
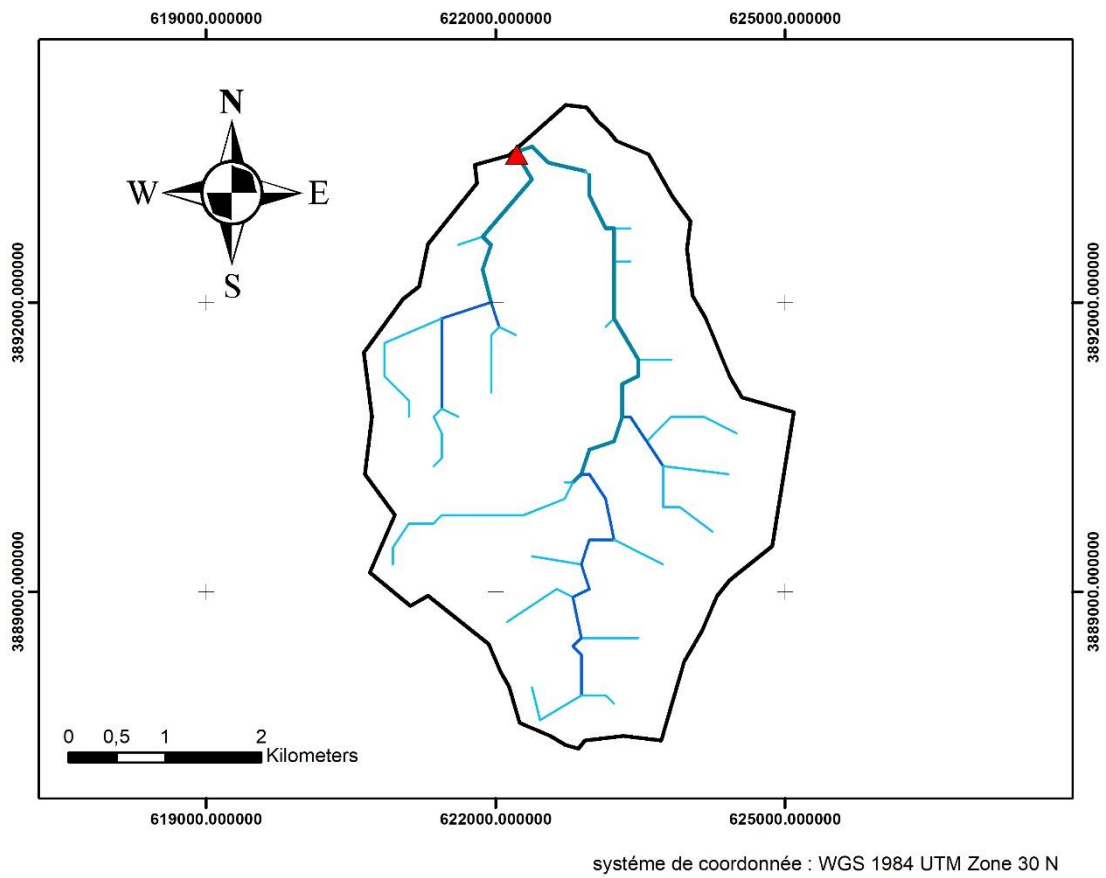


Figure III.6 Le réseau hydrographique du bassin versant d'oued Honaine

Source : Logiciel Arcgis

a) Densité de drainage D_d

$$D_d = \frac{\sum Li}{A}$$

- $\sum Li$: longueur totale des talwegs du Bassin versant (Km). D'après le logiciel Arcgis : $\sum Li = 25.05$ Km.
- A : surface du Bassin versant (km^2).

Application numérique :

$$D_d = 1.31 \text{ Km}^{-1}$$

b) Coefficient de Torrentialité C_T

$$C_T = F_1 \times D_d$$

- D_d : densité de drainage.
- F_1 : densité hydrographique (fréquence des talwegs d'ordre 1) est le rapport entre le nombre de talwegs d'ordre 1 et la surface globale du bassin versant, ou F_1 égale à : $F = \frac{N1}{A}$

Tableau III.9 Résultat de calcul de la densité hydrographique et le coefficient de torrentialité

Bassin versant	N1	A (Km^2)	F (Km^{-2})	C_T
SB	22	19.12	1.15	1.51

c) Pente moyenne du cours d'eau principale I_c

Elle exprime le rapport entre la dénivelée et la longueur comprise entre deux points suffisamment éloignés du cours d'eau principal.

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

- ΔH : Différence d'altitude entre deux points de cours d'eau suffisamment éloignés (m)
- ΔL : La distance entre ces deux points (m).

Tableau III.10 La pente moyenne du cours d'eau du bassin versant

Bassin versant	ΔH (m)	L (m)	I_c (m/m)
BV	50	1400	0.036

d) Temps de concentration T_c

C'est le temps que met la particule d'eau la plus éloignée pour arriver à l'exutoire, il existe plusieurs formules pour estimer le temps de concentration. Dans le contexte algérien et pour les grands bassins versants, il peut être calculé par **Formule de GIANDOTTI**, car elle est d'emploi fréquent en Algérie parce qu'elle tient compte de tous les paramètres géométriques du bassin.

➤ **Formule de GIANDOTTI**

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 * L_p}{0.8\sqrt{H}}$$

- T_c : temps de concentration en heure.
- A : Surface du bassin versant (Km^2).
- H : $H_{moy} - H_{min}$.
- H_{moy} : Altitude moyenne du bassin versant(m).
- H_{min} : Altitude minimale du bassin versant(m).
- L_p : Longueur du talweg principal (km).

Application numérique :

$$T_c = 1.75 \text{ heures}$$

e) Vitesse de ruissellement V_r

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

$$V_r = \frac{L_p}{T_c}$$

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

Application numérique :

$$V_r = 2.58 \text{ Km/h}$$

❖ Les résultats de bassin versant obtenues sont résumés dans les tableaux suivants.

Tableau III.12 Caractéristique Morphométriques du relief

Paramètres	Symbole	Unite	Valeur
Périmètre (km)	P	Km	18.14
Surface (km ²)	A	km ²	19.12
Longueur du Thalweg Principal (km)	L _p	Km	4.51
Altitude Max (m)	H _{max}	m	853
Altitude Min (m)	H _{min}	m	-8
Altitude moyenne	H _{moy}	m	292.22
Altitude mediane	H _{50%}	m	408.05
Altitude 95%	H _{95%}	m	117.26
Altitude 5%	H _{5%}	m	698.84
Dénivelée (m)	D	m	581.58
Indice de pente (m /km)	I _g	m /km	101.85
Indice de pente de Roche	I _r	-	0.13
Dénivelée spécifique	D _s	m	445.35

Tableau III.13 Caractéristique Morphométriques de forme

Paramètre	Symbole	Unite	Valeur
Indice de Compacité	Kc	-	1.16
Longueur Rectangle equivalent	L	Km	5.71
Largueur Rectangle equivalent	L	Km	3.35
Indice de Horton	Qc	-	0.94
coefficient d'allongement	Ca	-	1.06

Tableau III.14 Caractéristique Morphométriques de forme

Paramètres	Symbole	Unite	Valeur
Nombre de thalweg d'ordre 1	N1	-	22
Somme des longueurs	$\sum Li$	km	25.05
Densité de drainage	D _d	Km ⁻¹	1.31
Coefficient Torrentialité	C _T	Km ⁻³	1.51
Temps de concentration	T _c	heure	1.75
Vitesse de ruissellement	V _r	Km/h	2.58
Pente moyenne du cours d'eau principal	I _c	m/m	0.036

III.2. Etude des précipitations

III.2.1. Pluviométrie

La première étape à franchir dans une étude d'aménagement est l'étude de la pluie maximale journalière afin d'estimer et prévenir les pluies extrêmes qui provoquent les crues de différentes périodes de retour. Pour cela on a besoin d'une série pluviométrique qui comporte les précipitations maximales journalières pour la période la plus longue possible, il a été possible de procéder à l'évaluation des valeurs de pluie maximale journalière de la région projetée, de la station pluviométrique du bassin voisin « GHAZAOUET » (040101) vue que notre bassin d'étude n'obtient pas une station pluviométrique, en étendant la période standard à près de 32 années (1983-2015).

Tableau III.15 Station pluviométrique exploitée dans l'étude

Station	Symbole	Code	X	Y
GHAZAOUET	Gh	040101	88.65	205.30

Source : Agence National de Ressource en Eau W. Alger

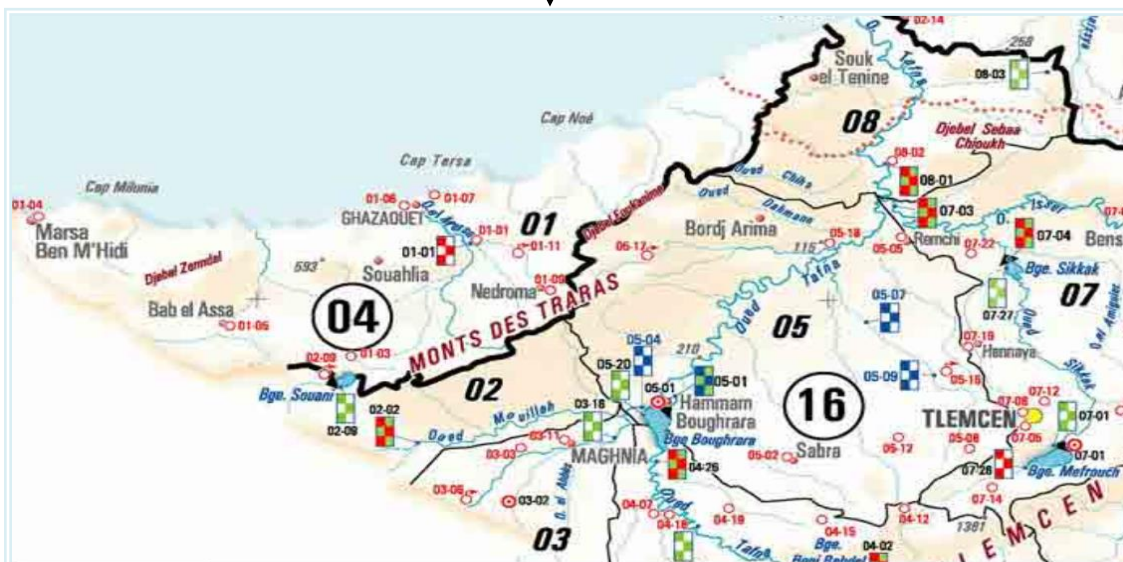


Figure III.7 Station pluviométrique de GHAZAOUET

Source : la carte de référence (ANRH 1922-60 et 1969-2003)

III.2.1.1. Répartition de la pluie moyenne dans le bassin

Tableau III. 16 Répartition mensuelle de la pluviométrie dans la station de Ghazaouet

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Août	Année
Pmoy (mm)	16,80	31,71	54,89	49,28	43,89	53,4	54,03	39,36	26,89	5,67	0,94	4,19	362,65
En %	4,63	8,74	15,14	13,59	12,10	14,73	14,90	10,85	7,41	1,56	0,26	1,16	100,00

Source : Agence National de Ressource en Eau W. Alger

Notons un pic au mois de Novembre estimé à 54.98 mm, et un minimum au mois de juillet avec une

précipitation de 0.94 mm, et une moyenne mensuelle de 362.65 mm.

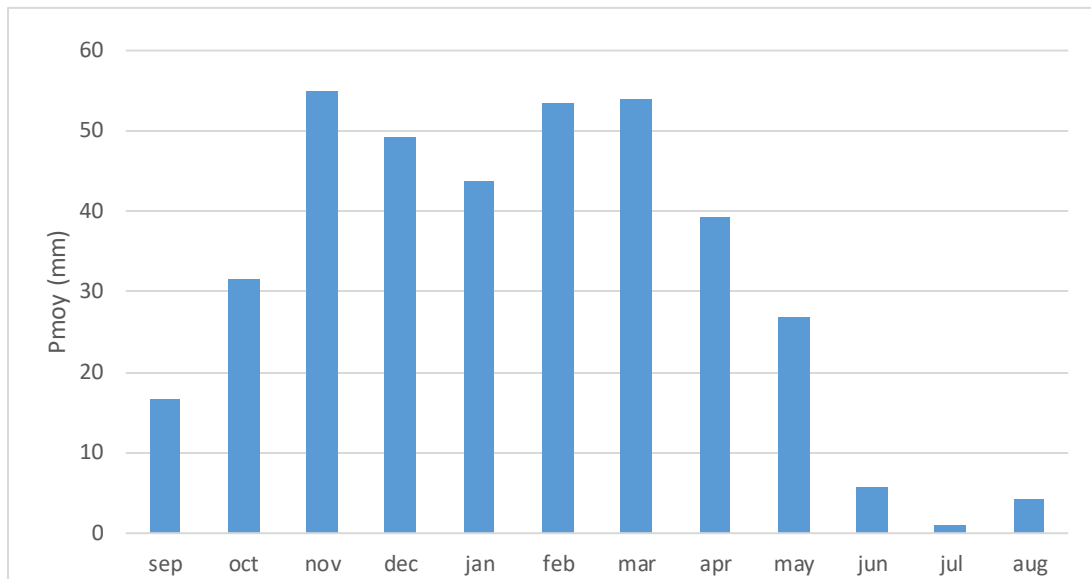


Figure III.8 Répartition mensuelle des précipitations

III.2.1.2. Précipitation moyenne interannuelle

L'estimation de la pluie moyenne interannuelle est basée sur trois techniques différentes, la première est la méthode classique de polygone de Thiessen, elle consiste de plusieurs stations pluviométriques, et ce n'est pas le cas pour notre bassin versant.

La deuxième méthode on peut estimer la pluie moyenne interannuelle directement d'après une carte des isoyètes donnée par l'ANRH, Pour notre cas la carte n'était pas disponible.

La troisième est fondée sur les pluies enregistrées au niveau de la station de GHAZAOUET durant les 32 dernières années. Ce qui donne une valeur de **P = 410 mm**

III.2.1.3. Estimation de la pluie max journalière

Les pluies maximales journalières sont souvent génératrices de crues exceptionnelles. Pour cela, il est important d'effectuer un ajustement statistique d'une loi de probabilité à la série enregistrée à la station pluviométrique 040101, afin de déterminer les précipitations maximales journalières fréquentielles en suivant les étapes suivantes :

- Calcul des paramètres statistiques de la série.
- Ajustement à une loi statistique (choix de la loi adéquate).
- Calcul des quantiles pour différentes périodes de retour.
- Calcul des pluies et intensités de courte durée.

Le tableau ci-dessous représente la série des pluies maximales journalières de la station de GHAZAOUET (040101) de l'année 1983 jusqu'à l'année 2015.

Tableau III.17 Pluies maximales journalières prise de la station 040101

année	Pjmax(mm)	année	Pjmax(mm)	année	Pjmax(mm)
1983	42,2	1994	41.3	2005	35,4
1984	36	1995	18.2	2006	42,8
1985	45,4	1996	31.2	2007	75,5
1986	120,5	1997	51.4	2008	62,9
1987	25,6	1998	58,9	2009	60,9
1988	74,8	1999	25,9	2010	35,3
1989	39,7	2000	55,1	2011	88,8
1990	52,5	2001	93,8	2012	92,7
1991	47.5	2002	59.8	2013	56.2
1992	76,4	2003	137,5	2014	78.9
1993	56,4	2004	31,5	2015	82.3

Source : Agence National de Resource en eau W d'Alger

III.2.1.3.1. Calcul des paramètres statistiques de la série

On utilise le logiciel HYFRAN pour déterminer les paramètres de la série et pour l'ajustement représentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau III.18 Caractéristiques de la série pluviométrique

Caractéristiques	Formule	Valeurs
Statistiques de base Nombre d'observations	/	33
Moyenne des Pmaxj (mm)	$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N Xi}{N}$	58.6
Ecart type « 6x » ; Pour N > 30 ans	$\sigma X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Xi - \bar{X})^2}{N-1}}$	26.8
Coefficient de variation « Cv »	$Cv = \frac{\sigma X}{\bar{X}}$	0.46
Coefficient d'asymétrie « Cc »	$Cc = \sqrt{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{(Xi - \bar{X})}{\sigma X} \right)^3$	1.06
Coefficient d'aplatissement « Ck »	$Ck = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{(Xi - \bar{X})}{\sigma X} \right)^4$	3.6

Source : logiciel Hyfran

III.2.1.3.2. Test d'homogénéité de la série

➤ Les tests d'homogénéité à l'échelle annuelle

1. Test de Wilcoxon

Hypothèses:

- H0 : Les moyennes des deux sous-échantillons sont égales
- H1 : Les moyennes des deux sous-échantillons sont différentes

Résultats :

- Valeur de la statistique $|W| = 1.59$
- p-value $p = 0.112$

Conclusion:

Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5%

On ne peut pas conclure que les moyennes des deux sous-échantillons sont différentes

2. Test d'indépendance (Wald-Wolfwitz)

Hypothèses:

- H0 : Les observations sont indépendantes
- H1 : Les observations sont dépendantes (auto corrélation d'ordre 1)

Résultats :

- Valeur de la statistique $|U| = 0.103$
- p-value $p = 0.918$

Conclusion :

Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5%

3. Test de stationnarité (Kendall)

Hypothèses :

- H0 : Il n'y a aucune tendance dans les observations
- H1 : Il y a une tendance dans les observations

Résultats :

- Valeur de la statistique $|K| = 1.20$
- P-value $p = 0.230$

Conclusion :

Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5%

Le graphique de l'échantillon est représenté sur un papier normal ci-dessous :

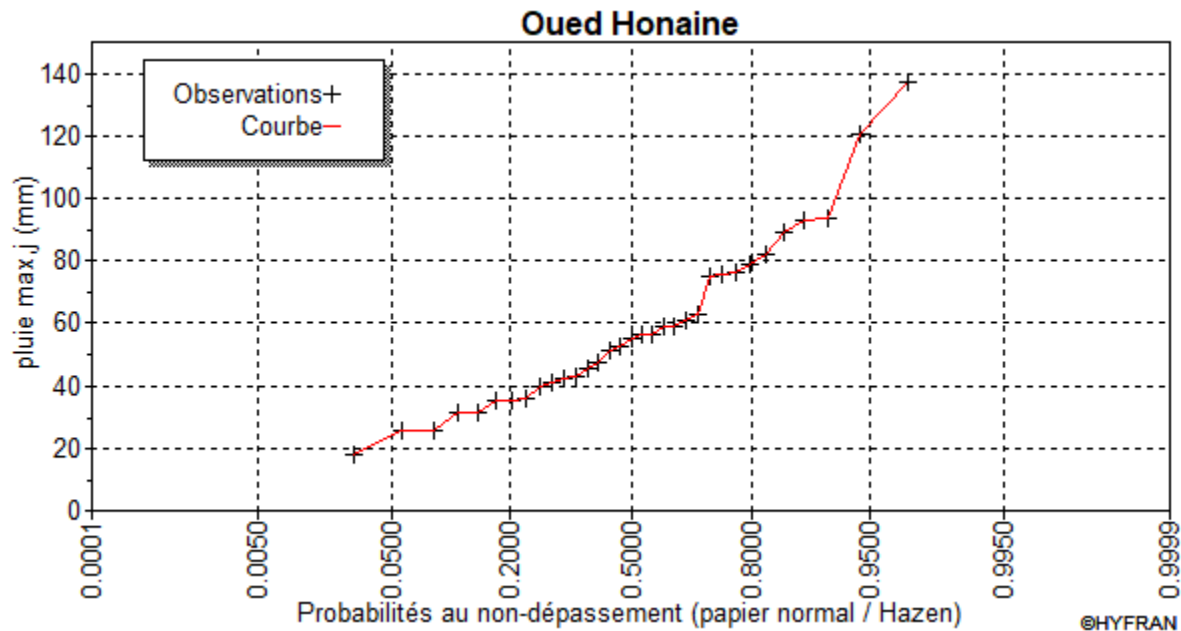


Figure III.9 Représentation des pluies maximum journalières de 32 ans.

Source : logiciel Hyfran

Paramètres du logiciel (HYFRAN) :

T : Période de retour.

q : probabilité au non-dépassement $q = F(x_i)$.

Xt : Pluie maximale journalière correspondante à la période de retour donnée.

III.2.1.3.3. Ajustement de la série des pluies annuelles et maximales journalières

Comme il existe plusieurs méthodes d'ajustement des séries pluviométriques, l'efficacité d'une méthode d'estimation dépend de :

- La loi de probabilité.
- La taille de l'échantillon.
- Certaines caractéristiques de l'échantillon.

Toutefois, de nombreuses études comparatives, autant empiriques que théoriques, ont été menées afin de déterminer dans quelles circonstances une méthode d'estimation est la plus efficace pour une loi donnée (B. Touabia, 2001).

Les lois d'ajustement choisies sont :

- La loi de GAUSS ou loi Normal.
- La loi de GALTON (log-normal).
- La loi de GUMBEL.

1. Ajustement à la loi de GAUSS (loi normal)

Une variable appartient à la distribution normale lorsque sa fonction de répartition est de la forme :

$$F(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{1}{2}u^2} du$$

U est la variable réduite de Gauss. Elle est donnée par $\mu_{T\%} = \frac{X_{T\%} - X_{moy}}{\sigma}$

Paramètres d'ajustement à la loi normale: $X_{T\%} = X_{moy} + \sigma \times \mu_{T\%}$

- $X_{T\%}$: hauteur de pluie pour une période de retour T
- X_{moy} : hauteur de pluie moyenne.
- σ : écart-type.

L'ajustement de la série à la loi Normal a été établi par le logiciel Hyfran, les résultats obtenus sont résumés dans le tableau III.19

Tableau III.19 Résultat de l'ajustement à la loi de GAUSS (loi Normal)

Période de retour (ans)	Probabilité de fréquence (q)	Pluie max jour en (mm)	Ecart type	Intervalle de confiance (95%)
1000	0.9990	142.67	11.53	120.07-165.27
100	0.9900	121.89	9.22	103.81-139.97
50	0.9800	114.47	8.44	97.92-131.02
20	0.9500	103.34	7.33	88.97-117.71
10	0.9000	93.45	6.44	80.83-106.07
2	0.5000	58.58	4.73	49.29-67.86

Source : logiciel Hyfran

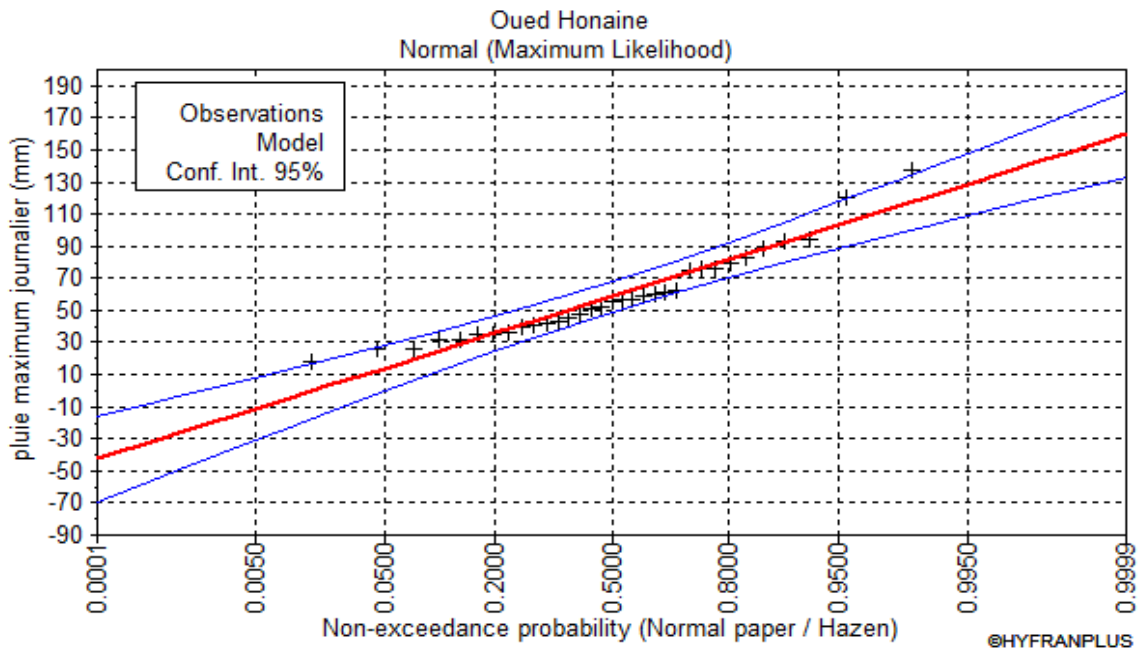


Figure III.10 Ajustement à la loi de GAUSS (loi normal)

Source : logiciel Hyfran

➤ **Le test d'adéquation de la loi normal**

Hypothèses :

- H0 : L'échantillon provient d'une loi Normale
- H1 : L'échantillon ne provient pas d'une loi Normale

Résultats :

- Résultat de la statistique : $\chi^2 = 2.15$
- p-value $p = 0.827$
- Degrés de liberté : 5
- Nombre de classes : 8

Conclusion :

Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5%

Tableau III.20 Comparaison des caractéristiques de la loi normale et de l'échantillon

	Caractéristiques de la loi	Caractéristiques de l'échantillon
Minimum	Aucun	18.2
Maximum	Aucun	137.5
Moyenne	58.56	58.56
Ecart-type	27.21	27.21
Médiane	58.56	55.10
Coefficient de variation (Cv)	0.4644	0.4644
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0.0000	1.0545
Coefficient d'aplatissement (Ck)	3.0000	3.61

Source : logiciel Hyfran

2. Ajustement à la loi de GALTON (log-normal)

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 III.21

Tableau III.21 Résultat de l'ajustement à la loi de GALTON (loi Log-Normal)

Période de retour (ans)	Probabilité de fréquence (q)	Pluie max jour en (mm)	Ecart type	Intervalle de confiance (95%)
1000	0.9990	219.83	42.913	135.71 - 303.96
100	0.9900	154.63	24.146	107.29 - 201.96
50	0.9800	136.38	19.491	98.168 - 174.59
20	0.9500	112.96	14.021	85.471 - 140.45
10	0.9000	95.541	10.413	75.127 - 115.96
2	0.5000	52.935	4.2453	44.613 - 61.258

Source : logiciel Hyfran

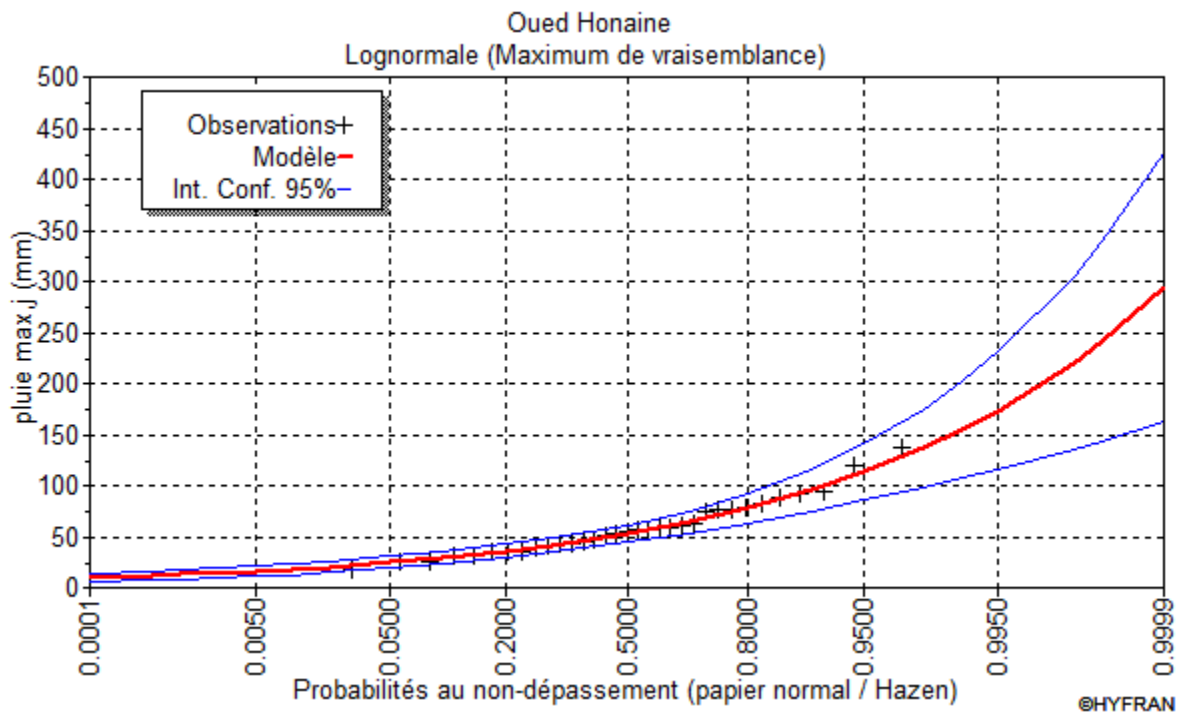


Figure III.11 Ajustement à la loi de GALTON (loi Log-normal)

Source : logiciel Hyfran

➤ **Test d'adéquation de la loi log-normale :** (Maximum de vraisemblance)

Hypothèses :

- H0 : L'échantillon provient d'une loi Log normale
- H1 : L'échantillon ne provient pas d'une loi Log normale

Résultats :

- Résultat de la statistique : $\chi^2 = 5.06$
- p-value $p = 0.408$
- Degrés de liberté : 5
- Nombre de classes : 8

Conclusion : Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5%

Tableau III.22 Comparaison des caractéristiques de la loi Log-normale et de l'échantillon

	Caractéristiques de la loi	Caractéristiques de l'échantillon
Minimum	0.000	18.2
Maximum	Aucun	137.5
Moyenne	58.862	58.56
Ecart-type	28.62	27.21
Médiane	52.94	55.1
Coefficient de variation (Cv)	0.4826	0.4646
Coefficient d'asymétrie (Cs)	1.5738	1.0574
Coefficient d'aplatissement (Ck)	7.704	3.6143

Source : logiciel Hyfran

3. Ajustement à la loi de GUMBEL

Les résultats de calcul des fréquences expérimentales et des valeurs théoriques sont présentés dans le Tableau III.23 ci-dessous à l'aide de logiciel Hyfran.

Tableau III.23 Résultat de l'ajustement à la loi de GUMBEL

Période de retour (ans)	Probabilité de fréquence (q)	Pluie max jour en (mm)	Ecart type	Intervalle de confiance (95%)
1000	0.9990	192.83	27.379	139.16 - 246.51
100	0.9900	143.89	18.584	107.46 - 180.33
50	0.9800	129.08	15.953	97.809 - 160.36
20	0.9500	109.32	12.491	84.832 - 133.80
10	0.9000	94.049	9.8876	74.665 - 113.43
2	0.5000	54.088	4.3470	45.566 - 62.610

Source : logiciel Hyfran

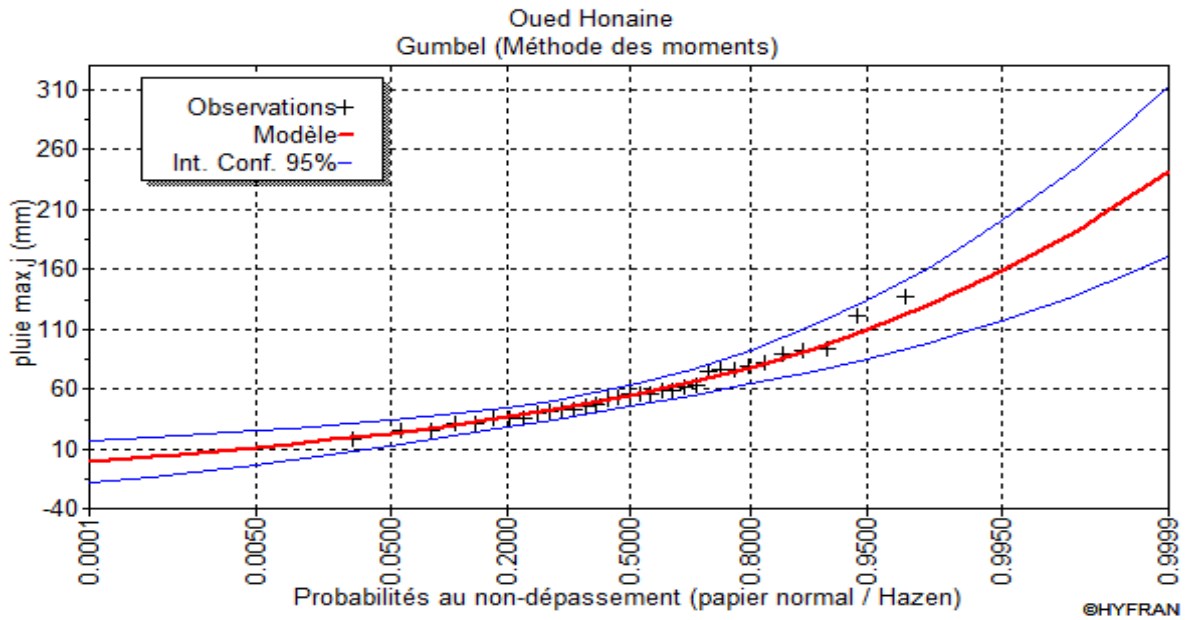


Figure III.12 Ajustement à la loi de GUMBEL
Source : logiciel Hyfran

➤ **Test d'adéquation de la loi Gumbel : (Méthode des moments)**

Hypothèses :

- H0 : L'échantillon provient d'une loi Gumbel
- H1 : L'échantillon ne provient pas d'une loi Gumbel

Résultats :

- Résultat de la statistique : $\chi^2 = 6.12$
- p-value $p = 0.502$
- Degrés de liberté : 5
- Nombre de classes : 8

Conclusion : Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5%

Tableau III.24 Comparaison des caractéristiques de la loi Gumbel et de l'échantillon

	Caractéristiques de la loi	Caractéristiques de l'échantillon
Minimum	Aucun	18.2
Maximum	Aucun	137.5
Moyenne	58.56	58.56
Ecart-type	27.21	27.21
Médiane	54.088	55.100
Coefficient de variation (Cv)	0.4646	0.4646
Coefficient d'asymétrie (Cs)	1.1395	1.0574
Coefficient d'aplatissement (Ck)	2.4000	3.6143

Source : logiciel Hyfran

⇒ **Interprétation graphique**

Après l'analyse des trois graphes résultants des trois lois d'ajustement on remarque que les graphes sont presque identiques, donc on ne peut pas faire un choix et pour cela on a effectué un test d'adéquation.

⇒ **Test d'adéquation χ^2 du (Pearson)**

Le tableau ci-dessous regroupe caractéristiques trois lois d'ajustement.

Tableau III.25 Comparaison des caractéristiques des lois.

Lois statistiques	Degré de liberté	P-value	χ^2_{calculer}	$\chi^2_{\text{théorique}}$
GAUSS(normal)	5	0.827	2.15	11.3
Log normal	5	0.408	5.06	11.3
Gumbel	5	0.502	6.12	11.3

On a $\chi^2_{\text{calculer}} < \chi^2_{\text{théorique}}$ donc les trois lois s'ajustent avec notre série. Mais nous avant faire en remarque que la loi d'ajustement de **GALTON (Log-normal)** qui donne le maximum des $P_{j_{\max}}$, aussi les paramètres de modale d'ajustement de cette loi plus proche aux paramètres de l'échantillon donc il est efficace comme il est montré dans le tableau de comparaison entre les différentes méthodes d'ajustement.

III.2.1.3.4 Pluies de courtes durées de différentes fréquences et leurs intensités

La quantité de pluie tombée en une durée d'intensité donnée, est admise si on la lie à la pluie maximale journalière par la formule décrite par Montana, et corrigée statiquement selon les coefficients climatiques adéquats. Compte tenu des études réalisées dans la région proche de notre région, les intensités-durées-fréquences (IDF) sont déterminées par la formule régionale élaborée pour les zones des côtiers. Cette formule est déterminée par l'expression :

$$P_{(t)} = a * P_{j_{\max}} * t^b$$

Où

- a et b : Coefficients climatiques ajustés convenablement au bassin projeté (a=0.255 et b=0.415 selon les études régionales de l'ANRH).
- $P_{j_{\max}}$: Pluie de 24h pour une fréquence donnée.
- $P_{(t)}$: Pluie de durée t pour la même fréquence.

$$P_{(t)} = 0,255 * P_{j_{\max}} * t^{0.415}$$

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

$$I_{(t)} = \frac{P_{(t)}}{t}$$

Les précipitations et les intensités pour les différentes fréquences sont regroupées dans le tableau III.26 et représentées sur les figures III.13 et la figure III.14.

Tableau III.26 Les précipitations et les intensités pour les différentes fréquences

Periode de retour(ans)	1000		100		50		20		10		2	
Fréquence(%)	0.1		1		2		5		10		50	
Pjmax (mm)	219.83		154.63		136.38		112.96		95.54		52.94	
Durée (h)	Pt (mm)	It (mm\h)	Pt (mm)	It (mm\h)	Pt (mm)	It (mm\h)	Pt (mm)	It (mm\h)	Pt (mm)	It (mm\h)	Pt (mm)	It (mm\h)
1	56.05	56.05	39.43	39.43	34.77	34.77	28.80	28.80	24.36	24.36	13.49	13.94
1.75	70.71	40.41	49.74	28.42	43.87	25.06	36.34	20.76	30.73	17.56	17.02	9.73
2	74.74	37.37	52.57	26.28	46.36	23.18	38.40	19.20	32.48	16.24	17.99	8.99
3	88.43	29.47	62.20	20.73	54.86	18.28	54.44	15.14	38.43	12.81	21.29	7.09
4	99.65	24.91	70.09	17.52	61.82	15.54	51.20	12.8	43.3	10.82	23.99	5.99
5	109.3	21.86	76.89	15.37	67.82	13.56	56.17	11.23	47.51	9.50	26.32	5.27
6	117.9	19.65	82.94	13.82	73.15	12.19	60.58	10.09	51.24	8.54	28.39	4.73
7	125.7	17.95	88.41	12.63	77.98	11.14	64.59	9.23	54.63	7.81	30.27	4.32
8	132.8	16.60	93.45	11.68	82.42	10.30	68.27	8.53	57.74	7.21	31.99	3.99
9	139.5	15.50	98.13	10.90	86.55	9.61	71.69	7.96	60.63	6.73	33.59	3.73
10	145.7	14.57	102.5	10.25	90.42	9.04	74.89	7.48	63.34	6.33	35.10	3.51
11	151.6	13.78	106.6	9.96	94.07	8.55	77.91	7.08	65.90	5.99	36.51	3.31
12	157.2	13.10	110.5	9.21	97.53	8.13	80.78	6.73	68.32	5.69	37.86	3.15
13	162.5	12.50	114.3	8.79	100.8	7.75	83.51	6.42	70.63	5.43	39.13	3.01
14	167.5	11.97	117.8	8.42	103.9	7.42	86.12	6.15	72.83	4.99	40.36	2.88
15	172.4	11.49	121.3	8.08	106.9	7.13	88.62	5.90	74.9	4.99	41.53	2.76
16	177.1	11.07	124.6	7.78	109.9	6.86	91.02	5.68	76.99	4.81	42.66	2.66
17	181.6	10.68	127.7	7.52	112.7	6.62	93.34	5.49	78.95	4.64	43.74	2.57
18	186.0	10.33	130.8	7.27	115.4	6.41	95.58	5.31	80.84	4.49	44.79	2.48
19	190.2	10.01	133.8	7.04	118.1	6.21	97.75	5.14	82.68	4.35	45.81	2.41
20	194.3	9.71	136.6	6.83	120.5	6.03	99.86	4.99	84.46	4.22	46.80	2.34
21	198.3	9.44	139.4	6.64	123.1	5.85	101.9	4.85	86.18	4.10	47.75	2.27
22	202.1	9.18	142.2	6.46	125.4	5.7	103.8	4.72	87.86	3.99	48.68	2.21
23	205.94	8.95	144.86	6.29	127.7	5.55	105.8	4.60	89.50	3.89	49.59	2.15
24	209.61	8.73	147.44	6.14	130.04	5.41	107.7	4.48	91.09	3.79	50.48	2.10

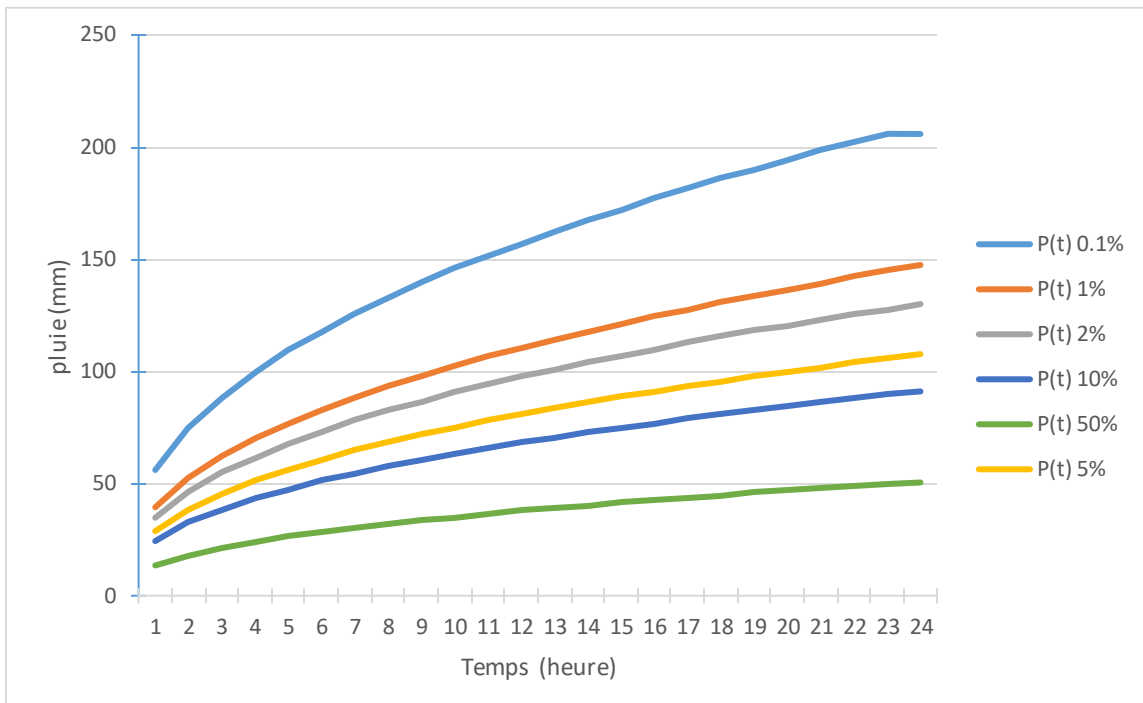


Figure III.13 La courbe des pluies de courte durée de différent fréquence

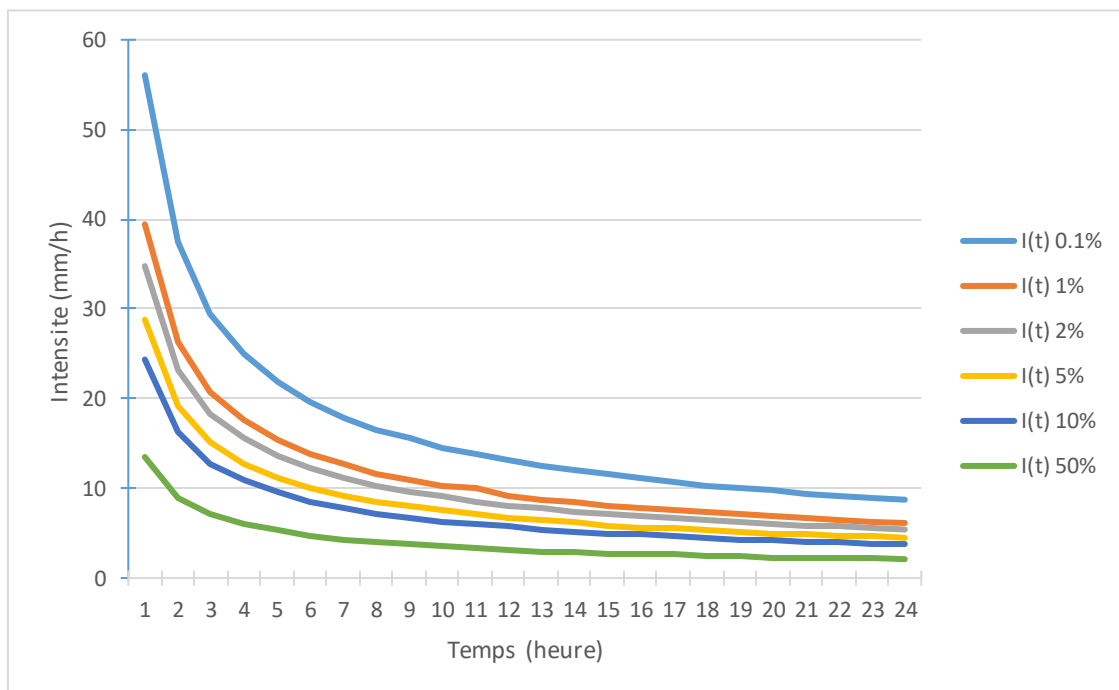


Figure III.14 La courbe des intensités en fonction de temps de différent fréquence

III.2.2. Etude des apports (Laborde, 2003)

Les apports sont évalués, à partir des formules empiriques régionales, Vu que l'inexistence des stations hydrométriques sur les cours d'eau.

➤ **Apport liquide moyen interannuel (A)**

Le calcul de l'apport moyen interannuel est basé sur l'utilisation des formules empiriques employées sous les conditions d'absence de données d'observation hydrométriques.

Il existe plusieurs formules empiriques, parmi lesquelles :

- Formule SAMIE

$$L_e = P^2(293 - 2.2 \times S^{0.5})$$

$$A = L_e \times S$$

- A : apport moyen en (m³)
- L_e : Lamé d'eau écoulée en (mm)
- P : précipitation moyenne interannuelle en (m)
- S : Surface du bassin versant n (km²)

- Formule de l'ANRH

$$A = 0.915 \times P^{2.684} \times S^{0.9}$$

- A : apport moyen en (m³)
- P : précipitation moyenne interannuelle en (m)
- S : Superficie du bassin versant (Km²)

- Formule CHAUMONT

$$L_e = C \times P \times (1 - 10^K)$$

$$A = L_e \times S$$

- C = 0.6
- K = - 0.36 × P²
- L_e : Lamé d'eau écoulée en (mm)
- A : apport moyen en (m³)
- P : précipitation moyenne interannuelle en (m)
- S : Superficie du bassin versant (Km²)

- Formule de MEDINGER

$$L_e = 1.024 \times (P - 0.26)^2$$

$$A = L_e \times S$$

- L_e : Lamé d'eau écoulée en (mm)
- A : apport moyen en (m³)
- P : précipitation moyenne interannuelle en (m)

Application numérique :

Tableau III.27 Résultats de calcul de l'apport liquide par les formules empiriques

formule	Lame d'eau écoulée (mm)	Apport moyen (hm ³)
SAMIE	47.64	0.911
ANRH	-	1.19
CHAUMONT	53.33	1.02
MEDINGER	23.04	0.44

Afin de connaître quelle formule est la plus fiable pour le calcul de l'apport liquide moyen, on calcule l'erreur des quatre formules :

Tableau III.28 calcul des erreurs pour le choix de l'apport moyen liquide

Bassin versant	SAMIE	ANRH	CHAUMONT	MEDINGER	Somme	Moyenne	ERREUR			
Apport moyen (hm ³)	0.911	1.19	1.02	0.44	3.56	0.89	0.023	0.25	0.13	1.02

Le tableau III.28 nous montre que la formule de SAMIE nous donne l'apport le plus adopté avec une erreur de 0.023.

$$A = 0.911 \text{ hm}^3$$

$$L_e = 47.63 \text{ mm}$$

➤ **Etude des Caractéristiques de l'écoulement**

1. Module de l'écoulement

Il est donné par :

$$Me = \frac{A_0}{T}$$

- A₀ : Apport moyen inter annuel (I).
- T : Temps d'une année en secondes T = 365×24×3600=3153600 s.

Application numérique :

$$Me = \frac{0.911 \times 10^9}{3153600} = 28.88 \text{ l/s}$$

$$Me = 28.88 \text{ l/s}$$

2. Module de l'écoulement relatif

$$M_0 = \frac{Me}{S}$$

- Me: Module de l'écoulement (l/s)
- S: Superficie du bassin (Km²).

Application numérique :

$$M_0 = 1.51 \text{ l/s/Km}^2$$

3. Coefficient de l'écoulement

Il est donné par :

$$C_e = \frac{L_e}{P}$$

- P : précipitation moyenne interannuelle en (mm)
- L_e : lame d'eau écoulee en (mm)

Application numérique :

$$C_e = 0.12$$

4. Coefficient de variation

Le calcul du coefficient de variation C_v est basé sur l'utilisation des formules empiriques, tel que :

⇒ **Formule de SOKOLOVSKY**

$$C_v = 0,78 - 0,29 \log_{10}(M_0) - 0,063 \log_{10}(S + 1)$$

- M_0 : Module de l'écoulement relatif (l/s/km²).
- S : Superficie du bassin (Km²).

Application numérique :

$$C_v = 0.65$$

⇒ **Formule de L'ANTONOV**

$$C_v = \frac{0.7}{(S + 1000)^{0.097}}$$

- S : Superficie du bassin en (km²).

Application numérique :

$$C_v = 0.4$$

⇒ **Formule de KRISTEKLY MENKEL**

$$C_v = \frac{0.83}{(S^{0.06} M_0^{0.27})}$$

- M_0 : module de l'écoulement relatif [l/s/km²].
- S : Superficie du bassin en [km²].

Application numérique :

$$C_v = 0.62$$

⇒ **Formule de Padoun Algérienne**

$$C_v = 0.93 \frac{K}{M_0^{0.23}}$$

- K : coefficient de réduction tel que : $0,25 < K < 1$, on prend $K=0.66$
- M_0 : module spécifique du bassin versant en (l/s/km²).

Application numérique :

$C_v = 0.56$

Après le calcul de du coefficient de variation par diffèrent formule empirique la formule de **Padoun** est la plus adopte car elle est la plus proche de la moyenne. D'où : **$C_v = 0.56$**

III.3. Etude des crues

Afin de prévenir le risque naturel du par les crues qui posent d'énorme problèmes humains et sur la sécurité de l'ouvrage, il faut faire une évaluation de ces crues pour une bonne estimions des débits maximums fréquentiels et la définition de la forme de l'hydrogramme de crue fréquentielles sur le bassin versant.

III.3.1. Détermination des débits maximums fréquentiels

Le bassin d'Oued Honaine est un bassin non jauge c'est-à-dire il y a un manque de données pour déterminer les débits maximums fréquentiels, et pour cette raison on utilise les formules empiriques.

III.3.1.1. Détermination des débits maximums fréquentiels par les formules empiriques

➤ **Formule de Sokolovsky (1958-1968)**

En Algérie les service d'état utilise souvent la méthode de Sokolovsky pour la détermination des débits maximums fréquentiels.

$$Q_{\max\%} = \frac{0.28 \times S \times \alpha \times (P_{ct} - H_o) \times F}{T_c}$$

- S: superficie du bassin versant (Km²)
- P_{tc} : pluies de courte durée (mm)
- T_c : temps de concentration (h).
- H_o : C'est la perte d'eau initiale. Au nord de l'Algérie $H_o=7$ mm
- F : Coefficient de forme de la crue : $F = \frac{12}{(4+3.\gamma)}$; tel que γ dépend de la superficies de bassin versant :
 - Pour $S < 50$ Km² on a $\gamma=2$.
 - Pour un bassin boisé avec un sol peu perméable : $2 \leq \gamma \leq 2.5$.
 - Pour un bassin boisé : $3 \leq \gamma \leq 4$.

On prend $\gamma=2$; d'où : $F= 1.2$.

- α : Coefficient de ruissellement de la crue pour une période donnée : $\alpha = \frac{\sqrt{Xp} - \sqrt{Ho}}{\sqrt{Xp + \sqrt{Ho}}}$

- Xp : précipitation de fréquence donnée qui correspond au temps de concentration.

Application numérique :

Tableau III.29 Calcule de débit maximum fréquentiel selon la formule de Sokolovsky

Periode de retour (ans)	Fréquence (%)	Pt (mm) pour t=1.75h	α	$Q_{max\%}$ (m ³ /s)
2	50	17.02	0.219	8.06
10	10	30.73	0.354	30.84
50	2	43.87	0.429	58.07
100	1	49.74	0.454	71.23

➤ **Formule de Mallet-Gauthier**

$$Q_{max\%} = 2 \times K \log(1 + A \times P) \frac{S}{\sqrt{Lp}} \times \sqrt{1 + 4 \log(T) - \log(S)}$$

- S: superficie du bassin versant (Km²).
- Lp: longueur du talweg principal (Km).
- A: coefficient régional pris égal à 20.
- K: constante qui dépend des caractéristiques du bassin versant $1 < K < 3$, $K=2$
- P: précipitation moyenne interannuelle en m.
- T: période de retour en années.

Application numérique :

Tableau III.30 Calcule de débit maximum fréquentiel selon la formule de Mallet-Gauthier

Periode de retour (ans)	Fréquence (%)	P (m)	$Q_{max\%}$ (m ³ /s)
2	50	0.41	16.67
10	10	0.41	33.47
50	2	0.41	44.3
100	1	0.41	48.21

➤ **Formule de Turraza**

Cette formule est bien ajustée pour les petits bassins.

$$Q_{\max\%} = \frac{C \times S \times It \times Tc}{3.6}$$

- S: superficie du bassin versant (Km²).
- Tc: temps de concentration.
- It: intensité moyenne maximale de la précipitation pendant une durée égale au temps de concentration en (mm/h).
- C : coefficient de ruissellement de la crue C=0.7.

Application numérique :

Tableau III.31 Calcule de débit maximum fréquentiel selon la formule de Turraza

Periode de retour (ans)	Fréquence (%)	It (mm/h)	Q _{max%} (m ³ /s)
2	50	9.73	63.3
10	10	17.56	114.25
50	2	25.06	163.04
100	1	28.42	184.9

Après avoir calculé le débit maximum fréquentiel par les trois formules, nous adoptons celle de la formule de **Turraza** car elle nous donne les valeurs de débit maximum.

Tableau III.32 Les débits maximums de crue de bassin versant d'oued Honaine

Periode de retour (ans)	Q _{max%} (m ³ /s)
2	63.3
10	114.25
50	163.04
100	184.9

III.3.1.2. Détermination des débits maximums fréquentsiels par la méthode GRADEX

C'est un modelé qui permet d'estimer le débit maximum fréquentiel a diffèrent périodes de retours. Cette méthode dans son principe est très simple et son succès est très grand contrairement aux méthodes empiriques qui restent peu précises.

Ce modèle est valable généralement aux bassins versants non jauge ou faiblement jauge et d'une surface plus de dix mètre care jusqu'à 5000 km²,

La méthode du GRADEX suppose qu'à partir de dix ans la capacité de rétention devient très importante c'est-à-dire sol sature ce qui fait une limitation de l'infiltration et à partir d'un certain débit, toutes les précipitations qui tombent ruissellent et appelé débit de référence .

➤ Hypothèses de la méthode:

Cette méthode s'appuie sur les hypothèses suivantes :

- 1) La formation des crues sont provoqués uniquement par des pluies maximales, c'est-à-dire les pluies maximales sont la seule source des débits maximums
- 2) Le comportement de la loi de probabilité des débits maximum fréquentiels devenu asymétrique au comportement des pluies maximum journalier de la crue de période de retour égale 10 ans, La méthode de Gradex s'ajuste à La loi de GUMBEL et le caractère exponentiel de la distribution des pluies est décrit par la pente de la droite d'ajustement des pluies observées, mesurées sur un diagramme de probabilité adéquat. La pente de cette droite est le gradient de cette distribution exponentielle.
- 3) On admet que la rétention moyenne du bassin versant atteint sa valeur maximale pour une crue décennale $Q_{10 \text{ ans}}$.

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.

➤ Etapes de la méthode:

- 1) Choisir un pas de temps n (heure) tel que n égale a la moyenne des temps de base des hydrogrammes de crues disponibles.
- 2) Détermination du Gradex « a » à partir de l'ajustement par la loi de Gumbel des pluies maximales journalières

$$P(\text{mm}) = a \cdot \mu + b$$

- μ : variable réduite de Gumbel ; $\mu = -\ln(-\ln(F))$ avec $F = 1 - \frac{1}{T}$

- 3) Détermination de débit décennal (point pivot de l'extrapolation des débits) $Q_{10 \text{ ans}}$ via l'ajustement des débits a la loi de Gumbel
- 4) Convertir le débit décennal $Q_{10 \text{ ans}}$ (m^3/s) en lame d'eau (mm) par la formule suivante :

$$R(\text{mm}) = \frac{Q(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}) \times 3.6 \times n(\text{heure})}{S(\text{km}^2)}$$

- n : la moyenne de temps de base de l'hydrogramme de crue observe

- 5) Sur le même graphe d'ajustement de pluie maximale journalière, on trace la droite de des débits au-delà de 0.9 (T=10 ans) avec une pente égale au GRADEX de la pluie pour tirer les Q pour chaque période de retour (en mm).

$$Q_{\mu\%}(\text{mm}) = a \cdot \mu + b'$$

- a : le GRADEX de la pluie

- μ : variable réduite de GUMBEL

- $b' = Q_{10 \text{ ans}} - a \cdot \mu$ (T=10 ans).

- 6) Exprimer ces Q en m^3/s par la formule :

$$Q(\text{m}^3/\text{s}) = \frac{Q(\text{mm}) \times S(\text{km}^2)}{3.6 \times n(\text{heure})}$$

- 7) Calcul le débit de pointe

$$Q_p(\text{m}^3/\text{s}) = Q(\text{m}^3/\text{s}) \times P$$

Chapitre III Etude Hydrologique

Calculer sur les hydrogrammes des crues observées le rapport p égal au rapport débit de pointe sur débit moyen :

$$P = \frac{Q_{\max}}{Q_{\text{moy}}}$$

Application numérique :

- Ajustement de la série pluviométrique ($P_{j\max}$) de la station « GHAZAOUET » (040101) du bassin voisin à la loi de GUMBEL ; En utilisant le logiciel HYFRAN.

La représentation graphique de la loi est dans la figure ci-dessous.

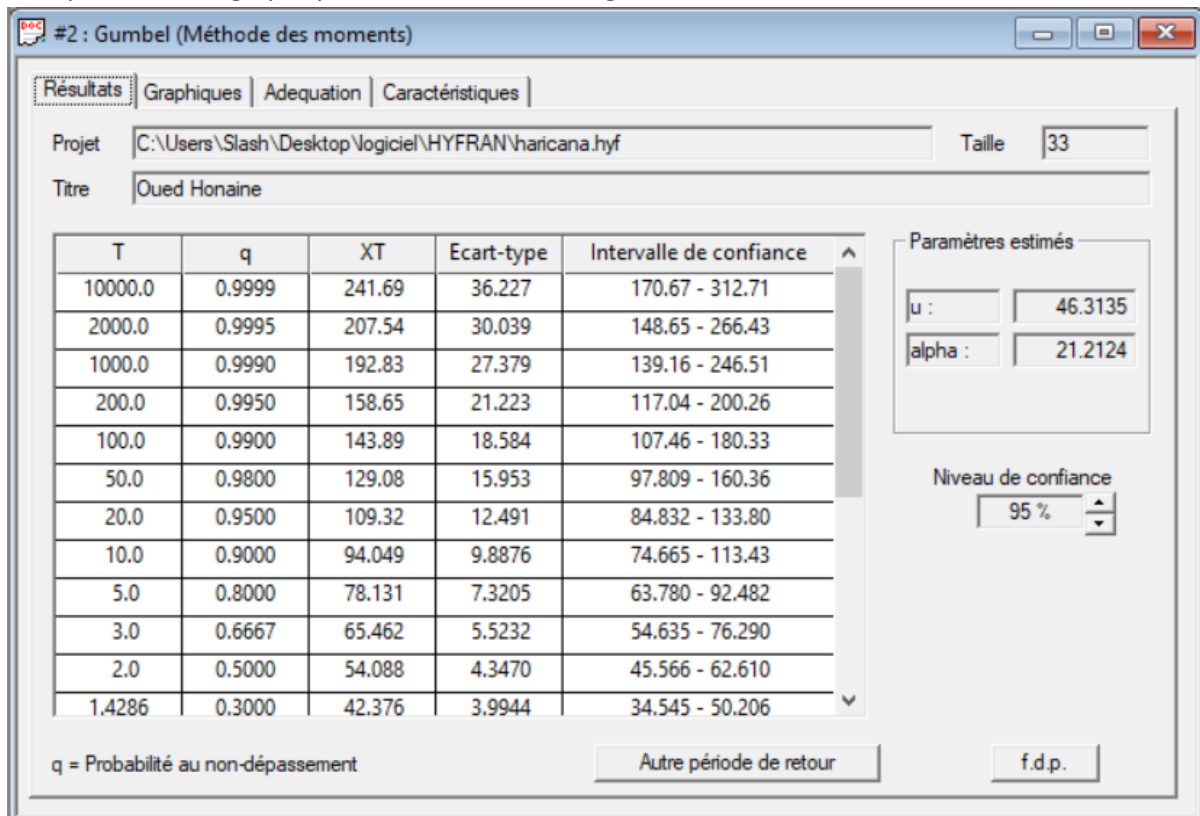


Figure III.15 La représentation graphique de la loi Gumbel

Source : Logiciel Hyfran

Les caractéristiques de l'ajustement à une loi de Gumbel des précipitations journalières maximales annuelles données dans le tableau III.33, dont les données hydrométriques enregistrées entre 1983 et 2015.

Tableau III.33 Les caractéristiques de la loi de Gumbel

Taille de l'échantillon	33
Moyenne	58.56 mm
Ecart-type	27.21 mm
Paramètre de l'ajustement de Gumbel	46.31
Paramètre de l'ajustement de Gumbel (pente)	21.21

Source : Hyfran

L'équation de la droite de GUMBEL est :

$$P \text{ (mm)} = 21.21 \times \mu + 46.31$$

Le GRADEX est donc : **a = 21.21 mm**

- Après l'examen des enregistrements des crues de la station de « GHAZAOUET » (040101) on a estimé le temps de base par : **n=24 heures**.
- L'ajustement de la série des débits de la station de « GHAZAOUET » (040101) à la loi de GUMBEL nous a donnée: **Q_{10ans} = 51.93 m³/s** pour un bassin versant d'une superficie égale à **20.43 km²**
Alors on a :

$$\frac{Q_{10\text{ans}}(\text{Ghazaouet})}{S(\text{Ghazaouet})} = \frac{Q_{10\text{ans}}(\text{Honaine})}{S(\text{Honaine})}$$

Application numérique : $Q_{10\text{ans}}(\text{Honaine}) = \frac{19.12 \times 51.93}{20.43} = 48.61$

$$Q_{10\text{ans}}(\text{Honaine}) = 49 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$R_{10\text{ans}}(\text{Honaine}) = \frac{49 \times 3.6 \times 24}{19.12} = 219.67$$

$$R_{10\text{ans}}(\text{Honaine}) = 219.67 \text{ mm}$$

- On fait l'extrapolation des débits au-delà du débit décennal

$$Q_{\mu\%} = a \cdot \mu + b'$$

- a : le GRADEX = 21.21 mm
- μ : variable réduite de GUMBEL tel que $\mu_{10\text{ans}} = 2.25$.
- $b' = Q_{10\text{ans}} - a \cdot \mu_{10\text{ans}} = 219.67 - 21.21 \times 2.25 = 171.95 \text{ mm}$

Donc : l'équation du débit extrapolé est :

$$Q_{\mu\%} = 21.21 \cdot \mu + 171.96$$

- On trace cette équation sur même graphe que celui de l'ajustement des $P_{j\text{max}}$. Pour chaque période de retour, on tire le débit en (mm) et on les exprime en (m³/s)

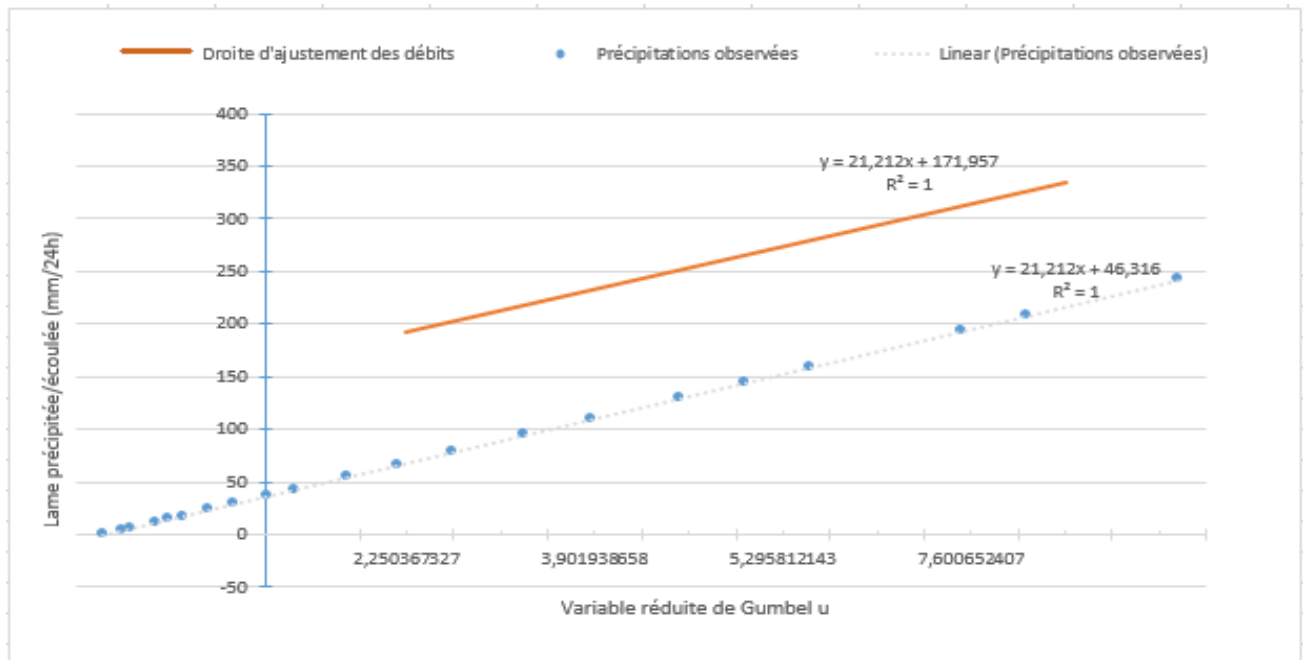


Figure III.16 Graphe de la méthode de GRADEX

Pour le calcul des débits de pointe on multiplie tous les débits extrapolés par le coefficient de pointe P, tels que $P = Q_{max} / Q_{moy} = 3$, pour obtenir les débits maximums pour chaque période de retour. Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau III.34 Débits de pointe de bassin versant par la méthode GRADEX

T (ans)	F(x)	μ	$Q_{\mu\%}$ [mm/24h]	Q_T (m ³ /s)	Q_P (m ³ /s)
10	0.900	2.25	198.83	44	132
20	0.950	2.97	214.10	48	144
50	0.980	3.90	233.83	52	156
100	0.990	4.60	248.68	55	165
500	0.998	6.21	282.82	63	189
1000	0.999	6.91	297.67	66	198

➤ **Interprétation:**

Afin de choisir le débit de pointe optée on fait une comparaison entre les valeurs de débit déterminé par la formule empirique de TURRAZA et celle trouve par la méthode de GRADEX.

Tableau III.35 Les débits calculés par la méthode de GRADEX et la formule de TURRAZA

T (ans)	TURRAZA	GRADEX
10	114.25	132
50	163	156
100	184.9	165

Tableau III.36 Les valeurs des débits de pointe optées

T (ans)	10	20	50	100	500	1000
GRADEX	132	144	156	165	189	198

- La méthode du GRADEX subit une faible variation de débits entre les différentes périodes de retour, et cela est dû à l'hypothèse de la méthode qui est applicable pour des grandes périodes de retour (1000 et 10 000 ans) ainsi que la faible pente de la droite de GUMBEL de l'ajustement des précipitations.
- On remarque une différence entre les valeurs obtenues par les formules empiriques.
- Les débits calculés par la méthode du GRADEX (pour les grandes périodes de retour surtout) sont plus proches à la moyenne des débits calculés par les formules empiriques, donc nous optons les valeurs obtenues par la méthode du GRADEX qui semble plus représentative.

Dans ce projet nous nous intéressons aux deux oueds qui menacent le centre de Honaine. Par la même méthode on calcule le débit centennale d'oued Honaine qui traverse les sous bassins 1,2,3 et 5, aussi le débit d'oued Menzel qui passe par le sous bassin 4, le tableau III.37 représente les débits calculés par la méthode de GRADEX.

Tableau III.37 Les valeurs des débits de pointe optées pour oued Honaine et oued Menzel

	S (Km ²)	Q ₁₀ (m ³ /s)	R (mm)	b' (mm)	R ₁₀₀ (mm)	Q ₁₀₀ (m ³ /s)	Qp (m ³ /s)
BV	19,12	44	198,8285	151,11	248,676	55	165
Oued Honaine	13,72	31,57	198,8082	151,09	248,656	40	120
Oued Menzel	5,4	12,43	198,8801	151,16	248,726	16	48

III.3.2. Hydrogrammes de crue

L'hydrogramme de crue dépend de différent paramètre : Le volume, la durée et le débit maximum (débit de pointe). La méthode de Sokolovsky devise l'hydrogramme de crue en deux parties non symétriques à deux équations paraboliques l'une pour le temps de montée définie par:

$$Q_m = Q_{max} \% \left(\frac{t}{tm} \right)^n$$

Et l'autre pour la décrue la décrue exprimée par :

$$Q_d = Q_{max} \% \left(\frac{tb-t}{td} \right)^m$$

Chapitre III Etude Hydrologique

- Q_{\max} (%): débit maximum de fréquence donnée (m^3/s).
- Q_m : débit instantané de montée (m^3/s).
- Q_d : débit instantané de la décrue (m^3/s).
- t_m , t_d : temps de montée et de décrue (heure).
- m , n : puissances des paraboles pour les bassins de petits gabarits $m=3$ et $n=2$.
- T_b : Temps de base (heure): $t_b = t_m + t_d$

On considère généralement que: $t_m = T_c = 1.75$ h et $t_d = \delta * t_m$.

Tel que δ : coefficient de forme de l'hydrogramme de crue.

Tableau III.38 Coefficients 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 $\delta=2,5$ c'est à dire $t_d = 4.375$ h et $t_b = 6.125$ h

Tableau III.39 Valeurs des débits de crues en fonction du temps

t	Q (10ans)	Q(20ans)	Q(50ans)	Q(100ans)	Q(500ans)	Q(1000)
0,125	0,673469	0,734694	0,795918	0,841837	0,964286	1,010204
0,5	10,77551	11,7551	12,73469	13,46939	15,42857	16,16327
0,875	33	36	39	41,25	47,25	49,5
1	43,10204	47,02041	50,93878	53,87755	61,71429	64,65306
1,25	67,34694	73,46939	79,59184	84,18367	96,42857	101,0204
1,5	96,97959	105,7959	114,6122	121,2245	138,8571	145,4694
1,625	113,8163	124,1633	134,5102	142,2704	162,9643	170,7245
1,75	132	144	156	165	189	198
2	110,6399	120,698	130,7562	138,2998	158,4162	165,9598
2,25	91,71806	100,0561	108,3941	114,6476	131,3236	137,5771
2,375	83,12536	90,68222	98,23907	103,9067	119,0204	124,688
2,5	75,08683	81,91291	88,73899	93,85854	107,5107	112,6303
2,625	67,584	73,728	79,872	84,48	96,768	101,376
2,75	60,59839	66,10734	71,61628	75,74799	86,76588	90,89759
2,875	54,11153	59,03076	63,94999	67,63942	77,47788	81,1673
3	48,10496	52,47813	56,85131	60,1312	68,87755	72,15743

Chapitre III Etude Hydrologique

3,125	42,56019	46,42929	50,2984	53,20023	60,93845	63,84028
3,25	37,45875	40,86409	44,26943	46,82344	53,63412	56,18813
3,375	32,78218	35,76238	38,74258	40,97773	46,93812	49,17327
3,5	28,512	31,104	33,696	35,64	40,824	42,768
3,625	24,62974	26,8688	29,10787	30,78717	35,26531	36,94461
3,75	21,11692	23,03664	24,95636	26,39615	30,23559	31,67538
3,875	17,95508	19,58736	21,21964	22,44385	25,70841	26,93262
4	15,12574	16,5008	17,87587	18,90717	21,65731	22,68861
4,125	12,61043	13,75683	14,90323	15,76303	18,05584	18,91564
4,25	10,39067	11,33528	12,27988	12,98834	14,87755	15,58601
4,375	8,448	9,216	9,984	10,56	12,096	12,672
4,5	6,763942	7,378845	7,993749	8,454927	9,684735	10,14591
4,625	5,320023	5,803662	6,2873	6,650029	7,617306	7,980035
4,75	4,097773	4,470297	4,842822	5,122216	5,867265	6,146659
4,875	3,078717	3,358601	3,638484	3,848397	4,408163	4,618076
5	2,244385	2,44842	2,652455	2,805481	3,213551	3,366577
5,125	1,576303	1,719603	1,862904	1,970379	2,25698	2,364455
5,25	1,056	1,152	1,248	1,32	1,512	1,584
5,375	0,665003	0,725458	0,785913	0,831254	0,952163	0,997504
5,625	0,197038	0,21495	0,232863	0,246297	0,282122	0,295557
5,75	0,083125	0,090682	0,098239	0,103907	0,11902	0,124688
6	0,003079	0,003359	0,003638	0,003848	0,004408	0,004618
6,125	0	0	0	0	0	0

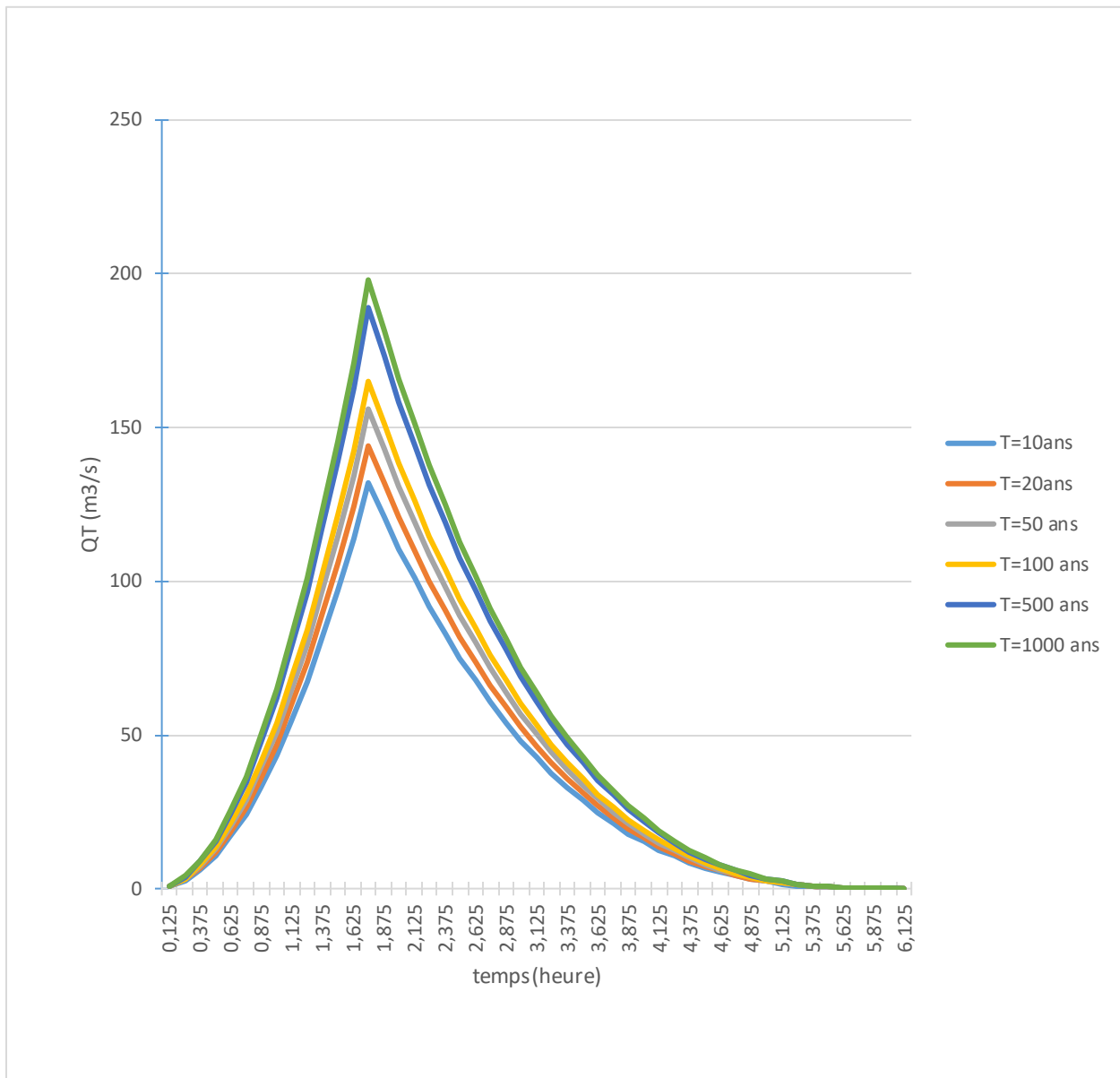


Figure III.17 hydrogramme de crue

III.3.3. Choix de la crue de projet

L'importance de cette étude consiste à déterminer la crue maximale que l'ouvrage peut la supporter pour une probabilité donnée, donc il est évident de choisir la crue de projet selon l'importance de l'ouvrage à réaliser, l'effet de la crue sur l'aval et des considérations technico-économiques liées à l'aménagement et à l'environnement. C'est-à-dire ce choix intervient sur le degré de risque qui peuvent être provoqué par cette crue au cours de réalisation, sur le coût de l'ouvrage à réaliser et sur la durée d'exécution de l'aménagement et sur sa durée de vie.

Pour déterminer la crue de projet il faut prendre en considération caractéristiques géologiques, topographique et hydrologiques du bassin versant, concernant notre bassin versant les difficultés géologiques et géotechniques sont faibles et les connaissances hydrologiques paraissent moyennes et que le risque en aval n'est pas élevé, donc à partir de tableau III.39 on opte pour une période de retour de 100 ans pour un débit qui vaut $Q = 165 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tableau III.40 Estimation de la crue du projet

Catégories des dommages	Crue de projet recommandé de probabilité de dépassement annuelle
Elevés : - 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

III.4. Etude des Apport solides

A cause de l'absence d'observations sur le transport solide (bassin non jaugé) l'estimation du transport solide des oueds du secteur d'étude a été réalisée en utilisant les formules empiriques les plus utilisées en Algérie tel que **La formule de Tixeront**.

Les crues des oueds de la zone d'étude se caractérisent, par leurs volumes d'apports et les vitesses d'écoulement surtout en montagne, par leur extrême violence et leur force de charriage de matériaux solides. Aussi tout aménagement quel qu'il soit doit avant tout prendre en considération le travail de l'érosion et de l'alluvionnement dû aux crues et la prise en considération de l'envasement. D'après les données géologiques, la perméabilité du bassin étudié est faible à moyenne (formations marneuses assez étendues) c'est-à-dire que les infiltrations sont faibles et presque tout le volume d'eau dans l'oued applique la force de charriage de matériaux. 14

➤ Méthode de Sogreah

Elle tient compte de la répartition du bassin Versant en fonction de sa perméabilité et s'écrit :

$$T_s = \alpha \cdot L_e^{0.15}$$

- T_s : apport solide moyen annuel en suspension (T/Km2/An).
- L_e : lame d'eau écoulée (mm).
- α : paramètre caractérisant la perméabilité du bassin versant

Tableau III.41 Estimation du coefficient de perméabilité.

B.V a perméabilité élevée	$\alpha=8.5$
B.V à perméabilité moyenne a élevé	$\alpha=75$
B.V a perméabilité faible à moyenne	$\alpha=350$
B.V a perméabilité faible	$\alpha=1400$
B.V a perméable	$\alpha=3200$

Pour notre cas bassin versant à perméabilité faible à moyenne en prend $\alpha=350$

Application numérique : $T_s = 350 \times 47.63^{0.15} = 624.81$

$$T_s = 624.81 \text{ T/Km}^2/\text{an}$$

➤ **Formule de Fournier**

Le transport solide est donnée par la formule suivante :

$$E_s = \frac{1}{36} \left(\frac{P_m^2}{P_a} \right)^{2.65} \left(\frac{h^2}{S} \right)^{0.46}$$

- E_s : érosion spécifique (T/Km²an).
- P_m : Pluie mensuelle du mois le plus pluvieux (mm). $P_m = 54.89$ mm.
- P_a : Pluie moyenne annuelle (mm) $P_a = 410$ mm.
- $h = 45\%(H_{\max} - H_{\min})$ (m).

Application numérique :

$$E_s = \frac{1}{36} \times \left(\frac{54.89^2}{410} \right)^{2.65} \times \left(\frac{387.45^2}{19.12} \right)^{0.46} = 339.48$$

$$E_s = 339.48 \text{ T/Km}^2/\text{an}$$

- ❖ Après le calcul du transport solide par ces deux formules, nous optons le résultat donner par la formule de Sogreah, car elle donne la valeur la plus grande donc elle représente l'estimation la plus optimal.

Conclusion

En conclusion ce chapitre nous'a permis de donner une étude détaillée sur tous les caractéristiques hydrauliques de notre bassin versant en utilisant les logiciels Hyfran et Arcgis et à l'aide de différents formules empiriques. Cela nous permettra à donner une bonne implantation de l'ouvrage contre les inondations.

CHAPITRE IV
Etude de diagnostic du cours
d'eau non aménagé

Introduction

L'étude Hydraulique c'est une étape aces importante pour l'implantation d'un ouvrage d'aménagement, elle vise à traite l'écoulements naturelles ou dans les canaux artificiels, quel que soit sa nature a surface libre ou en charge.

L'objectif de ce chapitre consiste à analyser et étudier l'écoulement dans les oueds de notre bassin versant.

IV.1. Généralités (Graf et al, 1993)

IV.1.1. Ecoulement à surface libre

Il s'agit d'un écoulement liquide avec une interface libre entre l'air et l'eau, ces écoulements sont généralement soumis à la force de gravite due à la présence de la pente .la pression est souvent égale a la pression atmosphérique.

IV.1.2. Canaux à ciel ouvert

Une conduite a surface libre soumise à la pression atmosphérique appelé canal, Ils peuvent être des canaux naturels ou artificiels, ces canaux doivent être soigneusement conçus de façon à avoir la capacité de débit requise, aussi ils sont caractérisés par une pente « i » et un coefficient de rugosité « n ».

⇒ Canaux Naturel

Ce sont les canaux qui suivent naturellement leur flux dans le sol tel que les rivières, les fleuves, les torrents... etc. Ces canaux ont des caractéristiques géométriques et hydrauliques généralement irrégulières.

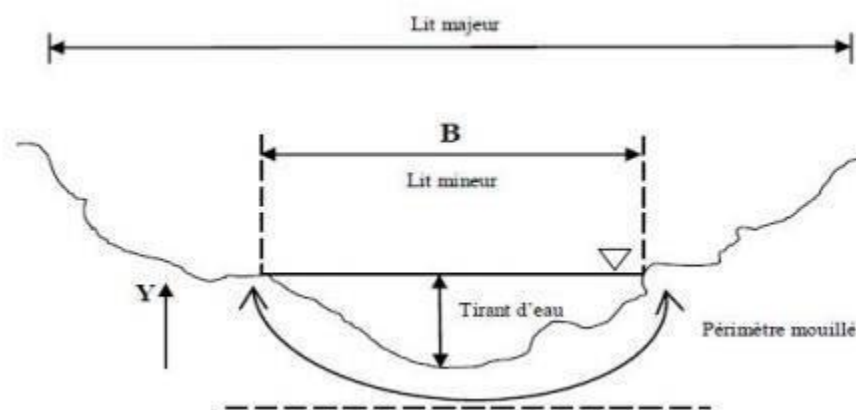


Figure IV.1 canal naturel

Source: researchgate.net

- **Section d'écoulement (ou section mouillée) S_m**

Partie de la section qui est en contact avec l'eau du canal limitée par les parois et la surface libre.

- **Périmètre mouillé P_m**

Longueur de la surface d'écoulement en contact avec le lit (fond + berges), c'est-à-dire le périmètre de la section d'écoulement moins la largeur au miroir.

- **Largeur au miroir B**

Largeur de la section d'écoulement au niveau de la surface libre. La pression du fluide à cette interface est égale à celle de l'atmosphère.

- **Tirant d'eau**

Profondeur maximale d'une section d'écoulement.

⇒ Canaux artificiels

Les canaux artificiels sont des ouvrages réalisés par l'homme, comme il existe des canaux découverts tel que : canaux de navigation, d'adduction et d'évacuation, d'irrigation et de drainage, et les canaux couverts dans lesquels les liquides ne remplissent pas toute la section (tunnels hydrauliques, aqueducs, drains, égouts), les canaux artificiels sont connus par leur propriétés hydrauliques assez régulières.

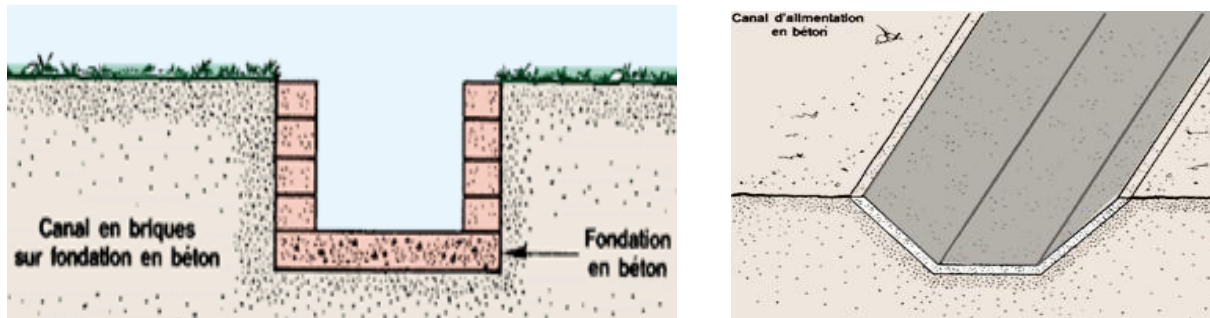


Figure IV.2 Canaux artificiels à ciel ouvert

Source : fao.org

IV.1.3. Types d'écoulement

La classification des écoulements est fonction de la variation du diamètre hydraulique par rapport au temps et à l'espace.

a) Variabilité dans le temps

Il s'agit de la variation de la profondeur hydraulique et les vitesses moyennes et ponctuelles de l'écoulement dans le temps, on distingue :

- **Ecoulement permanent** : c'est un écoulement tel que tous les molécules traversant la même section passent avec la même vitesse. C'est à dire les lignes de courant ne varie pas au cours de temps.

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{dU}{dt} = \frac{dh}{dt} = 0$$

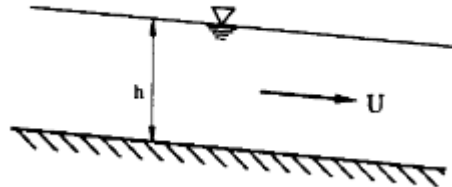


Figure IV.3 Ecoulement permanent

Source : docplayer.fr

- **Ecoulement non-permanent** : L'écoulement est considéré *non-permanent* si la profondeur hydraulique varie dans le temps.

$$\frac{dQ}{dt} \neq \frac{dU}{dt} \neq \frac{dh}{dt} \neq 0$$

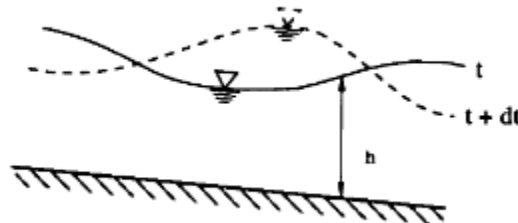


Figure IV.4 Ecoulement non-permanent

Source : docplayer.fr

b) Variabilité dans l'espace

On parle de la variation de la profondeur hydraulique et les vitesses moyennes et ponctuelles de l'écoulement dans les diverses sections du canal, on différencie:

- **Ecoulement uniforme** : un écoulement est dit uniforme lorsque la ligne de charge, la surface libre et le fond sont rectilignes et parallèles le long du canal.

$$\frac{dQ}{dx} = \frac{dU}{dx} = \frac{dh}{dx} = 0$$

- **Ecoulement non uniforme** : l'écoulement d'un canal est non-uniforme si la profondeur hydraulique et la vitesse change d'une section à l'autre.

$$\frac{dQ}{dx} \neq \frac{dU}{dx} \neq \frac{dh}{dx} \neq 0$$

⇒ **Écoulement non uniforme graduellement varié** : c'est un écoulement où la variation de la hauteur « Δh » est très faible dans une longueur d'écoulement « L ». Tel que : $\frac{\Delta h}{L} < 1$.

⇒ **Écoulement non uniforme rapidement varié** : c'est un écoulement où la variation de la hauteur « Δh » est très importante dans une longueur d'écoulement « L ». A l'approche d'une singularité ou bien en cas de ressaut hydraulique, l'écoulement peut entrer dans un régime rapidement varié.

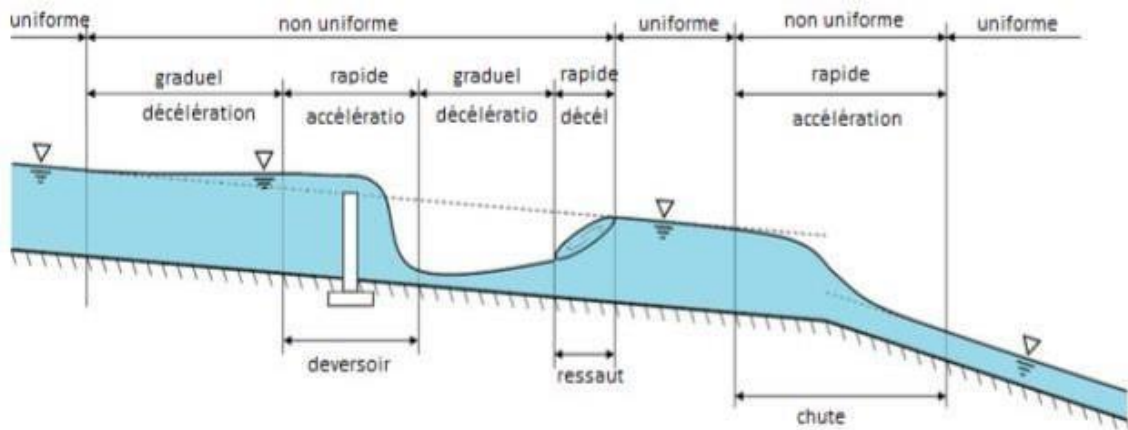


Figure IV.5 Schéma illustrant les différents types d'écoulements

Source : slideserve.com

IV.1.4. Régime d'écoulement

Il existe deux types de régimes d'écoulement : écoulement fluviale et écoulement torrentiel. La connaissance du régime d'écoulement se fait par le calcul d'un nombre adimensionnel nommé nombre de Froude, dont le carré représente le rapport de l'énergie cinétique du liquide en mouvement à l'énergie potentielle de la pesanteur. (GRAF.W.H and ALTINAKAR.M. S ;1993, Hydraulique Fluviale).

Le nombre de Froude est défini par la formule suivante :

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot D_m}}$$

En fonction de débit :

$$Fr = \sqrt{\frac{Q^2 \cdot B}{S_c^3 \cdot L_c}}$$

- V : la vitesse moyenne d'écoulement (m/s).
- D_m : la profondeur hydraulique $D_m = \frac{S}{B}$.

Tel que :

- $Fr = 1$: le régime est critique.
- $Fr < 1$: le régime est fluvial.
- $Fr > 1$: le régime est torrentiel.

La notion de régime fluvial, torrentiel ou critique s'applique évidemment au cas particulier du régime uniforme. Lorsque :

- $Y_n < Y_c$: écoulement uniforme torrentiel.
- $Y_n > Y_c$: écoulement uniforme fluvial.

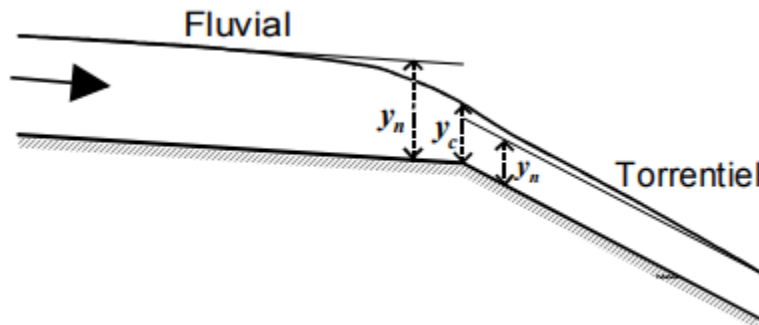


Figure IV.6 Passage du régime fluvial au régime torrentiel

Source : tice.agroparistech.fr

En mécanique des fluides, un autre nombre sans dimension est plus important, il permet la caractérisation du régime d'un fluide soit : laminaire, transition ou bien chaotique (turbulent). Ce nombre est le nombre de Reynolds. Il est défini par :

$$Re = \frac{V \cdot D}{\vartheta} = \frac{V \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

- V : vitesse d'écoulement (m/s).
- D : diamètre (m).
- ϑ : Viscosité cinématique (m^2/s).
- ρ : masse volumique (kg/m^3).
- μ : viscosité dynamique ($kg/m \cdot s$).

Lorsque :

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

La combinaison des deux nombres donne quatre régimes selon la classification suivante :

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

IV.2. Diagnostique et modélisation du cours d'eau non Aménagé

IV.2.1. Etat des oueds de la zone d'études

Nous intéressons aux deux oueds de notre bassin versant qui présentent une menace répétitive sur le centre de la ville Honaine et particulièrement sur le port au moment des crues.

- **Oued Honaine :**
 - En commençant par oued Honaine, l'origine d'oued Honaine est sur 7.27 Km par rapport son exutoire qui est la mer méditerranée (plage de Honaine).
 - Il traverse le port de Honaine et la zone urbaine de la ville.
 - Au niveau de l'amont il existe un ouvrage de protection, il s'agit d'une digue déversant pour le laminage des eaux de crues et protection du port de Honaine.
 - Des ouvrages de traverses de route de l'oued Honaine :
 - Traversée N° 01: pont avec B=18.00m et H=2.5m.
 - Traversée N° 02: Route de port tel que B=17.00m et H =2.4m.
 - Traversée N° 03: Passerelle: B=17.00m et H=1.9m.
 - Au niveau du port traverse N°04 : le pont du port B=20m et H = 2.50m.

- **Oued Menzal :**
 - La source d'oued Menzal est sur 2 km par rapport à la mer.
 - Oued Menzal qui se situe à 285 m d'oued Honaine au niveau de l'aval, et qui se jette à la mer au niveau de la plage de Honaine.
 - L'oued est parallèle à la route C.W 104.
 - Ouvrages de traverses :
 - Traversée N°1 : pont au niveau de l'amont de B=7.00 m et H=1.60 m
 - Traversée de route tel que : (B*H) = (7.80*2.00) m
 - Traversée de route busé (2*φ 2000) au niveau du port juste à côté de la mer, cette traversée est le point de contact de l'oued Menzal avec la mer.



Figure IV.7 Amont de L'oued HONAINÉ



Figure IV.8 Traversé de L'oued Honaine au niveau du port



Figure IV.9 Traversée de l'Oued Menzal à l'enbochure



Figure IV.10 Traversée busé de l'Oued Menzal

IV.2.2. Modélisation de l'écoulement

IV.2.2.1. Présentation du logiciel Hec-Ras

Hec-RAS (Hydrologic Engineering Centers Rivier Analysis System), est un logiciel de modélisation hydraulique destiné à simuler l'écoulement dans les cours d'eau et les canaux. Le programme a été élaboré dans le but de gérer les rivières, les ports et autres travaux publics relevant de leur compétence. ce système permet aux ingénieurs en hydraulique d'analyser les débits dans le lit des rivières et de déterminer les zones inondables. Il intègre de nombreux moyens de saisie de données, de composants d'analyse hydraulique, de stockage de données, d'édition de rapports sous forme de tables et de graphiques.

Les calculs des différents paramètres hydrauliques effectués par le logiciel Hec-Ras sont basés sur les équations d'hydraulique à surface libre (Saint-Venant 1D, Manning Strickler...).

IV.2.2.2. Etapes de simulation par HEC-RAS

⇒ Création de projet :

La première étape consiste à créer un nouveau projet appelé qu'on doit choisir un nom, un titre pour et un emplacement de notre fichier.

⇒ Géométrie des sections :

Cette étape permet d'identifier la géométrie des oueds étudiés, sa concerne les sections en travers (largeur, profondeur...), et les données d'ouvrages d'art ou hydraulique existants (pont, déversoir ...).

Il faut tout d'abord créer un fichier des données géométriques qu'on doit lui donner un nom et le sauvegarder, puis à partir du levé topographique tracé par le logiciel Civil 3D on importe le tracé du cours d'eau vers Hec-Ras en format GIS, où on a défini les différents axes des oueds ainsi leurs rives gauches et droites. Ensuite nous avons procédé à une tabulation automatique, dont nous avons fixé les équidistances entre deux sections transversales à 50 m pour oued Menzel et 25 m pour oued Honaine, et la largeur d'une section transversale à 20m.

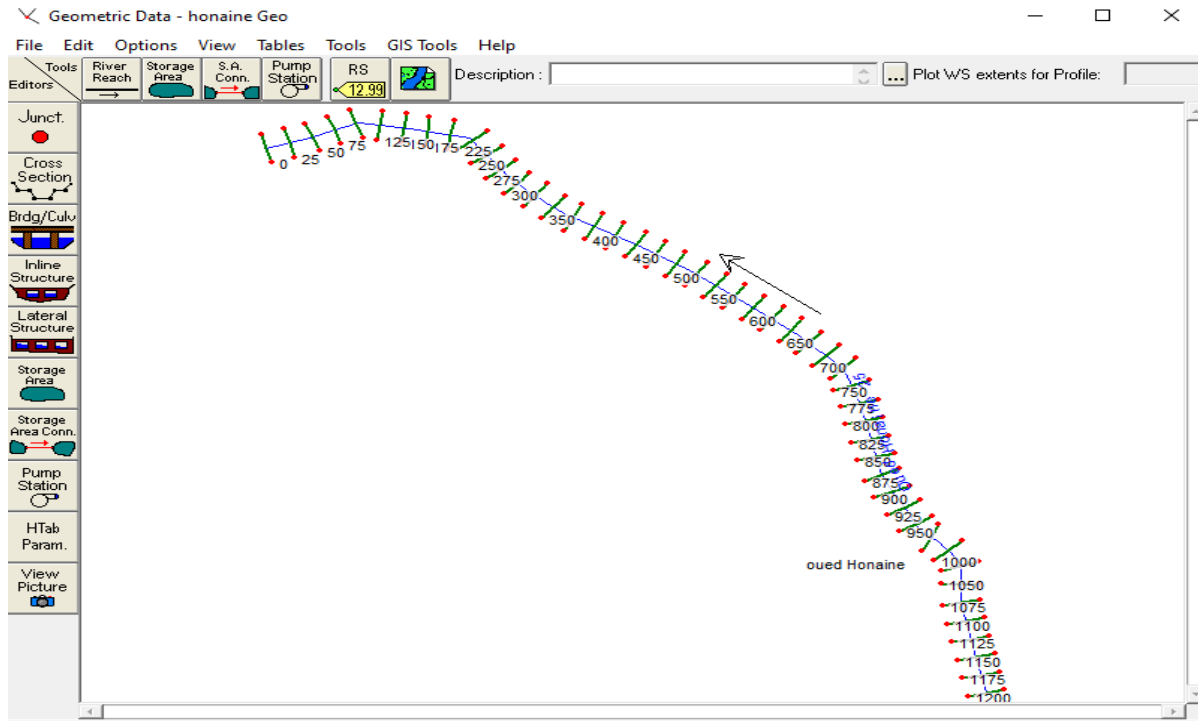


Figure IV.11 Les profils en travers d'oued Honaine
Source : logiciel Hec-Ras

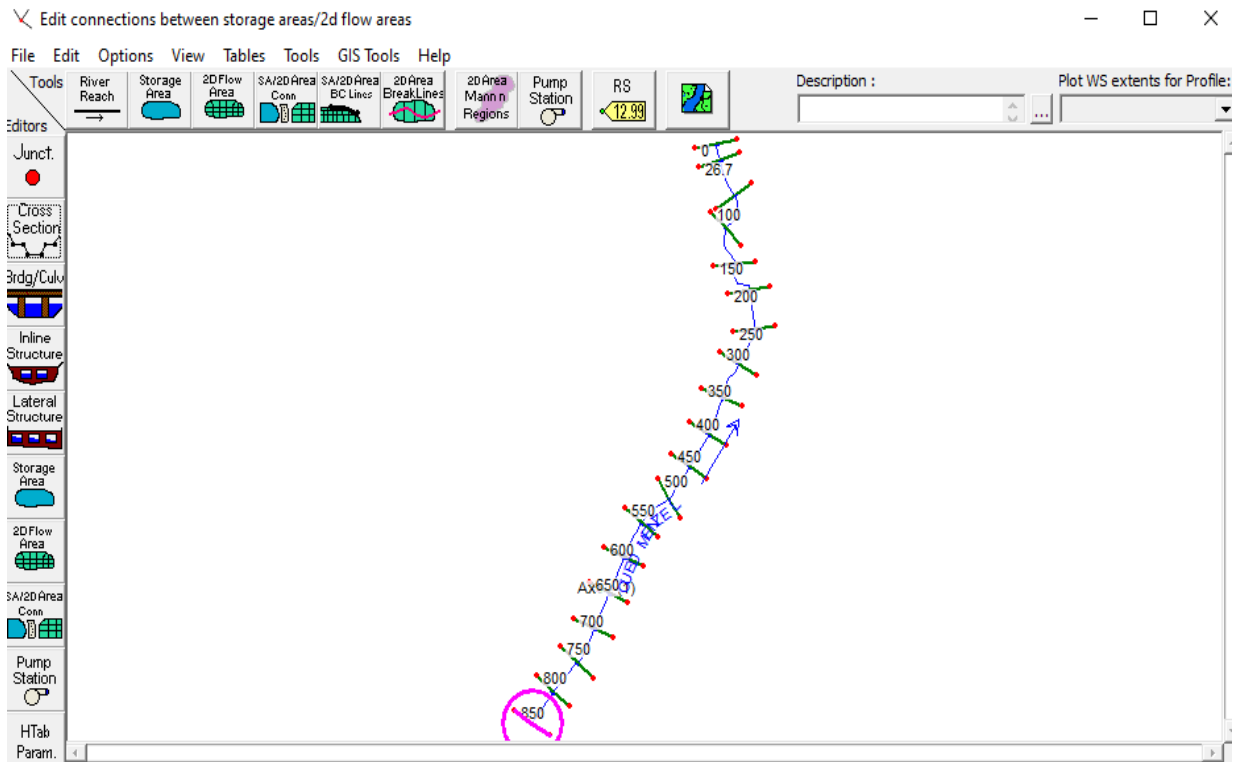


Figure IV.12 Les profils en travers d'oued Menzel

Source : logiciel Hec-Ras

⇒ Débit et condition limite :

L'étape suivante de la modélisation hydraulique est d'entrer les données de débit obtenus par la méthode de gradex pour une période de retour de 100 ans afin de calculer les profils d'écoulement, ensuite il faut définir les conditions limites de l'écoulement qui sont nécessaires pour calculer la hauteur d'eau initiale aux extrémités de chaque tronçon.

Vue l'absence des informations (courbe débit-hauteur), nous devons choisir la hauteur critique comme condition aux limites d'où le programme calcule lui-même la hauteur critique et l'utilise comme condition aux limites.

⇒ Simulation hydraulique :

La simulation est la dernière étape de la modélisation avec Hec-Ras après avoir choisi le régime d'écoulement, dans notre cas on suppose un régime mixte et on lance la simulation.

⇒ Visualisation des résultats :

La suite de la simulation est de consulter les résultats sous format graphique et tabulaire et visualiser les profils inondables. Le plan des cours d'eau en trois dimensions et leurs profils en longs du modèle géométrique sont présentés sur les figures ci-dessous :

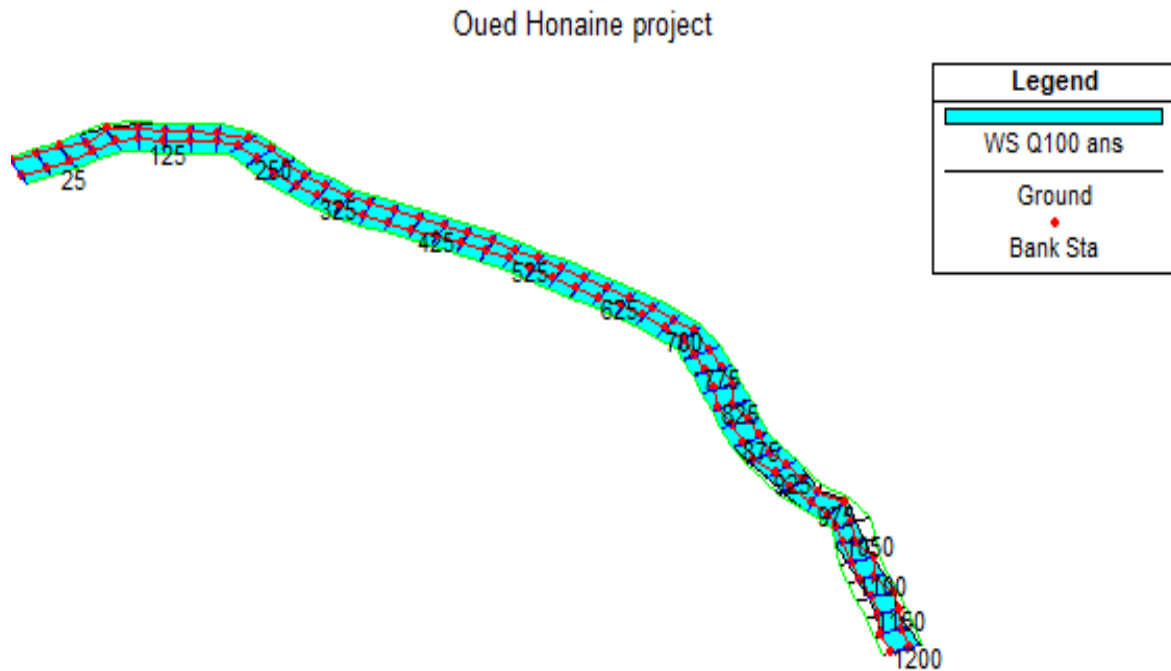


Figure IV.13 Vue en Plan en 3D d'Oued Honaine après la simulation

Source : logiciel Hec-Ras

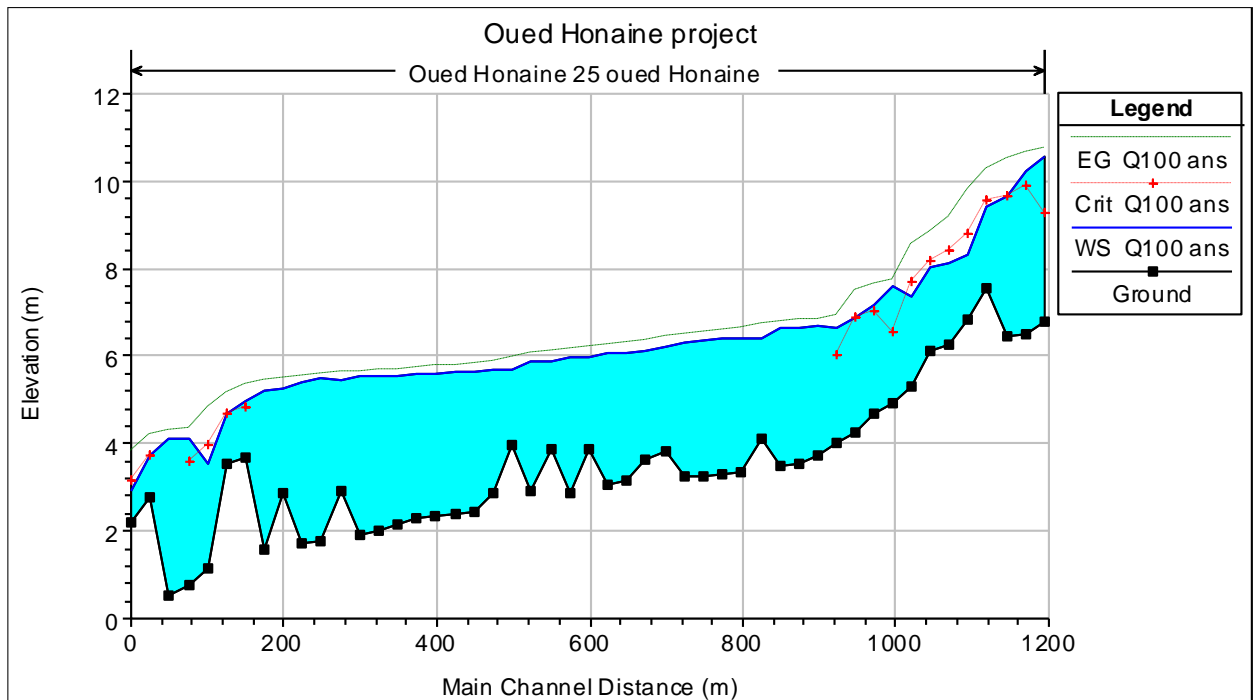


Figure IV.14 Profil en long d'Oued Honaine après la simulation.

Source : logiciel Hec-Ras

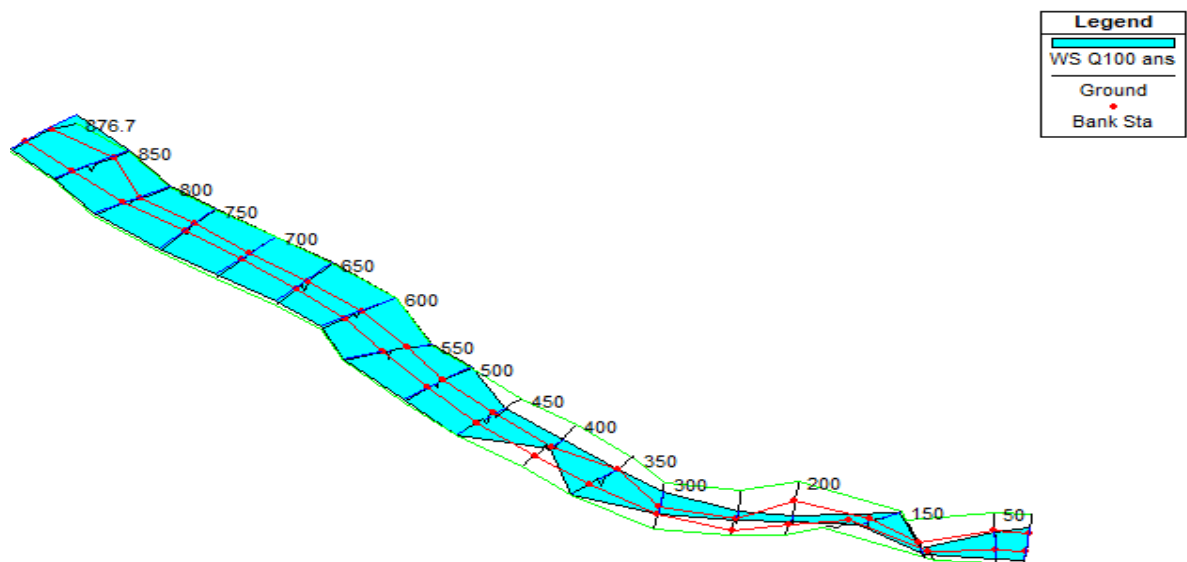


Figure IV.15 Vue en Plan en 3D d'Oued Menzel après la simulation.

Source : logiciel Hec-Ras

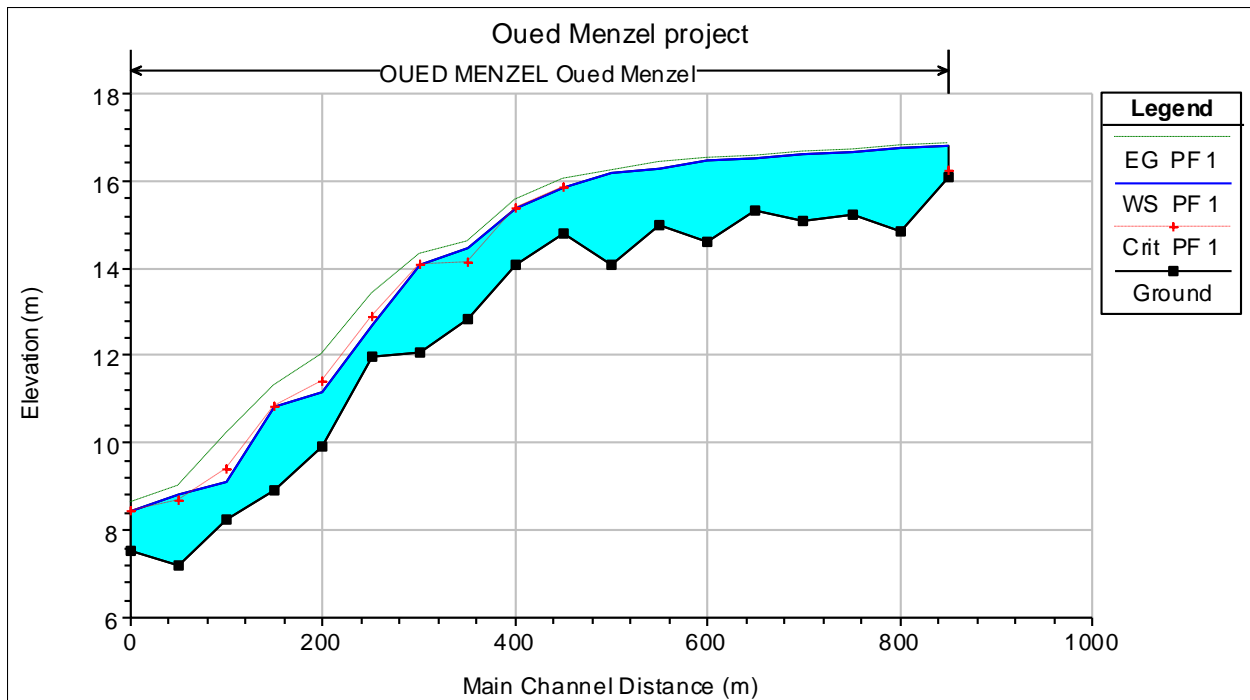


Figure IV.16 Profil en long d'Oued Menzel après la simulation.
Source : logiciel Hec-Ras

Les figures suivantes représentent une section en travers de chaque oued et les autres sections sont présentés en annexe.

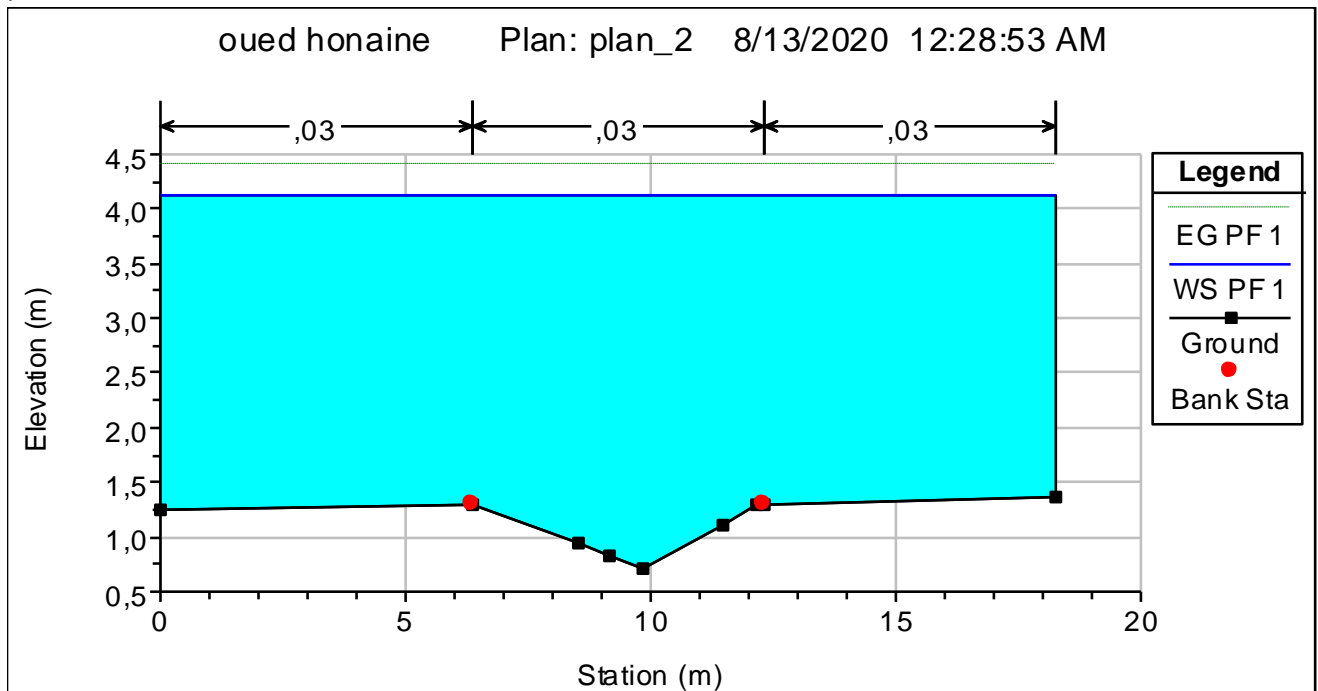


Figure IV.17 Exemple d'une section en travers B16 d'oued Honaine
Source : logiciel Hec-Ras

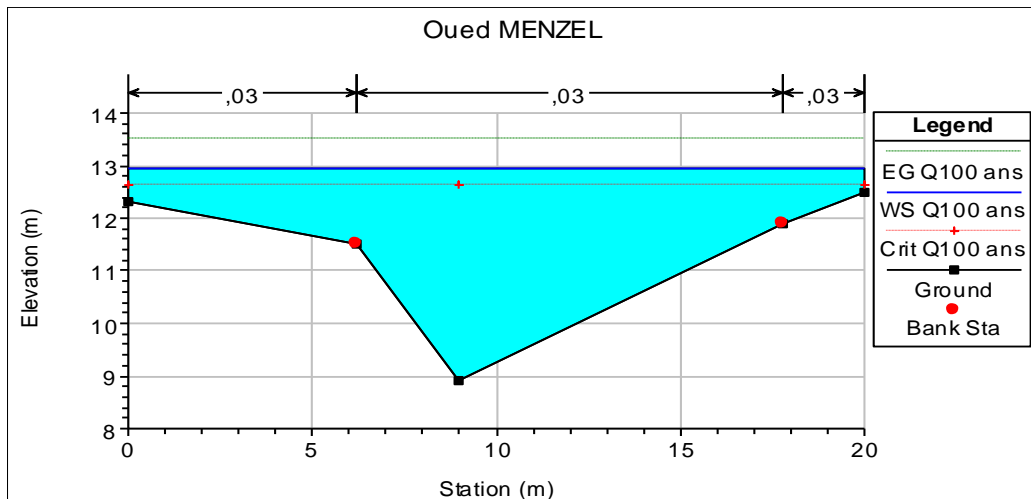


Figure IV.18 Exemple d'une section en travers A7 d'oued Menzel

❖ **Interprétation**

- Le niveau d'eau au niveau d'oued Honaine a dépassé le niveau des rives de l'oued dans presque toutes les sections en travers c'est-à-dire que l'oued est inondé sur tous leurs longueurs. Tel que La hauteur d'eau varie entre 3.16 et 10.53 m. Concernant oued Menzel on a remarqué que La morphologie des sections en travers n'est pas uniforme et en remarque que le niveau d'eau qui varie entre 16.83 et 8.41m et a dépassé le niveau des rives de l'oued dans la majorité des sections.
- Une variation du régime le long des deux oueds (Froude varie entre 0.25 et 1.78). Ce qui a provoqué la formation d'un ressaut hydraulique en plusieurs section.
- Une variation de vitesse d'écoulement entre 1.51 et 5.22 m/s au niveau d'oued Honaine, et entre 0.63 et 5.31m/s le long d'oued Menzel.

IV.3. Les zones inondables

La traversée d'oued Honaine et oued Menzel dans le centre-ville constitue une menaces d'inondation majeure. Et afin de déterminer la zone d'inondation dans le cas de la crue centennale, en utilisant le logiciel de RAS-Mapper intégrer dans HEC-RAS version 5.0.7 qui nous aide à déterminer la surface d'eau pour produire la zone inondable.



Figure IV.19 Les zones inondables de centre de Honaine

Conclusion

La simulation de l'état naturel du cours d'eau par le logiciel HEC-RAS montre que le niveau d'eau dépasse le niveau des rives des oueds dans la plupart des sections. Aussi elle illustre l'importance de mettre en œuvre un aménagement des oueds pour protéger les personnes, les biens, les équipements public et privé et l'environnement pour le centre de Honaine.

Introduction

L'objectif de ce chapitre est de proposer et d'étudier les différentes variantes d'aménagement d'oued Honaine et oued Menzal qui présentent une menace d'inondation répétitive sur la zone d'étude au moment des crues. La description des variantes est basée sur les résultats du chapitre précédent.

V.1. Principe d'aménagement

Il existe nombreuses techniques d'aménagement d'un cours d'eau. C'est pour cette raison il est nécessaire de bien réfléchir aux avantages et aux inconvénients hydraulique, économique et paysage naturel pour mieux choisir un système d'aménagement optimum afin de réduire les risques d'inondation, l'érosion des berges et qui assure une bonne harmonisation avec l'environnement.

Les différents types d'aménagement proposés doivent être réalisables et adaptables aux conditions du terrain c'est-à-dire des ouvrages qui tiennent compte le comportement morphologique des cours d'eau, l'érosion des berges et la protection contre les inondations, tout cela a le potentiel d'atteindre l'objectif de protéger la vie humaine et les biens publics et privés.

La technique convenable de protection des berges doit être choisie dans l'ordre suivant :

1. Plantations :
 - Végétaux entiers,
 - Parties de végétal (boutures...),
 - Semis de grains (engrais, colles...).
2. Compléments aux techniques végétales :
 - Fascinage en pied de berge.
 - Tapis de végétaux ou garnissage,
 - Utilisation de géotextiles
3. Plantation combinées à des ouvrages artificiels
 - Technique semi artificiel :
 - Enrochements libres
 - Aménagement rustiques divers
 - Technique artificiel :
 - Béton
 - Palplanches
 - Maçonnerie
 - Enrochements liaisonnée

Le choix du mode de protection des berges doit tenir compte certain critère tel que :

- La force du courant en jeu, c'est-à-dire par la vitesse du cours d'eau dans le tronçon à protéger.
 - Les matériaux disponibles localement.
 - L'aspect paysager du tronçon, c'est-à-dire prioriser la protection par la plantations, suivie d'une combinaison de protection de pied (artificielle) et de talus naturelle et enfin par revêtement totalement artificiel.
- ❖ Dans notre cas, nous choisissons la plantation combinée à des ouvrages artificiels, car la plantation végétale nécessite une main-d'œuvre compétente et qualifiée.

V.1.1. Les différentes étapes d'aménagement combinées à des ouvrages artificiels

La modification de l'oued en pratique elle s'agit de simplifier le tracé des cours d'eau pour améliorer l'écoulement et prévenir les inondations, cette modification comprend :

V.1.1.1. Curage

C'est un processus pour exporter tout ce qui se trouve dans le lit d'un cours d'eau (les sédiments, matière organique, branchages...) Il s'agit de nettoyer le cours d'eau pour diminuer la rugosité et accroître la débitance.

V.1.1.2. Le recalibrage

Ce processus consiste à modifier totalement le lit et les berges du cours d'eau (élargissement et approfondissement du cours d'eau) afin d'améliorer la capacité hydraulique. Cela entraîne un risque accru d'inondation en aval qui nécessite une intervention lourde modifiant profondément le profil en travers et le plus souvent le profil en long du cours d'eau. (D'après Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse 2019)

Ce type d'opération (reprofilage et recalibrage) nécessite l'élimination de la végétation rivulaire et des embâcles du lit.

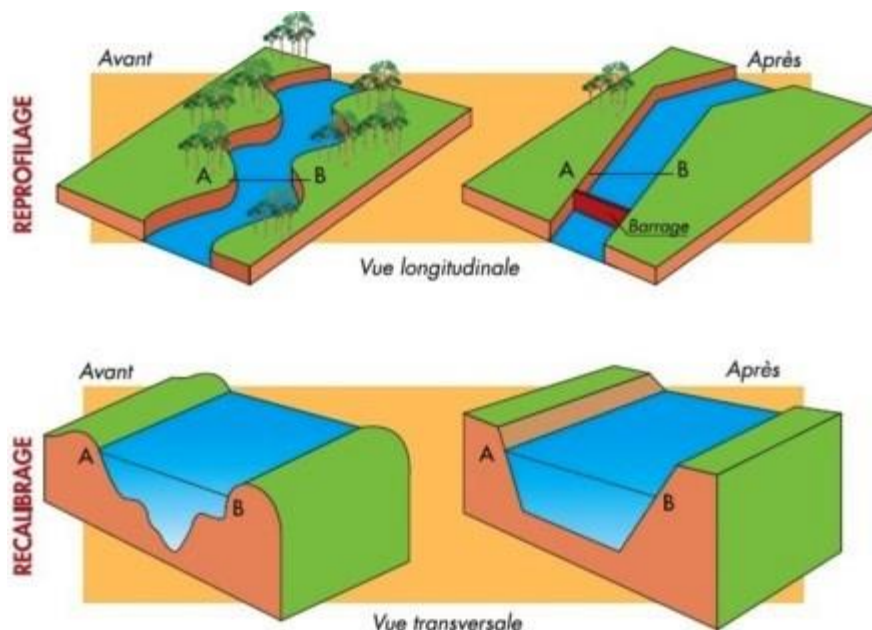


Figure V.1 Le reprofilage et le recalibrage d'un cours d'eau

Source : randonneepyrenees.com

V.1.1.3. Endiguements / Enrochements / Talutage des berges

Différents types d'ouvrages sont mis en place afin de stabiliser et protéger les berges, généralement sont des blocs de béton ou de béton armé, des roches qui sont souvent des blocs de granite bleus ou gris ou bien un talutage mixte (maçonnerie ou enrochements liaisonnés).

V.1.1.3.1. Les différents types de revêtement artificiel

⇒ Construction d'un canal revêtu de béton

La coulée de revêtements de béton constitue généralement une solution préférable à celle des éléments préfabriqués ou des briques cuites, en raison de leur plus longue durée de vie. En outre, leur réalisation demande moins de travail.

⇒ Construction d'un canal revêtu de briques ou de parpaings

Il est possible de réaliser des revêtements de briques ou de parpaings dans de petits canaux de section rectangulaire ou trapézoïdale. Le fond est soit bétonné, soit revêtu de briques. Pour une élimination plus complète des infiltrations, un voile d'étanchéité en matière plastique peut être posé derrière les parois et sous le fond. Les problèmes majeurs posés par l'utilisation de briques tiennent au coût relativement élevé et à la lenteur des travaux effectués, ainsi qu'à la rigidité du revêtement qui risque de se fissurer.

⇒ Un canal en gabion

C'est une structure en grillage métallique double ou triple torsion dont le remplissage est effectué avec des matériaux pierreux. Intérêts majeurs des gabions est l'adaptation aux déformations des terrains un rôle drainant intéressant dans la stabilisation des terrains.

V.1.1.4. Réalisation des canaux

C'est la mise en place de l'ouvrage, il s'agit de régénérer le lit de l'oued avec des différents matériaux de différentes structures.

V.1.2. Conception des canaux

La conception d'un canal repose sur l'application des formules mettant en rapport la capacité de débit, la pente ou perte de charge effective et la rugosité de ses parois. La relation de « Manning Strickler » est la formule la plus couramment employée:

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

Où les différents paramètres sont :

- Q : débit de dimensionnement (m³/s).
- n : Rugosité du canal.
- R_H : Rayon hydraulique en (m). avec: $R_H = \frac{Sm}{Pm}$
- S : Section du canal en (m²).
- I : Pente du canal (pente du fond) en (m/m).

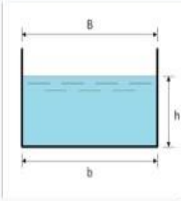
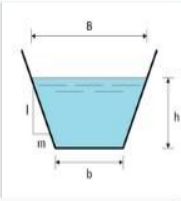
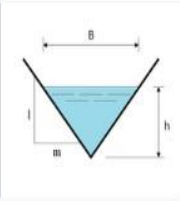
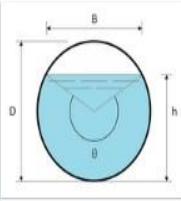
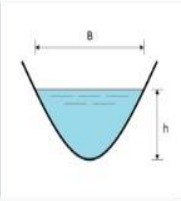
					
Largeur, B	b	$b + 2 \times mh$	$2 \times mh$	$(\sin \frac{\theta}{2}) \cdot D$ ou $2\sqrt{h \cdot (D - h)}$	$\frac{3}{2} \frac{S}{h}$
Surface, S	$b \times h$	$(b + mh) \cdot h$	$m \times h^2$	$\frac{1}{8}(\theta - \sin \theta) \cdot D^2$	$\frac{2}{3} Bh$
Périmètre mouillé, P	$b + 2h$	$b + 2 \cdot h \cdot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

Figure V.2 Les caractéristiques géométriques pour Les différentes formes de canaux

Source: (W.H. Graf.2000)

V.1.3. Choix des paramètres de dimensionnement

V.1.3.1. Choix de la pente d'un canal (i)

Le choix de la pente des parois latérales est très important avant de procéder au calcul hydraulique. Ce choix dépend essentiellement du type de sol dans lequel les parois sont creusées et en fonction du type de revêtement employé. La pente longitudinale de fond des canaux dépend des Caractéristiques topographies.

Nous avons choisi une pente de 0.5% pour oued Menzel. Et pour oued Honaine une pente qui varie entre 0.32% et 0.93%, afin d'éviter un écoulement trop rapide de l'eau dans le canal et l'érosion de leurs parois.

V.1.3.2. Le coefficient de rugosité d'un canal (n)

Le coefficient de rugosité exprime la résistance à l'écoulement créée par les parois latérales et le fond d'un canal. Plus n est grand, plus la rugosité des parois est importante et plus l'écoulement de l'eau dans le canal est difficile. La rugosité du canal dépendant de la nature du revêtement, les valeurs de la rugosité de certain revêtement à titre d'exemple est donnée dans le tableau V.1 suivant :

Tableau V.1 Valeurs de coefficient de rugosité

Caractéristiques du lit ou du revêtement	Valeur de n
• Canal avec revêtement en béton relativement brut	0.014
• Canal en terre	0.033
• Canal en maçonnerie	0.025
• Canal en Gabions remplis de matériaux de carrière	0.027
• Canal en metlas Reno remplis de matériaux de carrière	0.025

Source : Table de rugosité de Manning

V.1.3.3. Revanche des canaux

Pour des raisons de sécurité la hauteur des berges du canal doit être supérieure à la ligne d'eau calculée pour assurer une certaine capacité de transport afin d'éviter les débordements, de tenir compte de l'accumulation de dépôt solide, de croissance de la végétation, des vagues provoques par le vent ...etc. Cette hauteur supplémentaire des parois par rapport au niveau normal de l'eau est appelée la revanche. Pour le dimensionnement du canal, on opte une revanche de 0.4 à 1.20 m.

V.1.3.4. Vitesse d'érosion

La vitesse d'écoulement dans un canal s'elle attente la vitesse limite maximale, elle provoque l'érosion et bien sûr une rupture du fond et des berges des canaux. Les valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolidés sont données dans le tableau ci-dessous (Deggoute gerard,2012).

Tableau V.2 Valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolidés

Lit	Vitesse d'érosion (m/s)
Pavage de pierre à une couche	2.50-4.00
Gabions	4.00-6.00
Revêtement en béton	6.00-10.00 <10.00
Béton amélioré	

Source : Deggoute gerard,2012

V.2. Etude des variantes

Dans notre cas les deux oueds sont séparées, tel qu'oued Honaine est situé au centre de la zone urbaine de la ville, aussi chaque oued a une géométrie différent tel qu'oued Honaine et plus large par rapport à oued Menzel. C'est pour cette raison nous proposons différent section du profil pour réaliser l'aménagement de chaque oued. Les variantes proposées pour l'aménagement d'oued Menzel et oued Honaine sont :

- ❖ **Aménagement en Béton armé (Canal trapézoïdale).**
- ❖ **Aménagement Mixte (canal en gabion et en béton armé).**

V.2.1. Aménagement en Béton armé (Canal trapézoïdale)

- ⇒ L'aménagement d'oued Honaine consiste en une projection d'un canal de forme Trapézoïdal à ciel ouvert sur une longueur de 1200.00 ml car cette forme représente le profil le plus rentable hydrauliquement, pour sa grande capacité de transit des eaux tel que le champ d'écoulement est maximum, pour cette raison elle présente le profil plus stable. Un revêtement en béton armé, ce type de revêtement a été préféré de point de vue technique et économique car il assure une bonne étanchéité, une résistance mécanique acceptable tel qu'il peut résister les déformations sans dommage en jouant sur l'épaisseur de revêtement, aussi il est facilement établi et être réalisés.
- ⇒ Par le même principe on a proposée pour oued Menzel consiste à projeter un canal trapézoïdal en béton armé. Avec un fruit de talus de $m = 1$ pour la facilité technique de réalisation d'un angle de 45° sur le terrain.

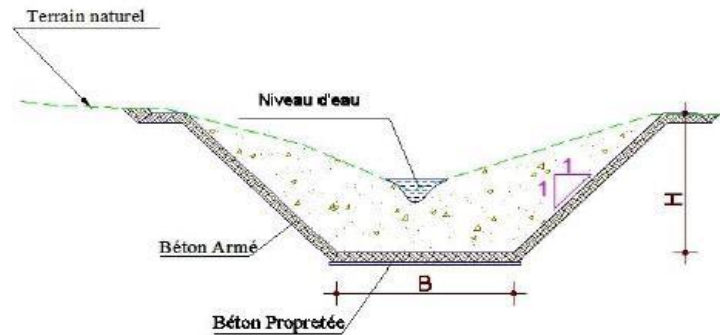


Figure V.3 Schéma d'un canal trapézoïdal en béton armé

V.2.1.1. Dimensionnement

Les dimensions du canal en béton armés sont résumées dans les tableau V.3 et V4 :

Tableau V.3 Dimensions du canal en béton armé d'oued Honaine

Oued Honaine	Tronçon	Section départ	Section arrivé	Longueur (m)	Pente projet (%)	largeur du fond b (m)	Hauteur du canal h (m)	Fruit de talus m
	1	B1	B13	300	0,93	8	2.1	1
	2	B13	B40	675	0,32	10	2.5	1
	3	B40	B44	100	0,39	10	2.5	1
	4	B44	B49	125	0,68	10	2.1	1

Tableau V.4 Dimensions du canal trapézoïdale en béton armé d'oued Menzel

Oued Menzel	Tronçon	Section départ	Section arrivé	Longueur (m)	Pente projet (%)	largeur du fond b(m)	Hauteur du canal h (m)	Fruit de talus m
	1	A1	A8	350	0,5	4	1.8	1
	2	A8	A13	250	0,5	5	1.6	1
	3	A13	A19	276.7	0,5	6	1.6	1

V.2.1.2. Les paramètres d'écoulement

Les paramètres hydrauliques d'écoulement sont déterminés à l'aide de logiciel Hec-Ras. Les tableaux V.5 et V.6 regroupent ces paramètres de différentes sections.

Les résultats de la simulation avec le logiciel Hec-Ras sont présentés dans l'Annexe 2

Tableau V.5 Paramètres d'écoulement de la variante canal en béton armé d'oued Honaine

Tronçon	Débit Q (m3/s)	Vitesse (m/s)	Froude	Tirant d'eau (m)	Section Mouillée (m2)	Périmètre mouillé (m)	Rayon hydraulique (m)	Remarque
1	120.00	5.71	1.44	2.39	21	14.8	1.41	régime torrentiel
2	120.00	5.17	1.28	1.94	23.16	15.48	1.49	régime torrentiel
3	120.00	5.54	1.41	1.83	21.66	15.18	1.42	régime torrentiel
4	120.00	6.68	1.82	1.55	17.94	14.39	1.24	régime torrentiel

Tableau V.6 Paramètres d'écoulement de la variante canal en béton armé d'oued Menzel

Tronçon	Débit Q (m3/s)	Vitesse (m/s)	Froude	Tirant d'eau (m)	Section Mouillée (m2)	Périmètre mouillé (m)	Rayon hydraulique (m)	Remarque
1	48.00	6	1.66	1.51	8	8.61	0.93	régime torrentiel
2	48.00	5.07	1.48	1.47	9.47	9.14	1.03	régime torrentiel
3	48.00	4.98	1.51	1.31	9.72	9.76	0.99	régime torrentiel

Source : logiciel Hec-Ras

Les figures ci-dessous représentent les sections en travers des profils, tel que les parementes géométrique du canal sont :

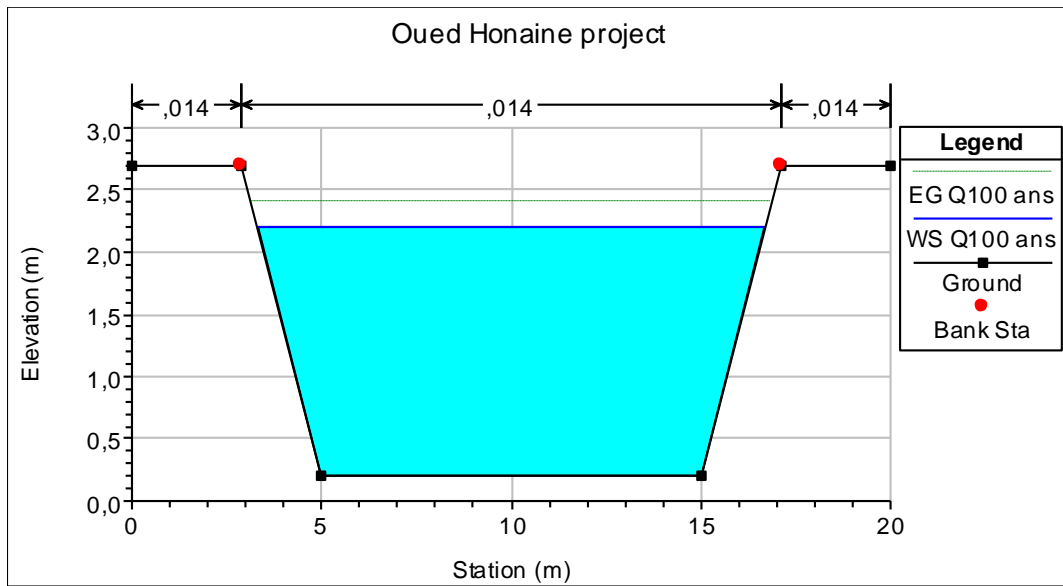


Figure V.4 Section du profil B32 (canal trapézoïdale en béton armé)

Source : Hec Ras

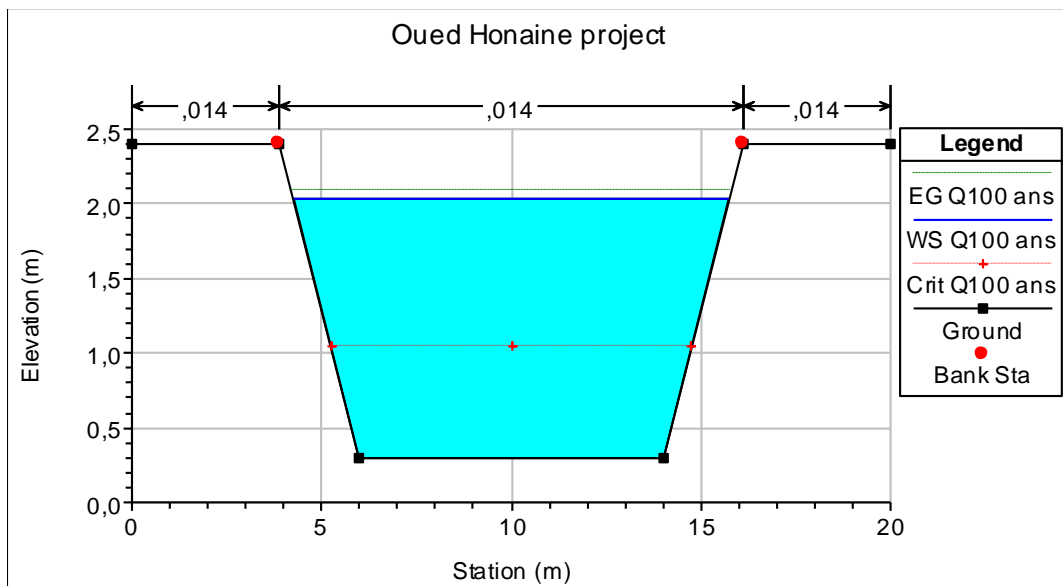


Figure V.5 Section du profil B9 (canal trapézoïdale en béton armé)

Source : Hec Ras

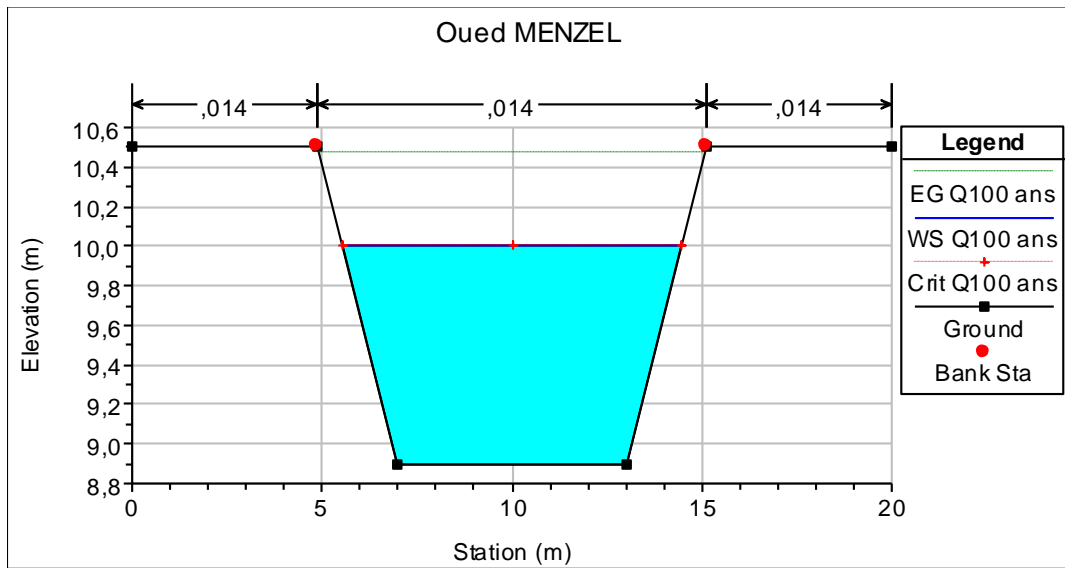


Figure V.6 Section du profil A14 (canal trapézoïdale en béton armé)

Source : Hec Ras

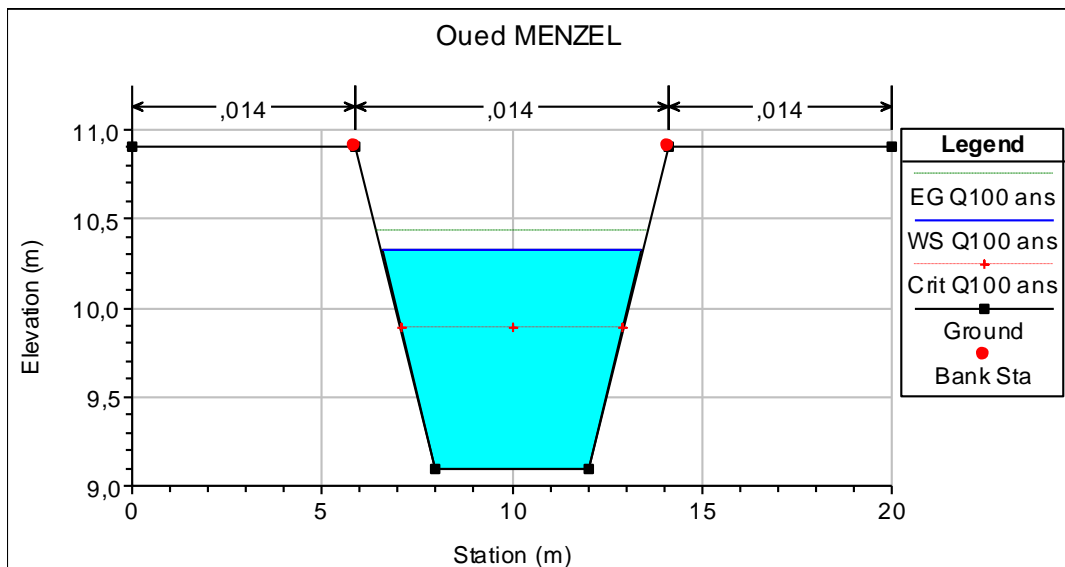


Figure V.7 Section du profil A3 (canal trapézoïdale en béton armé)

Source : Hec Ras

V.2.1.3. Estimation financière

L'estimation du cout d'un canal trapézoïdal en béton arme est résumé dans le tableau V.7 :

Tableau V.7 Devis de la variante (canal en béton armé).

DESIGNATION DES TRAVAUX	Unité	Quantité (m ³)	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
1-TERRASSEMENTS				
DEBLAIS	M3	15709	250	3,927,250
REMBLAIS	M3	5412	450	2,435,400
2-CONSTRUCTION EN BETON				
Béton propreté	M3	2487.5	8000	19,900,000
Béton armé	M3	3731.25	45000	167,906,250
			TOTAL	194,168,900

V.2.2. Aménagement mixte (canal en gabion et en béton armé)

L'aménagement consiste en une projection des seuils en Gabion sur une longueur de 300.00 ml pour oued Honaine et d'un canal de forme trapézoïdale en béton armé sur une longueur de 900.00ml.

Pour oued Menzel l'aménagement est décomposée en deux parties : un canal gabion au niveau de l'amont d'oued pour la protection d'ouvrage sur une linière de 350.00 ml (les tronçons 01 et 02), et un canal trapézoïdal en béton armé pour le reste des tronçons qui traverse la ville sur une linière de 526.70ml.

Les matelas en gabions se présentent sous forme de dimensions variées, dont les plus courant sont (2 × 1 × 1) m et (2 × 1 × 0.5) m. Les gabions sont placés sur les berges qui sont préalablement recouverte d'un filtre géotextile qui empêche tout phénomène d'entraînement des matériaux fins de berge entre sacs, cette technique permet d'opposer une résistance aux phénomènes d'affouillements et aux sollicitations hydrauliques de surface d'un faible cout de mise en œuvre.

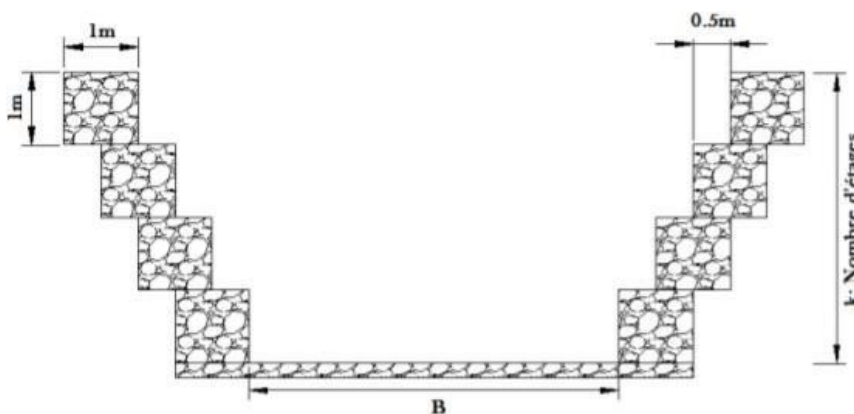


Figure V.8 Coupe en travers d'un canal en gabion

Tableau V.8 Caractéristiques géométriques de la section gabionnée

Caractéristique	Section (m ²)	Périmètre (m)	Rayon hydraulique (m)
Relation	$1/2 k (k-1) + bk$	$b + 3k - 1$	$\frac{0.5k (k - 1) + bk}{3k - 1}$

Avec:

- k : nombre d'étages.
- b : base canal.

V.2.2.1. Dimensionnement

Les dimensions des sections d'oued Honaine en canal mixte sont résumées dans les tableaux ci-dessous:

Tableau V.9 Dimensions du canal mixte d'oued Honaine

Oued Honaine	Tronçon	Section départ	Section arrivé	Longueur (m)	Pente projet (%)	largeur du fond b (m)	Hauteur du canal h (m)	Fruit de talus m	Type de section
	1	B1	B13	300	0,93	8	3	-	Gabion
	2	B13	B40	675	0,32	10	2.5	1	Trapéze béton
	3	B40	B44	100	0,39	10	2.5	1	Trapéze béton
	4	B44	B49	125	0,68	10	2.1	1	Trapéze béton

Tableau V.10 Dimension de la variante canal mixte d'oued Menzel

Oued Menzel	Tronçon	Section départ	Section arrivé	Longueur (m)	Pente projet (%)	largeur du fond b(m)	Hauteur du canal h (m)	Fruit de talus m	Type de section
	1	A1	A8	350	0.5	4	2	-	Gabion
	2	A8	A13	250	0.5	5	2	1	Trapéze béton
	3	A13	A19	276.7	0.5	6	2	1	Trapéze béton

V.2.2.2. Les paramètres d'écoulement

Les paramètres hydrauliques d'écoulement sont regroupés dans le tableau V.11 et V.12 :

Tableau V.11 Paramètres d'écoulement de la variante canal mixte d'oued Honaine.

Tronçon	Débit Q (m ³ /s)	Vitesse (m/s)	Froude	Titrant d'eau (m)	Section Mouillée (m ²)	Périmètre mouillé (m)	Rayon hydraulique (m)	Remarque
1	120.00	4.8	1.15	1.87	25	12.2	2.04	régime torrentiel
2	120.00	5.17	1.28	1.94	23.16	15.48	1.49	régime torrentiel
3	120.00	5.54	1.41	1.83	21.66	15.18	1.42	régime torrentiel
4	120.00	6.68	1.82	1.55	17.94	14.39	1.24	régime torrentiel

Tableau V.12 Paramètres d'écoulement de la variante canal mixte d'oued Menzel.

Tronçon	Débit Q (m3/s)	Vitesse (m/s)	Froude	Tirant d'eau (m)	Section Mouillée (m2)	Périmètre mouillé (m)	Rayon hydraulique (m)	Remarque
1	48.00	4.5	1.39	1.48	10.64	9.66	1.10	régime torrentiel
2	48.00	5.07	1.48	1.47	9.47	9.14	1.03	régime torrentiel
3	48.00	4.5	1.39	1.48	10.64	9.66	1.10	régime torrentiel

Source : logiciel Hec-Ras

Les figures ci-dessous représentent les sections en travers des profils

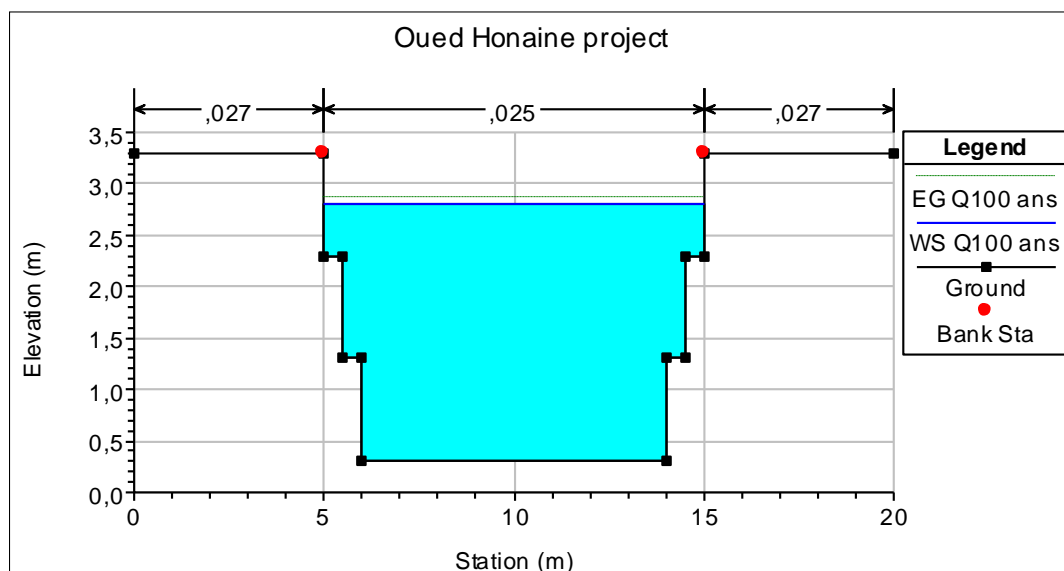


Figure V.9 Section du profil B3 (canal en Gabion oued Honaine)

Source : Hec Ras

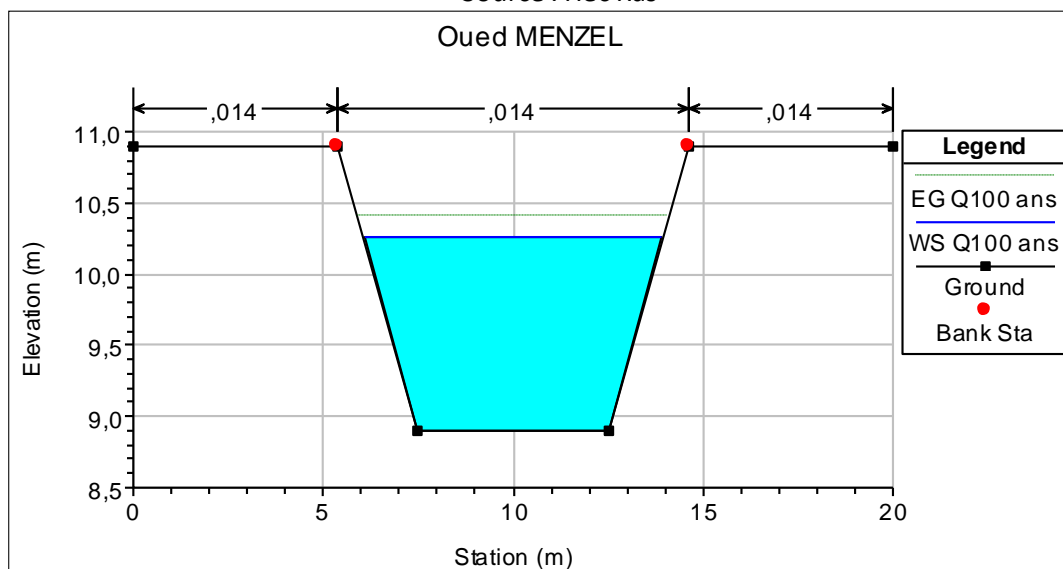


Figure V.10 Section du profil A10

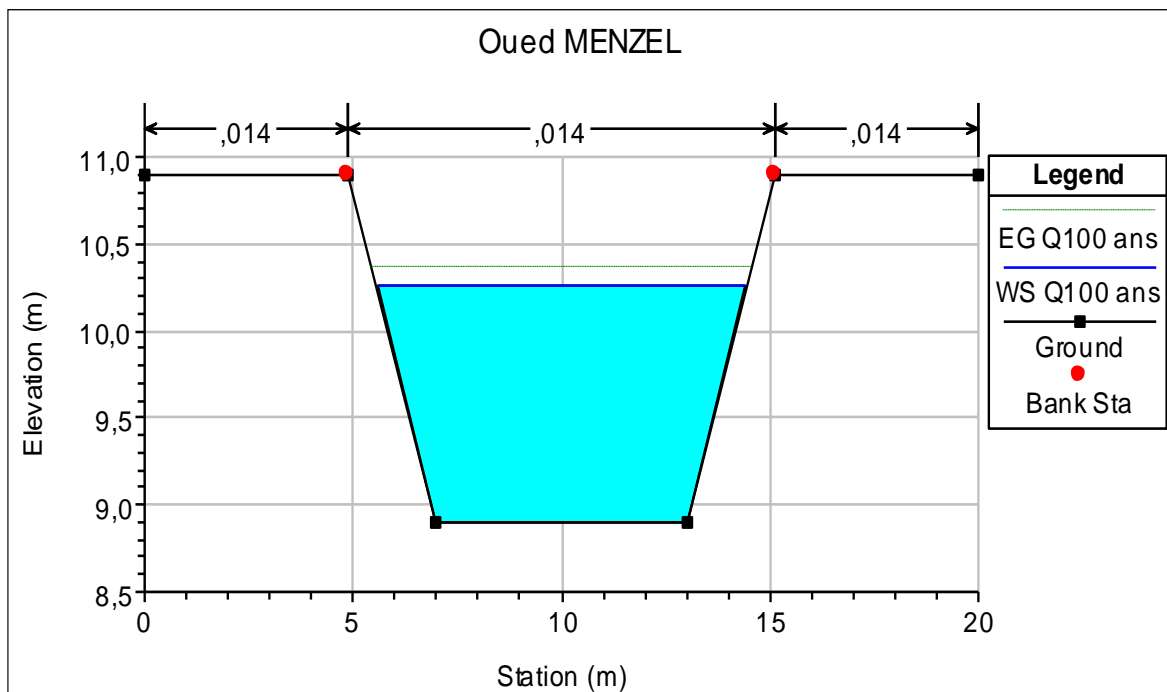


Figure V.11 Section du profil A17

Source : Hec Ras

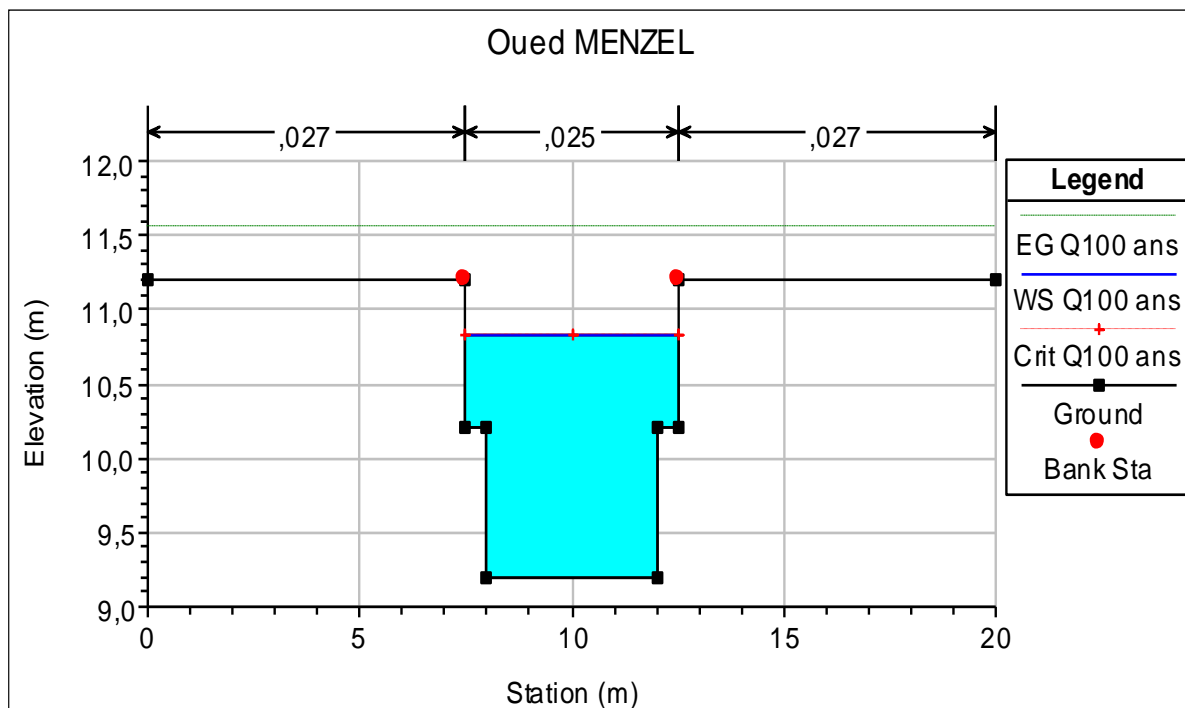


Figure V.12 Section du profil A5 (canal en Gabion oued Menzel)

Source : Hec Ras

➤ Ouvrages d'art (pont)

La simulation par le logiciel Hec-Ras montre que les ouvrages d'art existant permettent le passage du débit centennal, donc on ne va pas les redimensionner.

V.2.2.3. Estimation financière

L'estimation du coût de la variante est donnée dans le tableau suivant :

Tableau V.13 Devis de la variante (canal mixte).

DESIGNATION DES TRAVAUX	Unité	Quantité (m ³)	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
1-TERRASSEMENTS				
DEBLAIS	M3	16859	250	4,214,750
REMBLAIS	M3	6537	450	2,941,650
2-CONSTRUCTION EN BETON				
Béton propreté	M3	1841.2	8000	14,732,000
Béton armé	M3	2762.25	45000	124,301,250
Gabion	M3	4340	6000	26,040,000
			TOTAL	172,227,250

V.3. Choix de la variante d'aménagement

V.3.1. Critères de choisir la variante

Le choix d'une variante se fera en évaluant les critères suivants :

- Critère hydraulique : Correspond à la possibilité d'améliorer la capacité hydraulique que les mesures peuvent atteindre.
- Les difficultés de réalisation: correspondant au degré de difficulté de la réalisation technique et de sécurité de fonctionnement.
- La disponibilité en matériaux (zone d'emprunt) : correspond à l'existence des matériaux de construction en qualité et quantité suffisante, à la distance d'approvisionnement de sorte qu'elle doit être aussi réduite que possible pour minimiser les coûts de transport et optimiser le délai de réalisation.
- Enjeux environnementaux : ce critère prend en compte l'utilisation des terres dans les zones voisines (zones urbaines, agricoles,) et des déficits ou richesses environnementaux actuels.
- La facilité d'entretien et de la modification
- Durabilité : correspond à la durée de vie de l'aménagement.
- Coût de l'ouvrage : correspond à l'appréciation du coût de construction.

V.3.2. Description de l'aménagement choisi

Les deux variantes s'adaptent au notre oued hydrauliquement et ils semblent être capable d'évacuer le débit des crues sans débordement. Mais le canal mixte est le plus adéquat techniquement et économiquement pour répondre aux exigences du projet d'un canal en béton armé qu'est très couteux. Par conséquent, nous choisissons la deuxième variante (canal mixte) pour les raisons suivantes :

- La simplicité de la réalisation.
- Cout moins élevé.
- Une bonne stabilité.
- Le gabion est une solution solide et durable
- Une bonne perméabilité qui permet un drainage naturel suffisant et qui forme une belle harmonie avec la nature
- Le gabion diminue la vitesse d'eau et dispersé l'énergie.
- Le béton plus durable par rapport à l'autre et facile a les entretiens.

Conclusion

L'objectif de ce chapitre est d'étudier et de choisir la conception la plus appropriée afin de protéger le centre de Honaine contre les inondations. Nous avons opté que L'aménagement consiste en une projection d'un canal mixte. En projetant un canal en béton armé dans la zone urbaine de forme Trapézoïdal à ciel ouvert sur une longueur de 526.50 ml « oued MENZAL », et sur une longueur 900.00 ml « OUED HONAINE », et un canal en gabion pour la protection d'ouvrage au niveau d'amont des oueds.

CHAPITRE VI
Organisation de chantier

Introduction

Un chantier est défini par le lieu où l'on réalise la construction projetée dans un délai donné, donc il est limité dans le temps et dans l'espace. L'organisation d'un chantier consiste à prévoir toutes les ressources nécessaires en moyens humains, matériels et matériaux, et demande et impose un rythme de travail pour une bonne utilisation de ses moyens dans le but d'exécuter le projet dans les meilleures conditions possible d'un travail pour abaisser les coûts de productions en favorisant à l'homme et à la machine un contexte favorable de façon à accroître la productivité.

VI.1. Généralité

VI.1.1. Installation de chantier

Le chantier nécessite l'installation de zones de vie du chantier, qui sont destinées à l'accueil du personnel, au stockage des matériaux, à la réparation et à l'entretien des engins. L'installation de chantier sert à :

- Organiser le déroulement du chantier pour :
 - Prévoir les différentes phases de réalisation.
 - Faciliter la cohabitation et le dialogue entre les différents corps d'états.
 - Utiliser au mieux possible l'espace disponible notamment en chantier urbain.
- Ordonner le chantier :
 - Gain de temps : diminue les temps unitaires (T.U.).
 - Évite les pertes (matériaux) et double emplois (matériels).
 - Améliore la sécurité : humaine + matériel (clôture + gardiennage + alarme).
 - Améliore la qualité (réussir du premier coup au moindre coût).
- Positionner les éléments :
 - Humains : rendez-vous, accident.
 - Matériels : livraison, déplacements.

VI.1.2. Plan d'installation de chantier

Un plan d'installation de chantier (P.I.C.) est généralement établi à partir d'un plan de masse et définit les matériels « fixes » nécessaires à la réalisation des ouvrages, et les cantonnements pour accueillir le personnel du chantier. Il sert aussi à obtenir :

- Les autorisations d'installations de grues, de survol des grues sur les terrains ou les bâtiments voisins, de travaux sur la voie publique, de déviation de voie, etc., émanant des services techniques des mairies ou des préfectures de police.
- Les autorisations d'installer le chantier suivant les règles d'hygiène et de sécurité des services de l'inspection du travail.

VI.1.3. Les différents intervenants sur un chantier

Lors de la réalisation d'un projet, plusieurs intervenants peuvent apparaître, néanmoins, on va citer les principaux d'entre eux, qui se répartissent en général, en trois principaux groupes comme suit :

1) Le maître de l'ouvrage

Le maître de l'ouvrage est une personne physique ou morale pour le compte de qui les travaux, ou les ouvrages sont exécutés ça peut être un particulier, un promoteur, un constructeur, l'état, une collectivité, ou une administration, son rôle est de :

- Etablir précisément ses besoins de construction.

- Organiser toutes les opérations d'investissement.
- Choisir le Maître d'œuvre et les BET.
- Assurer le suivi et le contrôle des travaux (où faire assurer).
- Financer les travaux réalisés.

2) Le maître d'œuvre

Le maître d'œuvre est une personne physique ou morale qui pour sa compétence, est chargé par le maître d'ouvrage de diriger l'exécution du contrat, et de proposer la réception, ainsi que le suivi du règlement des travaux. La mission du maître d'œuvre, et tous les intervenants désignés par le maître d'ouvrage est de :

- S'assurer de la faisabilité de l'opération.
- Assurer la sécurité des biens et des personnes.
- Concevoir, décrire, évaluer les ouvrages.
- Etablir les dispositions réglementaires.
- Préparer les marchés, consulter les entreprises.
- Diriger les travaux.

3) L'entrepreneur

L'entrepreneur est une personne physique ou morale qui a la charge de réaliser les travaux ou les ouvrages aux conditions définies dans les pièces du contrat. Son rôle est :

- Etudier le projet coté prix.
- Déterminer les prix unitaires pour la réalisation de chaque ouvrage.
- Dessiner les plans d'installation de chantier.
- Réaliser les ouvrages prévus.

VI.1.4. Les différentes phases de réalisation d'un projet

AVANT- METRE Ou Préparation de chantier

- Naissance du Projet (Intention et fixation des objectifs).
- Réalisation des Etudes, Elaboration du Projet.
- Recherche des sources de financement par le Maître d'Ouvrage.
- Préparation du dossier d'appel d'offres (D.A.O).
- Consultation des Entreprises (DCE).
- Dépôt des soumissions.
- Dépouillement des offres.
- Choix de l'Entreprise.
- Notification du démarrage des travaux par ordre de service .
- Installation du Chantier.

METRE Ou Phase de Gestion du chantier

- Ordre de service de démarrage des travaux (ODS).
- Procès-verbal d'ouverture officielle du chantier (selon date ODS).
- Réalisation du projet avec suivi et control des travaux.
- Délai d'exécution des travaux (selon contrat).
- Réception provisoire des travaux.
- Délai garantie parfait achèvement.
- Fin période Garantie, réception définitive des travaux
- Repliement définitif du Chantier
- Etapes de Transfert de l'ouvrage au gestionnaire
- Débit de la Gestion de l'ouvrage

VI.1.5. Les engins de chantier

Le matériel utilisé est le matériel classique des chantiers de travaux publics. L'utilisation de gros engins mécaniques va réduire considérablement le prix et le temps des travaux.

Tableau VI.1 Engins utilisés

Type engins	Engins	Actions
les engins de mise en place des matériaux	les niveleuses	les terrassements
	Compacteurs à pieds de mouton	
	Tous types de compacteurs à rouleaux lisses	
	les finisseurs	
les engins de transport	Camions	Les déplacements
	Dumpers	
	véhicules utilitaires	
	brouettes	
les engins de chargement	les chargeuses	L'excavation et le refoulement
	les pelles (hydrauliques/ mécaniques)	
	les bulldozers	

VI.2. Devis quantitatif et estimatif du projet

Le tableau suivant donne les montants de réalisation de la variante retenue :

Tableau VI2 Le devis des différents travaux de l'aménagement des oueds de la zone d'étude

Désignation travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
	Déblai	M ³	16859	4,214,750
	Remblai	M ³	6537	2,941,650
Béton de propreté	M ³	1841.2	8000	14,729,600
Béton armé	M ³	2762.25	45000	124,301,250
Gabion	M ³	4340	6000	26,040,000
Montant Totale				172,227,250
TVA 19%				32,723,177.5
Total TTC				204,950,427.5

Le devis du projet est estimé à : **deux cents quatre millions neuf cent cinquante mille quatre cent vingt-huit dinars algériens.**

VI.3. Planification

La planification des travaux est un moyen qui permet de chercher constamment la meilleure façon d'utiliser avec économie la main d'œuvre et les autres moyens de mise en œuvre pour assurer l'efficacité de l'action à entreprendre. Son objectif est de s'assurer que les travaux se font dans un ordre correct a temps, aussi économique que possible (BENLAOUKLI, 2004). Elle consiste en :

- L'installation des postes de travail.
- L'observation instantanée.
- L'analyse des tâches.
- Le chronométrage.

Il existe deux principales méthodes de planification à savoir :

- Méthodes basées sur le réseau.
- Méthodes basées sur le graphique.

VI.3.1. Méthodes basées sur le réseau

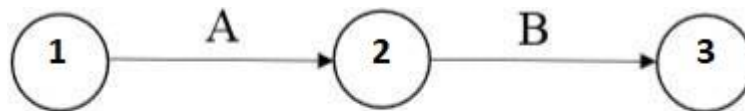
VI.3.1.1. Définition :

Le réseau est une représentation graphique d'un projet qui permet d'indiquer la relation entre les différentes opérations qui peuvent être successives, simultanées, convergentes et la durée de réalisation.

On distingue deux types de réseaux :

a) Réseau à flèches :

Dans un réseau à flèches les opérations sont mentionnés sur les flèches et la relation entre les opérations se fait par des cercles qu'on appelle nœud.

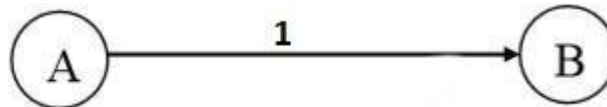


L'opération A précède l'opération B.

Méthode PERT Anglo-Américaine

b) Réseau à nœuds :

Dans un réseau à nœuds l'opération est mentionnés dans un cercle appelé nœud assurée par une flèche.



Méthode potentiels (Française)

L'opération B ne peut commencer que si l'opération A est complètement achevée.

VI.3.1.2. Construction du réseau

Pour construire un réseau, il convient d'effectuer les six opérations suivantes :

- Etablissement d'une liste des tâches : Il s'agit dans cette première phase de procéder à un inventaire très précis et détaillé de toutes les opérations indispensables à la réalisation d'un projet.
- Détermination des tâches antérieures : Après avoir dressé la liste des tâches à effectuer, il n'est pas toujours facile de construire un réseau car il n'est pas aisé de dire si les tâches antérieures doivent être successives ou convergentes.
- Construction des graphes partiels.
- Regroupement des graphes partiels.
- Détermination des tâches de début de l'ouvrage et de fin de l'ouvrage.
- Construction du réseau.

❖ Différentes méthodes basées sur le réseau (BENLAOUKLI, 2004) :

1. Méthode C.P.M (Méthode française) :

L'objectif de la méthode C.P.M (Critical Path Critique) est de réduire le temps de réalisation d'un ouvrage en tenant compte de trois phases.

- 1ère phase : l'effectif nécessaire pour effectuer le travail considéré.
- 2ème phase : analyser systématiquement le réseau, heure par heure, jour par jour, selon l'unité de temps retenu.
- 3ème phase : adapter le réseau aux conditions ou contraintes fixées par l'entreprise.

2. Méthode P.E.R.T (Program Evaluation and Review Technical):

C'est-à-dire technique d'ordonnancement des tâches et contrôle des programmes, c'est une méthode consistant à mettre en ordre sous forme de réseau plusieurs tâches qui grâce à leur chronologie et leur dépendance concourent toutes à l'obtention d'un produit fini.

VI.3.2 Méthodes basées sur le graphique

1) Méthode linéaire (ligne of balance technic) :

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

2) Méthode à barres :

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

VI.3.3. Les étapes de la planification

La planification est le processus de la ligne de conduite des travaux à réaliser, elle comprend les étapes suivantes :

- Collection des informations : les informations concernant les plans d'architecture, les normes de travail, les normes de matérielles salaires, les prix des matériaux ...
- Décomposition du projet : le projet est éclaté en opération soit :
 - En élément de structure : poutre, dalle, fondation ...
 - Selon les ressources à utiliser ; béton, ferrailage, terrassement, coffrage ... etc.

- Prévoir les relations entre les opérations : il y a deux types de relation :
 - Relation logique : exemple on ne peut pas faire le bétonnage avant l'opération coffrage soit accompli
 - Relation préférentielle : exemple soit deux poteaux à Réaliser l'un après l'autre mais de préférence les réaliser en même temps si on a les moyens
- Attribution des durées : la durée de l'opération est donnée par la relation suivante : $t = \frac{Q}{nR}$ avec :
 - n : la norme de travail.
 - R : la ressource (moyen, matériels et humaine)
 - Q : la dimension du projet (volume de l'opération)
- La construction du réseau : soit a nœuds ou bien a flèches.

VI.3.4. Choix de la méthode de calcul (BENLAOUKLI, 2004)

Le calcul d'un réseau permet de déterminer :

- La durée totale du projet.
- Les taches critiques.
- Le chemin critique.
- Pour le calcul d'un réseau a nœuds l'outil de travail est la grille qui est composée de six cellules.
- Pour le calcul d'un réseau a flèches l'outil est les formes géométrique (le triangle et le carrée).

Le choix de la méthode de calcul repose essentiellement sur le type d'ouvrage construire. Il est préférable dans le cas où les opérations se suivent comme dans notre cas d'opter pour la méthode C.P.M.

VI.3.4.1. Les paramètres de calcul dans la méthode C.P.M

Les paramètres indispensables dans l'exécution de cette méthode sont les suivants : DCP, tr, DFP, DCP, DFPP et MT.

DCP	t_r
DFP	DCPP
DFPP	MT

- t_r : temps de réalisation.
- DCP : date de commencement au plus tôt, c'est la date ou l'opération peut être commencée.
- DCP : date de commencement au plus tard, c'est la date ou l'opération doit être commencée.
- DFP : date de finition au plus tôt, c'est la date ou l'opération peut être achevée.
- DFPP : date de finition au plus tard, c'est la date ou l'opération doit être achevée.
- MT : marge totale, intervalle de temps nécessaire pour le déroulement de l'opération tel que :

$$DFP = DCP + t_r \qquad DCP = DFPP - t_r$$

VI.3.4.2. 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 la double condition suivante :

$$MT = 0 \quad \text{et} \quad \sum t_r \text{ cc} = DTP$$

VI.3.4. Diagramme de Gantt

Le diagramme de Gantt, couramment utilisé en gestion de projet, est l'un des outils les plus efficaces pour représenter visuellement l'état d'avancement des différentes activités (tâches) qui composent n projet. La colonne de gauche du diagramme énumère toutes les tâches à effectuer, tandis que la ligne d'en-tête représente les unités de temps les plus adaptées au projet (jours, semaines, mois etc.). Chaque tâche est matérialisée par une barre horizontale, dont la position et la longueur représentent la date de début, la durée et la date de fin. Ce diagramme permet donc de visualiser d'un seul coup d'œil :

- Les différentes tâches à envisager.
- La date de début et la date de fin de chaque tâche.
- La durée escomptée de chaque tâche.
- Le chevauchement éventuel des tâches, et la durée de ce chevauchement.
- La date de début et la date de fin du projet dans son ensemble.

En résumé, un diagramme de Gantt répertorie toutes les tâches à accomplir pour mener le projet à bien, et indique la date à laquelle ces tâches doivent être effectuées (le planning). La méthode du CPM est une méthode de planification, elle a pour objectif de réduire le temps et le coût de réalisation de projet et augmenter le rendement du travail. Pour la construction du réseau il faut d'abord établir les différentes tâches des travaux.

Le projet de la protection de Honaine nécessite le lancement de deux chantiers différent parce que les deux oueds sont séparés et la réalisation de l'un ne dépend pas de l'autre.

Les tableaux suivants représentent les différentes taches a réalisés :

Tableau VI.3 Liste des opérations avec leurs durées du premier chantier

Désignation d'opération	Code	Durée (Jours)
Installation du chantier sur oued Honaine	A	15
Travaux de terrassement sur le premier tronçon d'oued Honaine	B	25
Compactage sur le premier tronçon d'oued Honaine	C	24
Pose de gabion tronçon 1	D	45
Travaux de terrassement sur le tronçon 2	E	48
Compactage sur le tronçon 2	F	52
Exécution de lit du béton de propreté sur tronçon 2	G	44
Exécution de béton armé sur le tronçon 2	H	48
Travaux de terrassement sur les tronçons 3 et 4	I	16
Compactage sur le tronçon 3 et 4	J	18

Chapitre VI Organisation de Chantier

Exécution de lit du béton de propreté sur tronçons 3 et 4	K	15
Exécution de béton armé sur les tronçons 3 et 4	L	20
Déménagement du chantier	M	15

Tableau VI.4 Liste des opérations avec leurs durées du deuxième chantier

Désignation d'opération	Code	Durée (Jours)
Installation du chantier sur oued Menzel	A	15
Travaux de terrassement sur le premier tronçon	B	30
Compactage sur le premier tronçon	C	27
Pose de gabion sur tronçon 1	D	50
Travaux de terrassement sur le tronçon 2	E	18
Compactage sur le tronçon 2	F	20
Travaux de terrassement sur les tronçons 3	G	21
Compactage sur le tronçon 3	H	23
Exécution de lit du béton de propreté sur les tronçons 2 et 3	I	35
Exécution de béton armé sur les tronçons 2 et 3	J	40
Déménagement du chantier	K	15

Dans les tableaux suivants on présente chaque tâche avec celles qu'elle précède :

Tableau VI.5 Succession des tâches (oued Honaine)

Opération	Précède	Durée (Jours)
A	B	15
B	C	25
C	D,E	24
D	G	45
E	F	48
F	G	52
G	H	44
H	I	48
I	J	16
J	K	18
K	L	15
L	M	20
M	-	15

Tableau VI.6 Succession des tâches (oued Menzel)

Opération	Précède	Durée (Jours)
A	B	15
B	C	30
C	D,E	27
D	I	50
E	F,G	18
F	I	20
G	H	21
H	I	23
I	J	35
J	K	40
K	-	15

VI.4. Elaboration du réseau selon la méthode C.P.M

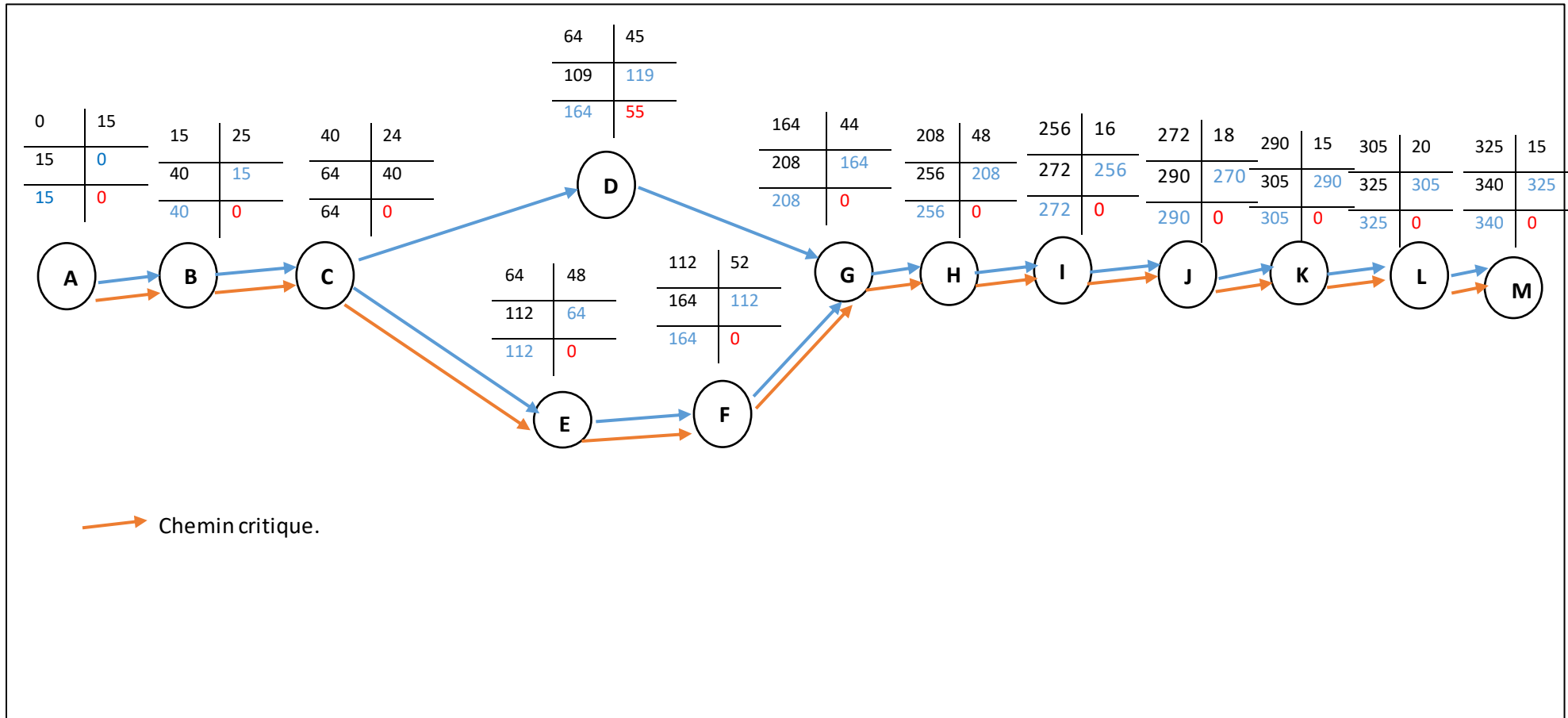


Figure VI.1 Réseau de planification des tâches (premier chantier) par la méthode CPM

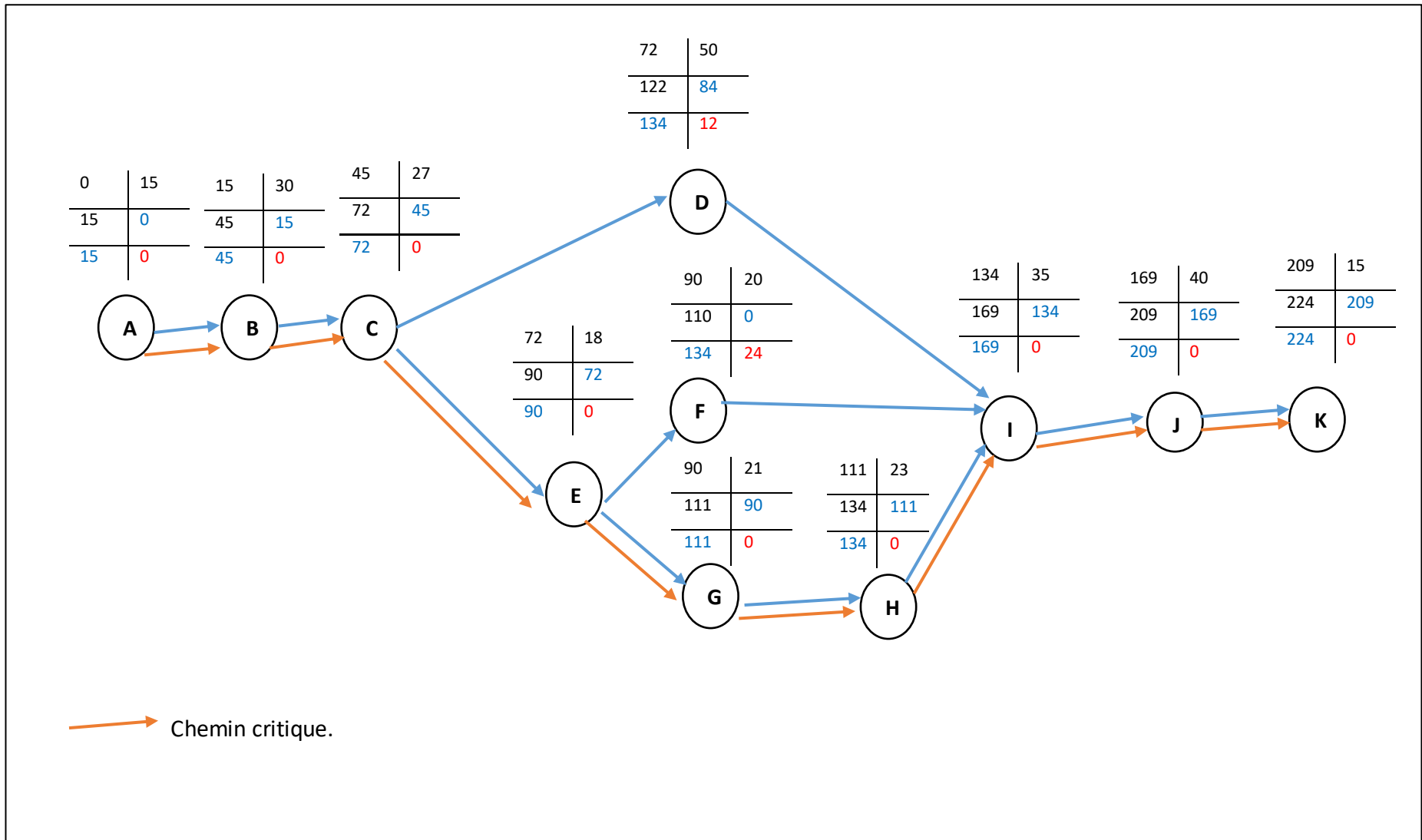


Figure VL2 Réseau de planification des tâches (deuxième chantier) par la méthode CPM

Chapitre VI Organisation de Chantier

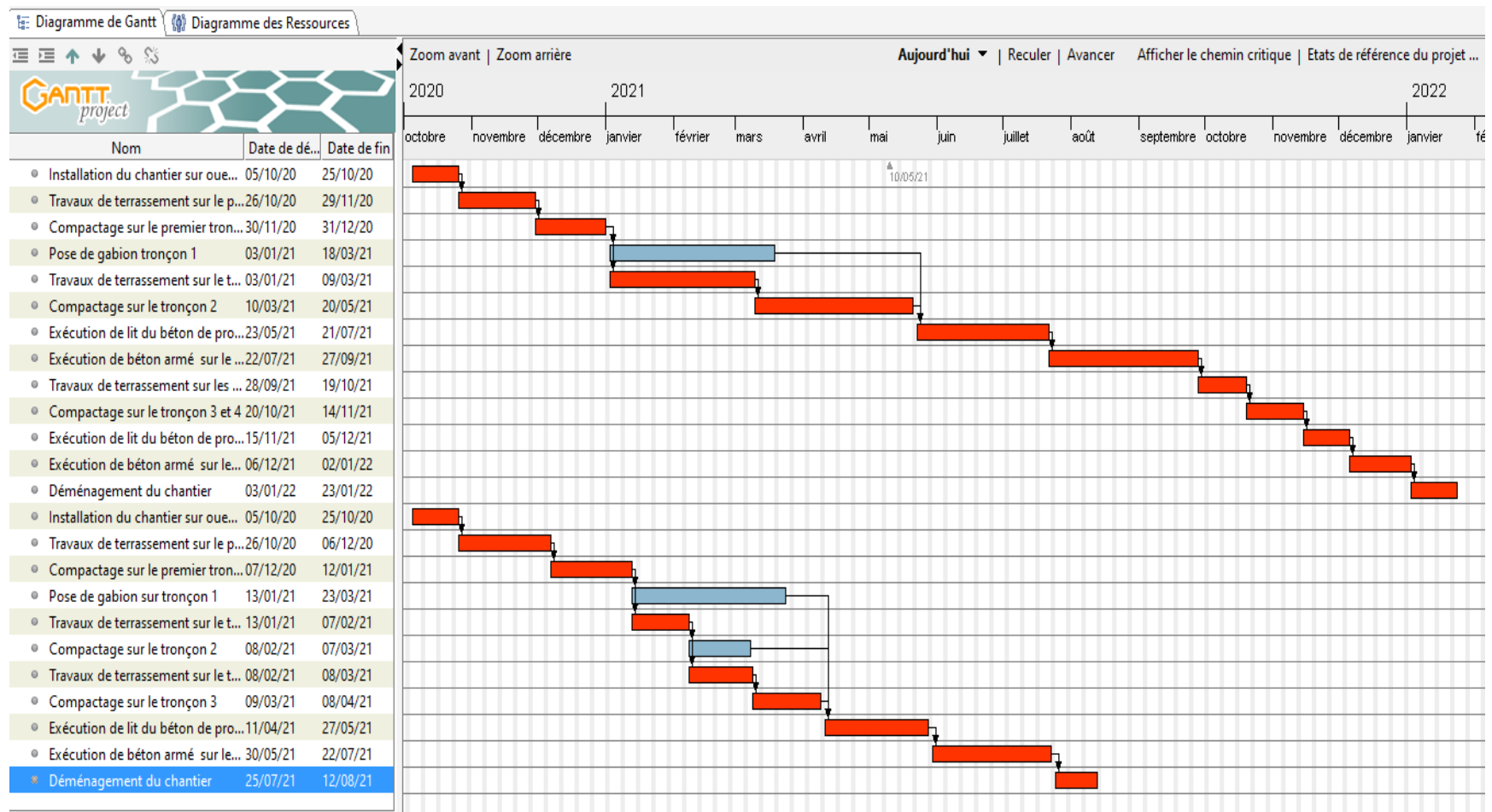


Figure VI.3 Réseau de planification diagramme de GANT

- Chemin critique ;
- Le cheminement des taches.

Conclusion

L'exécution des différentes tâches de notre projet dans les meilleures conditions et dans les délais prévus sans sortir des coûts d'investissement initiaux, nécessite une stratégie de gestion améliorée pour une bonne utilisation des moyens humains, techniques et matériels. Et selon cette stratégie nous avons pu estimer le coût global du projet d'aménagement d'oued Honaine et oued Menzel qui sont situés dans la commune de Honaine Wilaya de TELMCEN est de 204,950,427.50DA pour un délai de réalisation de 63 semaines.

Conclusion Générale

La réduction des dommages humains, matériels et économiques nécessite une stratégie nationale de gestion des risques naturels, pour assurer la protection des sites urbains contre les crues et les inondations.

A travers ce mémoire, nous avons essayé d'abord d'expliquer la notion du risque d'inondation et particulièrement on a pris conscience de l'importance d'entretenir les deux oueds qui traversent la commune de Honaine a wilaya de TELMCEN oued MENZEL et oued HONAINNE, pour mettre fin du problème d'inondation.

Pour cela, on a suivi une méthodologie de travail qui se subdivise en trois étapes essentielles. Nous avons d'abord estimé le débit de crue maximal à évacuer par les cours d'eau correspondants aux différentes périodes de retours en utilisant la méthode de GRADEX, cette étude est basée sur une analyse statistique fréquentielle des données pluviométriques qui sont ajustés selon la loi de GALTON (Log-normal), et nous avons terminé cette étape par l'estimation de l'hydrogramme de crues.

Ensuite, en deuxième étape nous avons entamé l'étude hydraulique afin de déterminer les paramètres d'écoulement des cours d'eau, aussi l'estimation des zones susceptibles à être inondées via des simulations des cours d'eau non aménagés par le logiciel HEC-RAS et à l'aide de logiciel AutoCAD Civil 3D.

Finalement, nous avons choisi un aménagement adéquat après une analyse technico économique pour choisir la variante finale qui répond à notre objectif d'étude. Alors, il a été constaté que la variante 02 est la plus adéquate qui est celle d'un canal mixte pour oued HONAINNE et Menzel. En projetant un canal en béton armé dans la zone urbaine de forme Trapézoïdal à ciel ouvert sur une longueur de 526.50 ml « oued MENZAL », et sur une longueur 900.00 ml « OUED HONAINNE », et un canal en gabion pour la protection d'ouvrage au niveau d'amont des oueds.

Le projet de réalisation de l'aménagement s'étale sur un délai de 63 semaines, pour un coût de deux cents cinq millions de Dinars Algériens. Et comme tout projet celui-ci se doit être suivi afin de garantir un meilleur déroulement lors la réalisation du projet et assure un meilleur service et une durée de vie acceptable.

Bibliographies

RIFAI, N., KHATTABI, A. & RHAZI, L : Modélisation des crues des rivières pour la gestion intégrée du risque d'inondation cas du bassin versant de Tahaddart (nord-ouest du Maroc) ; Université du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement 2014

DANIEL LOI :L'Espace géographique Méthodologie de l'étude du climat .pp. 45-55 Année 1982 .

BOUAÏCHI I ; TOUAÏBIA B et DERNOUNI F : Approche méthodologique de calcul du débit pluvial en cas d'insuffisance de données. Cas de la région de Tipaza. Algérie. Revue semestrielle scientifique et technique ; Le Journal de l'Eau et de L'environnement.

TOUAÏBIA B : Manuel pratique d'hydrologie, édition Madani 2004.

DUBREUIL P : Initiation à l'analyse Hydrologique. Ed. Masson et CIE. ORSTOM. Paris. 216p Année 1974.

DEGOUTTE G : Diagnostique aménagement et gestion des rivières-hydraulique et morphologie fluviale appliquées. Collection Tec & Doc. Paris. France. 394p 2006.

DEGOUTTE, G : Aide-mémoire d'hydraulique a surface libre, Edition ENGREF, 66 p 2006.

GRAF.W.H et ALTINAKAR.M. S ; Hydraulique Fluviale, 1993

M Mehaiguen; M Meddi; A Longobardi; S Toumi: Low flows quantification and regionalization in North West Algeria.pp 87, 67-76 Année 2012

T. Rabhi : Etude d'un aménagement de protection contre les inondations Cas : de la ville de sougueur (w. Tiaret) 2018. taxonomy - Southern Ontario. Can. J Soil Sci. 64: 383-393.

U.S. Army Corps of Engineers. HEC-RAS River Analysis System Hydraulic reference manual, Hydrologic Engineering Center, CPD-69, Version 4.1 2010a.

YAHIAOUI A. Inondations Torrentielles Cartographie des Zones Vulnérables en Algérie du Nord (Cas de l'oued Mekerra, Wilaya de Sidi Bel Abbès). Thèse de Doctorat. Ecole Nationale Polytechnique. Algérie 2012.

Annexe 1

I. Table des valeurs de coefficient de Manning

Valeurs du coefficient n de Manning

Nature des surfaces	Etats des parois			
	Parfait	Bon	Assez bon	Mauvais
A) Canaux artificiels				
Ciment lissé	0,01	0,011	0,012	0,013
Mortier de ciment	0,011	0,012	0,013	0,015
Aqueducs en bois raboté	0,01	0,012	0,013	0,014
Aqueducs en bois non raboté	0,011	0,013	0,014	0,015
Canaux revêtus de béton	0,012	0,014	0,016	0,018
Moëllons bruts	0,017	0,02	0,025	0,03
Pierres sèches	0,025	0,03	0,033	0,035
Moëllons dressés	0,013	0,014	0,015	0,017
Aqueducs métalliques à section demi-circulaire lisse	0,011	0,012	0,013	0,015
Aqueducs métalliques à section demi-circulaire plissée	0,0225	0,025	0,0275	0,030
Canaux en terre droits et uniformes	0,017	0,020	0,0225	0,025
Canaux avec pierres, lisses et uniformes	0,025	0,030	0,033	0,035
Canaux avec pierres, rugueux et irréguliers	0,035	0,040	0,045	-
Canaux en terre à larges méandres	0,0225	0,025	0,0275	0,030
Canaux en terre dragués	0,025	0,0275	0,030	0,033
Canaux à fond en terre, côtés avec pierres	0,028	0,030	0,033	0,035
B) Cours d'eau naturels				
1) Propres, rives en ligne droite	0,025	0,0275	0,030	0,033
2) Idem 1 avec quelques herbes et pierres	0,030	0,033	0,035	0,040
3) Avec méandres, avec quelques étangs et endroits peu profonds, propres	0,035	0,040	0,045	0,050
4) Idem 3, l'eau à l'étiage, pente et sections plus faibles	0,040	0,045	0,050	0,055
5) Idem 3, avec quelques herbes et pierres	0,033	0,035	0,040	0,045
6) Idem 4, avec pierres	0,045	0,050	0,055	0,060
7) Zones à eau coulant lentement avec herbes ou fosses très profondes	0,050	0,060	0,070	0,080
8) Zones avec beaucoup de mauvaises herbes	0,075	0,100	0,125	0,150

Annexe 2

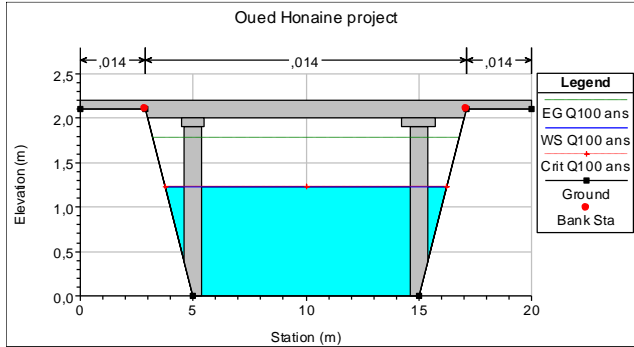
II. Résultats de la simulation à l'état naturel sur HEC-RAS

HEC-RAS Plan: 01 River: Oued Honaine 25 Reach: oued Honaine												
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
oued Honaine	1200	Q100 ans	120,00	6,78	10,57	9,29	10,74	0,000831	1,93	69,14	30,54	0,36
oued Honaine	1175	Q100 ans	120,00	6,49	10,21	9,90	10,67	0,004046	3,06	40,72	25,83	0,72
oued Honaine	1150	Q100 ans	120,00	6,46	9,67	9,67	10,50	0,008092	4,03	29,85	18,60	1,00
oued Honaine	1125	Q100 ans	120,00	7,54	9,42	9,58	10,27	0,010636	4,12	30,16	25,91	1,14
oued Honaine	1100	Q100 ans	120,00	6,82	8,34	8,80	9,80	0,027703	5,66	23,00	26,80	1,78
oued Honaine	1075	Q100 ans	120,00	6,24	8,12	8,41	9,17	0,015558	4,55	26,88	26,50	1,34
oued Honaine	1050	Q100 ans	120,00	6,10	8,01	8,16	8,83	0,008336	4,34	32,34	27,28	1,06
oued Honaine	1025	Q100 ans	120,00	5,32	7,35	7,68	8,54	0,014823	4,96	25,82	23,51	1,35
oued Honaine	1000	Q100 ans	120,00	4,92	7,59	6,54	7,73	0,000867	1,77	75,34	37,91	0,36
oued Honaine	975	Q100 ans	120,00	4,70	7,17	7,04	7,65	0,004161	3,32	41,78	31,39	0,76
oued Honaine	950	Q100 ans	120,00	4,26	6,88	6,88	7,51	0,005750	3,67	36,97	31,79	0,87
oued Honaine	925	Q100 ans	120,00	4,00	6,64	6,00	6,92	0,001894	2,59	55,29	34,80	0,53
oued Honaine	900	Q100 ans	120,00	3,74	6,69		6,85	0,001130	1,83	68,93	37,31	0,40
oued Honaine	875	Q100 ans	120,00	3,54	6,66		6,82	0,001147	1,97	70,78	40,00	0,41
oued Honaine	850	Q100 ans	120,00	3,47	6,65		6,79	0,001197	1,80	73,70	40,00	0,38
oued Honaine	825	Q100 ans	120,00	4,12	6,41		6,72	0,003539	2,76	50,65	40,00	0,68
oued Honaine	800	Q100 ans	120,00	3,35	6,42		6,63	0,001668	2,24	63,14	40,00	0,49
oued Honaine	775	Q100 ans	120,00	3,31	6,38		6,59	0,001691	2,26	63,42	40,00	0,49
oued Honaine	750	Q100 ans	120,00	3,27	6,34		6,55	0,001670	2,24	63,87	40,00	0,49
oued Honaine	725	Q100 ans	120,00	3,24	6,31		6,50	0,001560	2,18	65,32	40,00	0,47
oued Honaine	700	Q100 ans	120,00	3,82	6,20		6,45	0,002783	2,48	55,82	40,00	0,60
oued Honaine	675	Q100 ans	120,00	3,64	6,12		6,38	0,002817	2,54	55,33	40,00	0,61
oued Honaine	650	Q100 ans	120,00	3,14	6,09		6,31	0,001903	2,35	61,38	40,00	0,52
oued Honaine	625	Q100 ans	120,00	3,06	6,05		6,26	0,001761	2,29	62,74	40,00	0,50
oued Honaine	600	Q100 ans	120,00	3,88	5,99		6,21	0,002123	2,36	59,81	40,00	0,54
oued Honaine	575	Q100 ans	120,00	2,85	5,98		6,16	0,001359	2,11	67,83	40,00	0,44
oued Honaine	550	Q100 ans	120,00	3,86	5,90		6,11	0,002045	2,30	60,77	40,00	0,53
oued Honaine	525	Q100 ans	120,00	2,92	5,88		6,06	0,001376	2,13	67,65	40,00	0,45
oued Honaine	500	Q100 ans	120,00	3,96	5,67		5,99	0,004594	2,68	48,32	40,00	0,75
oued Honaine	475	Q100 ans	120,00	2,89	5,67		5,89	0,001968	2,33	61,14	40,00	0,52
oued Honaine	450	Q100 ans	120,00	2,42	5,66		5,83	0,001354	2,07	68,08	40,00	0,44
oued Honaine	425	Q100 ans	120,00	2,38	5,63		5,80	0,001255	2,00	69,77	40,00	0,43
oued Honaine	400	Q100 ans	120,00	2,34	5,61		5,76	0,001093	1,91	72,79	40,00	0,40
oued Honaine	375	Q100 ans	120,00	2,30	5,59		5,74	0,001071	1,90	73,46	40,00	0,40
oued Honaine	350	Q100 ans	120,00	2,15	5,56		5,71	0,001004	1,88	74,98	40,00	0,38
oued Honaine	325	Q100 ans	120,00	1,99	5,54		5,68	0,000951	1,86	76,42	40,00	0,37
oued Honaine	300	Q100 ans	120,00	1,91	5,52		5,66	0,000910	1,83	77,40	40,00	0,37
oued Honaine	350	Q100 ans	120,00	2,15	5,56		5,71	0,001004	1,88	74,98	40,00	0,38
oued Honaine	325	Q100 ans	120,00	1,99	5,54		5,68	0,000951	1,86	76,42	40,00	0,37
oued Honaine	300	Q100 ans	120,00	1,91	5,52		5,66	0,000910	1,83	77,40	40,00	0,37
oued Honaine	275	Q100 ans	120,00	2,92	5,46		5,63	0,001447	1,96	68,55	40,00	0,45
oued Honaine	250	Q100 ans	120,00	1,77	5,48		5,59	0,000563	1,55	88,73	40,00	0,30
oued Honaine	225	Q100 ans	120,00	1,71	5,43		5,57	0,000993	1,88	75,90	40,00	0,38
oued Honaine	200	Q100 ans	120,00	2,88	5,25		5,52	0,003109	2,53	53,46	40,00	0,63
oued Honaine	175	Q100 ans	120,00	1,60	5,23		5,45	0,001595	2,37	62,81	40,00	0,48
oued Honaine	150	Q100 ans	120,00	3,67	4,97	4,81	5,37	0,005358	2,89	44,26	38,14	0,81
oued Honaine	125	Q100 ans	120,00	3,56	4,67	4,67	5,19	0,008613	3,30	38,17	37,32	1,00
oued Honaine	100	Q100 ans	120,00	1,15	3,54	3,97	4,85	0,016466	5,09	25,01	34,26	1,40
oued Honaine	75	Q100 ans	120,00	0,77	4,13	3,58	4,34	0,001681	2,31	62,47	40,00	0,49
oued Honaine	50	Q100 ans	120,00	0,51	4,13		4,30	0,001047	1,93	70,98	40,00	0,39
oued Honaine	25	Q100 ans	120,00	2,75	3,72	3,72	4,21	0,009210	3,12	39,05	40,00	1,01
oued Honaine	0	Q100 ans	120,00	2,19	2,90	3,16	3,81	0,025077	4,20	28,68	40,00	1,59

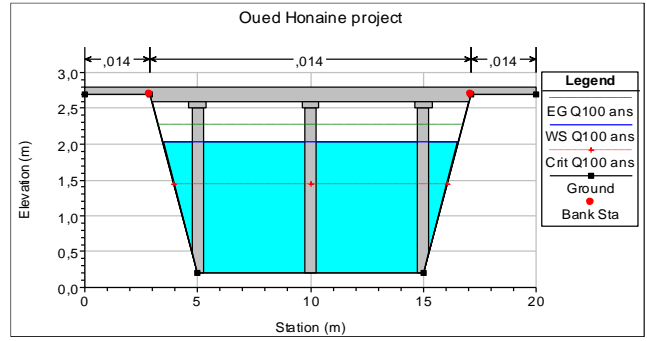
Annexe

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
Oued Menzel	876.7	Q100 ans	48,00	16,09	16,82	16,24	16,86	0,000620	0,63	57,56	60,00	0,25
Oued Menzel	850	Q100 ans	48,00	14,84	16,75		16,81	0,001826	1,19	42,94	60,00	0,43
Oued Menzel	800	Q100 ans	48,00	15,25	16,67		16,73	0,001596	1,13	44,62	60,00	0,40
Oued Menzel	750	Q100 ans	48,00	15,08	16,60		16,65	0,001204	1,06	48,37	60,00	0,35
Oued Menzel	700	Q100 ans	48,00	15,32	16,53		16,59	0,001464	0,98	45,41	60,00	0,37
Oued Menzel	650	Q100 ans	48,00	14,62	16,45		16,51	0,001525	1,23	44,83	60,00	0,40
Oued Menzel	600	Q100 ans	48,00	15,00	16,29		16,40	0,003753	1,49	34,26	60,00	0,59
Oued Menzel	550	Q100 ans	48,00	14,09	16,18		16,25	0,002165	1,04	40,86	60,00	0,43
Oued Menzel	500	Q100 ans	48,00	14,79	15,86	15,84	16,04	0,008605	1,40	26,54	60,00	0,79
Oued Menzel	450	Q100 ans	48,00	14,08	15,36	15,36	15,57	0,010321	2,32	24,66	57,03	0,95
Oued Menzel	400	Q100 ans	48,00	13,41	13,88	14,14	14,70	0,034498	3,18	12,03	23,39	1,65
Oued Menzel	350	Q100 ans	48,00	12,07	14,08	14,08	14,32	0,009083	2,30	23,97	53,20	0,92
Oued Menzel	300	Q100 ans	48,00	12,28	12,66	12,91	13,50	0,047468	3,36	12,00	29,83	1,90
Oued Menzel	250	Q100 ans	48,00	10,63	11,13	11,38	11,99	0,020947	1,79	11,81	15,42	1,14
Oued Menzel	200	Q100 ans	48,00	8,90	10,79	10,85	11,29	0,011052	3,13	15,34	17,42	1,06
Oued Menzel	150	Q100 ans	48,00	8,25	9,14	9,41	10,18	0,053034	5,26	11,59	32,03	2,18
Oued Menzel	100	Q100 ans	48,00	7,18	8,52	8,63	9,08	0,018971	3,56	15,59	31,38	1,35
Oued Menzel	50	Q100 ans	48,00	7,75	8,60	8,42	8,71	0,003639	1,70	33,25	58,54	0,62
Oued Menzel	0	Q100 ans	48,00	7,32	8,37	8,37	8,59	0,010051	2,13	23,85	54,68	0,95

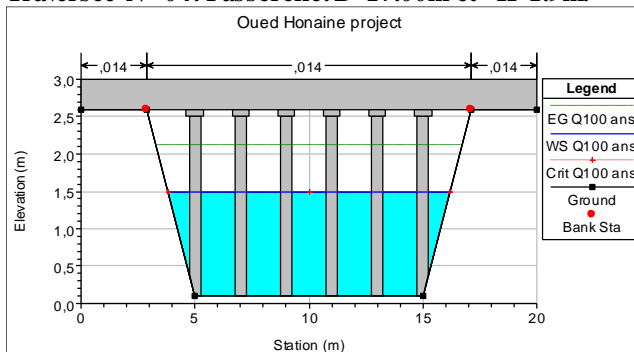
Les ouvrages d'art



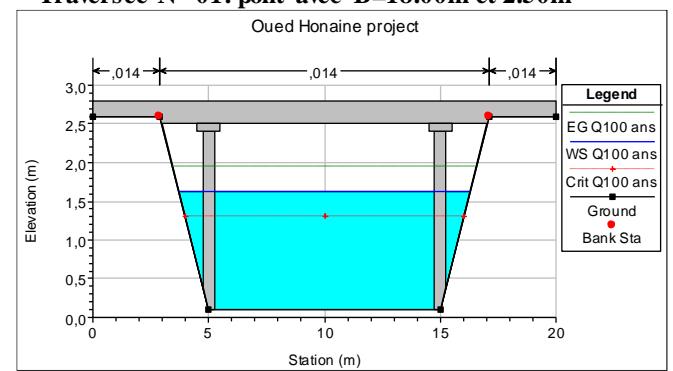
Traversée N° 04: Passerelle: B=17.00m et H=1.9m.



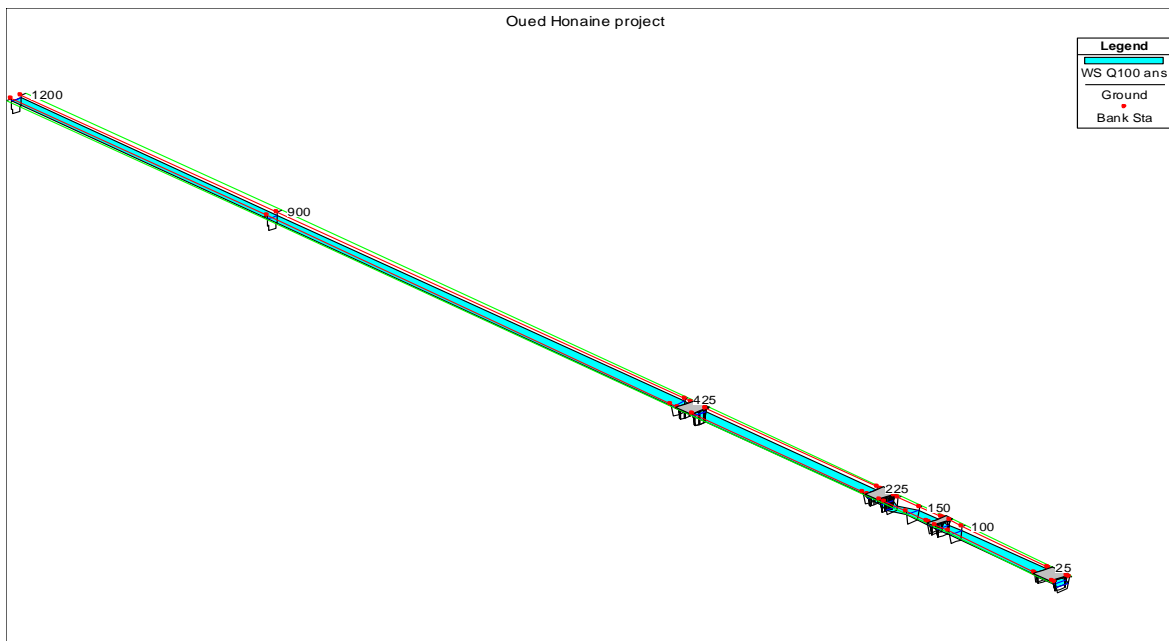
Traversée N° 01: pont avec B=18.00m et 2.50m



Au niveau du port traverse N°03 : le pont du port B=20m et H = 2.50m

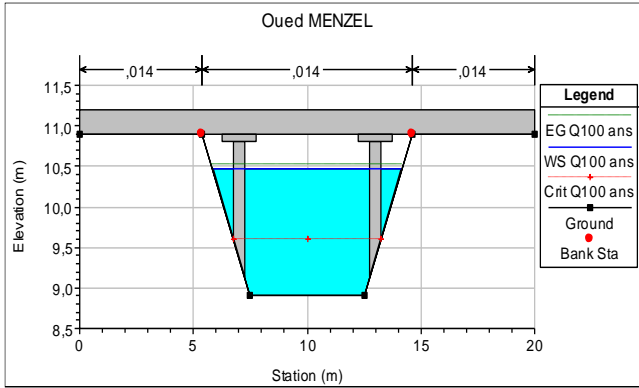


Traversée N° 02: Route de port tel que B=17.00m et H =2.4m.

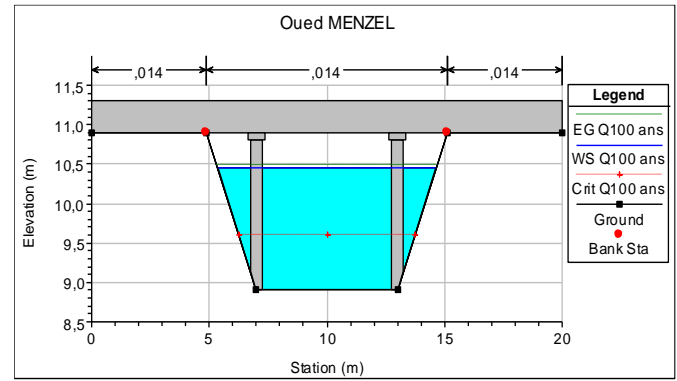


Profil en long 3D apres l'aménagement d'oued Honaine

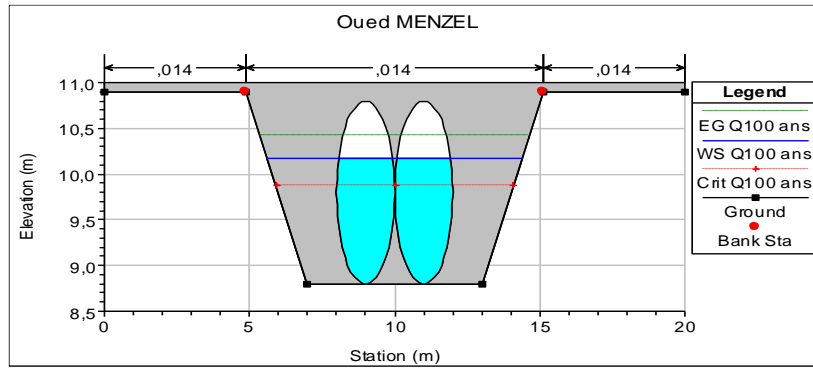
Annexe



Traversée N°1 : pont au niveau de l'amont de B=7.00 m et H=1.60 m

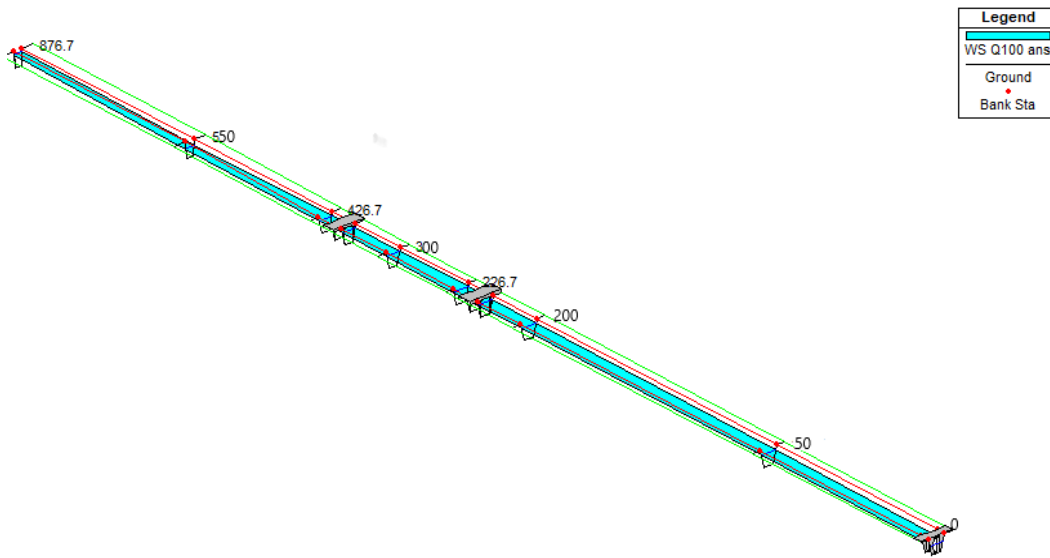


Traversée de route tel que : (B*H) = (7.80*2.00) m



Traversée de route busé (2* φ2000) au niveau du port juste à côté de la mer, cette traversée est le point de contact de l'oued Menzal avec la mer

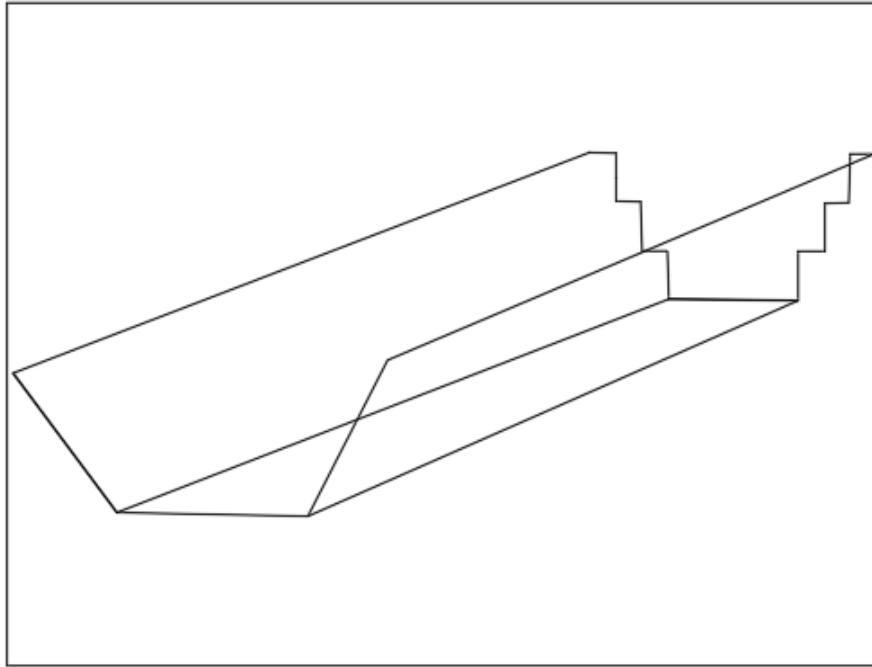
Oued MENZEL



Profil en long 3D après l'aménagement d'oued Menzel

Les ouvrages de transition

La jonction entre les seuils en gabion et le canal qui est en béton armé de forme trapézoïdale est mise en œuvre par un ouvrage de transition en béton, où il prend la forme d'escalier d'un côté et une forme trapézoïdale d'autre côté.



Ouvrage de transition en béton