



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option: Conception et aménagement des ouvrages hydrotechniques

THEME:

L'ETUDE D'AMENAGEMENT D'OUED KOUIDER
POUR LA PROTECTION DE LA VILLE D'OUM EL BOUAGHI
CONTRE LES INNONDATIONS (W.OUM EL BOUAGHI)

Présenté par :

M^r : FIZI Mohammed Chawqi

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
M^r : BENLAOUKLI Bachir	Professeur	Président
M^r : BENSALAH Mohamed Draïdi	M.C.B	Examineur
M^r : OSMANI Elhadi	M.A.A	Examineur
M^r : HEBBOUCHE Abdelhamid	M.C.A	Promoteur

Session Février-2024

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail de fin d'étude avec des mots du cœur et une gratitude immense

A ma mère et mon père, pour l'éducation qu'ils m'ont prodigué avec tous les moyens et au prix de tous les sacrifices qu'ils ont consentis à mon égard, pour le sens du devoir qu'ils m'ont enseigné depuis mon enfance. Que dieu, le plus puissant, les préserve et les procure santé et longue vie.

A mes chères sœurs Lina et Yasmine pour leur encouragement et leur bonté qu'ils m'ont accordé, j'exprime ma profonde reconnaissance et mon grand respect.

A toute ma famille, mes amis et tous ceux que j'aime, je dédie ce travail, expression de mon grand amour avec tous mes vœux de bonheur et de prospérité.

Remerciement

Nous tenons à remercier en premier, le bon Dieu de m'avoir donné la foi, la force et le courage pour réaliser ce travail dans de bonnes conditions

Au terme de ce modeste travail je tiens à remercier vivement tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à sa réalisation, espérons qu'il sera utile pour les étudiants à venir

J'exprime également mes gratitude à Monsieur Habbouch Abd El Hamid, d'avoir accepté de m'encadrer, pour son aide précieuse, ses conseils tout le long de cette durée et pour sa grande contribution à ce travail

Mes remerciements à tous les professeurs de l'Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique

Mes remerciements et mon respect aux membres du jury qui me feront l'honneur d'évaluer mon travail.

ملخص

يتضمن هذا العمل دراسة لحماية مدينة أم البواقي من الفيضانات. و لهذا السبب لا بد من اقتراح تخطيط فعال للحد من الأضرار الناتجة عن الفيضانات. وفي هذه الدراسة تم التطرق الى عدة محاور: الوصف التفصيلي للمنطقة لفهم توليد التدفقات وانتقالها إلى المصب، تحليل الحد الأقصى لتساقط الأمطار اليومي، تحديد التدفقات على مدى 100 عام، تحليل الفيضانات باستخدام برنامج HEC-RAS. وتم إجراء النمذجة الهيدروليكية من مجرى النهر لتحديد مناطق الفيضانات و وصف خيارات التطوير المقترحة. في نهاية هذا العمل، كان البديل الأكثر ملاءمة من الناحية الفنية والاقتصادية هو البديل الهجين. يتكون هذا البديل من نوعين: شبكة من الحجارة و الخرسانة المسلحة.

الكلمات المفتاحية: ، الفيضانات، أم البواقي، الحماية، واد قويدر، التدفق، HEC RAS.

Résumé

Les travaux comprennent des études pour protéger la ville d'Oum El Bouaghi des inondations. Pour cette raison, il est nécessaire de proposer un aménagement efficace pour limiter les dégâts.

Dans ce contexte, plusieurs axes ont été étudiés : description détaillée du territoire pour comprendre la génération des débits et leur transfert vers l'exutoire, analyse des précipitations journalières maximales, détermination des débits sur 100 ans, analyse des crues à l'aide du logiciel HEC-RAS. Modélisation hydraulique dès le cours de la rivière a été réalisée pour délimiter les zones inondables et décrire les options de développement proposées. Au terme de ce travail, la variante la plus adaptée d'un point de vue technico-économique était la variante hybride. Cette variante se compose de deux types : gabions et béton armé.

Mots clés: Inondations, crues, Oum El Bouaghi, protection, Oued Kouider, Débit, HEC RAS.

Abstract

The work includes studies to protect the town of Oum El Bouaghi from flooding. For this reason, it is necessary to propose an effective layout to limit the damage.

In this context, several axes were studied: detailed description of the territory to understand the generation of flows and their transfer to the outlet, analysis of maximum daily precipitation, determination of flows over 100 years, flood analysis using the HEC-RAS software. Hydraulic modelling of the river course was carried out to delineate the flood zones and describe the proposed development options. At the end of this work, the most technically and economically suitable variant was the hybrid variant. This variant consists of two types: gabions and reinforced concrete.

Keywords: Oum El Bouaghi; Design flow; flood risk maps; Flood; Protection; Flood;

Table des matières

Résumé :.....	3
Abstract:.....	3
ملخص:.....	3
Table des matières.....	4
Liste des tableaux.....	10
Listes des figures.....	12
Introduction générale :	14
CHAPITRE I. Présentation de la zone d'étude	16
I.1 Introduction :	16
I.2 Généralité :	16
I.2.1 Situation à l'échelle nationale :.....	16
I.2.2 Situation de la commune d'Oum El Bouaghi dans le territoire de la wilaya :.....	17
I.3 Données naturelles du site :.....	18
I.3.1 Situation géologique :.....	18
I.3.2 La topographie :.....	19
I.3.3 Sismicité :.....	19
I.4 Situation climatologique :.....	20
I.4.1 Température :.....	20
I.4.2 Pluviométrie :	20
I.5 Conclusion :.....	21
CHAPITRE II. Etude hydrologique.....	23
II.1 Caractéristiques morphologiques du bassin versant :.....	23
II.1.1 La surface :	23
II.1.2 Le périmètre :	23
II.1.3 Indice de compacité de Gravelius :	24

II.2 Relief :	24
II.2.1 Répartitions et courbe hypsométrique :	25
II.2.2 Les altitudes caractéristiques :	26
II.2.3 Indice de pente global I_g :	26
II.2.4 Pente moyenne du bassin versant :	27
II.2.5 Dénivelée spécifique D_s :	27
II.3 Caractéristiques du réseau hydrographique :	28
II.3.1 Définition :	28
II.3.2 Densité de drainage :	28
II.3.3 La pente moyenne du cours d'eau principale :	28
II.3.4 Le temps de concentration :	29
II.3.5 Vitesse moyenne de ruissellement V_r :	30
II.4 Analyse des données pluviométriques :	31
II.4.1 Pluie moyenne annuelle :	31
II.4.2 Pluies maximales journalières :	32
II.4.3 Choix de la loi d'ajustement :	35
II.4.3.1 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL :	35
II.4.3.2 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON (log-normale) :	37
II.4.3.3 Comparaison entre les deux lois d'ajustement :	39
II.5 Pluie de courte durée et leurs intensités à différentes Fréquences :	40
II.6 Estimation empirique des débits de pointe et des hydrogrammes de crue :	43
II.6.1 Formules empiriques pour la détermination de la crue :	43
II.7 Conclusion	46
CHAPITRE III. Détermination de la ligne d'eau et de limitation des zones inondable...	48
III.1 Introduction :	48
III.2 Synthèse et Diagnostique :	48
III.3 Rappel des données principales (reconnaissance des lieux et collecte des données) :	50
III.4 Nature d'écoulement dans les canaux :	51

III.4.1	Type d'écoulement de surface :	51
III.4.1.1	Variabilité dans le temps :	51
III.4.1.2	Variabilité dans l'espace :	52
III.4.2	Régime permanent graduellement varié :	52
III.5	Détermination de la ligne d'eau :	53
III.5.1	Caractéristiques des tronçons :	53
III.5.2	Présentation de logiciel HEC-RAS :	54
III.5.2.1	Méthode de calcul en régime permanent de HEC-RAS :	55
III.5.2.2	Principe d'utilisation de logiciel HEC-RAS :	56
III.5.3	Etapes de modélisation :	57
III.5.3.1	Projet :	57
III.5.3.2	Géométrie des sections :	58
III.5.3.3	Débit et conditions aux limites :	60
III.5.3.4	Simulation hydraulique :	61
III.5.3.5	Visualisation des résultats :	62
III.6	Conclusion :	68
CHAPITRE IV.	Etude des variantes d'aménagement.....	70
IV.1	Introduction :	70
IV.2	Principe d'aménagement :	70
IV.2.1	Les différents types d'aménagements envisageables :	70
IV.2.1.1	Curage :	70
IV.2.1.2	Recalibrage :	70
IV.2.1.3	Réalisation des canaux :	70
IV.2.1.4	Protection des berges :	70
IV.2.1.5	Création des canaux de dérivation :	70
IV.2.2	Choix de la forme de la section :	71
IV.2.2.1	Section trapézoïdale :	71
IV.2.2.2	Section Rectangulaire :	71
IV.2.3	Définition du béton armé :.....	Error! Bookmark not defined.
IV.2.4	Utilisation du béton dans les structures :.....	Error! Bookmark not defined.
IV.2.4.1	Avantages du béton armé :.....	Error! Bookmark not defined.

IV.2.4.2	Les inconvénients du béton armé :	Error! Bookmark not defined.
IV.3	Choix de la variante d'aménagement :	72
IV.3.1	Critère d'évolution :	72
IV.4	Conclusion :	72
CHAPITRE V.	Calcul hydraulique.....	74
V.1	Introduction :	74
V.2	Variantes proposes :	74
V.2.1	Les dimensionnement des canaux :	74
V.2.2	Choix des paramètres de dimensionnement :	75
V.2.2.1	La pente du projet :	75
V.2.2.2	Le coefficient de rugosité :	75
V.2.2.3	Vitesse d'érosion :	76
V.2.3	Revanche des canaux :	76
V.3	Calcul hydraulique :	76
V.3.1	Première variante : Canal trapézoïdale en béton armé :	76
V.3.1.1	Dimensionnement :	77
V.3.1.2	Les paramètres d'écoulement :	78
V.3.2	Deuxième variante : Canal rectangulaire (murs de soutènement) :	80
V.3.2.1	Dimensionnement :	80
V.3.2.2	Les paramètres d'écoulement :	81
V.3.3	Troisième variante : Canal en gabion :	83
V.3.3.1	Dimensionnement :	84
V.3.3.2	Les paramètres d'écoulement :	85
V.4	Conclusion :	88
CHAPITRE VI.	Calcul de ferrailage.....	90
VI.1	Introduction :	90
VI.1.1	Définition d'un Mur de soutènement :	90
VI.1.2	Constitution des Mur de soutènement :	90
VI.2	Actions à prendre en compte :	91
VI.2.1	Les actions permanentes :	91

VI.2.2 Les actions variables :	91
VI.2.3 Les événements accidentels :	92
VI.2.4 Les forces exercées sur le canal :	92
VI.3 Etude de stabilité du canal :	92
VI.3.1 Calcul des forces :	92
VI.3.1.1 La stabilité au glissement :	94
VI.3.1.2 La stabilité au renversement :	95
VI.3.1.3 La stabilité au poinçonnement :	95
VI.4 Le ferrailage :	96
VI.4.1 Ferrailage des voiles :	96
VI.4.2 Ferrailage du radier :	97
VI.5 Conclusion :	98
CHAPITRE VII. Organisation du chantier	100
VII.1 Introduction :	100
VII.2 Rôles et responsabilités des intervenants sur chantier :	100
VII.2.1 Maître de l'ouvrage :	100
VII.2.2 Maître d'œuvre :	100
VII.2.3 L'entreprise :	101
VII.3 Installations du chantier :	101
VII.3.1 Installations destinées au personnel :	101
VII.3.2 Installations destinées au stockage des matériaux :	101
VII.3.3 Installations destinées à la réparation des engins :	101
VII.3.4 La préfabrication :	101
VII.3.5 Succession des opérations du chantier :	101
VII.4 Technologie des principaux travaux :	102
VII.5 Devis quantitatif et estimatif du projet :	104
VII.5.1 Canal trapézoïdale en béton armé :	104
VII.5.2 Canal rectangulaire en béton armé :	104

VII.5.3	Canal en gabion :	105
VII.6	Planification :	105
VII.6.1	Définition :	105
VII.6.2	Techniques de la planification :	105
VII.6.2.1	Méthodes basées sur le réseau :	105
VII.6.2.2	Méthodes basées sur le graphique :	107
VII.6.2.3	Les étapes de la planification :	107
VII.6.2.4	Choix de la méthode de calcul :	107
VII.6.2.5	Elaboration du réseau selon la méthode CPM :	108
VII.7	Détermination des chemins critiques :	109
VII.8	Conclusion :	111
Conclusion Générale :		112

Liste des tableaux

Tableau I.1: Paramètres climatiques pour l'année 2021.....	20
Tableau II.1: Répartition altimétrique du bassin versant.....	25
Tableau II.2: Les altitudes caractéristiques	26
Tableau II.3: Indice de pente global	27
Tableau II.4: Pente moyenne du bassin versant	27
Tableau II.5: Dénivelée spécifique.....	28
Tableau II.6: Pente moyenne du cours d'eau principal	29
Tableau II.7: Temps de concentration pour les différents auteurs.....	29
Tableau II.8: Caractéristiques du bassin versant	30
Tableau II.9: La pluviométrie moyenne mensuelle.....	32
Tableau II.10: Pluies journalières maximales observées à la station	33
Tableau II.11: Caractéristiques de la série avec N= 31an.....	33
Tableau II.12: Résultats de l'ajustement à la loi de GUMBEL.....	36
Tableau II.13: Résultats de l'ajustement à la loi de GALTON.....	38
Tableau II.14: Pluies maximales journalières fréquentielles.....	40
Tableau II.15: Pluie de courte durée et leurs intensités à différentes fréquences.....	41
Tableau II.16: Débits instantanés de crues de diverses fréquences (Relation de TURAZZA).....	43
Tableau II.17: Débits instantanés de crues de diverses fréquences (Relation de GIANDOTTI).....	44
Tableau II.18: Débits instantanés de crues de diverses fréquences (Relation de SOKLOVSKI).....	45
Tableau II.19: Tableau récapitulative des Débits instantanés de crues de diverses fréquences.....	45
Tableau III.1: Caractéristiques de bassin versant pour la zone d'étude	50
Tableau III.2: Récapitulatif des résultats des débits de crues pour le sous- bassin 1	50
Tableau III.3: Les caractéristiques des tronçons	53
Tableau III.4: Principaux paramètres hydrauliques pour l'ensemble des stations.....	66
Tableau V.1: Débits calculés de crue.	74

Tableau V.2: Caractéristiques géométrique et hydraulique de défient forme de canaux	75
Tableau V.3: Coefficient de rugosité.....	75
Tableau V.4: Vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolident.	76
Tableau V.5: Dimensions de l'aménagement d'Oued Kouider (Canal trapézoïdale en béton armé).....	77
Tableau V.6: Paramètres d'écoulement de la variante canal trapézoïdale	78
Tableau V.7: Dimensions de l'aménagement d'Oued Kouider (canal rectangulaire en béton armé).....	80
Tableau V.8: Caractéristiques géométriques de la section gabionnée.	84
Tableau V.9: Dimensions de l'aménagement d'Oued Kouider (canal en gabion).	84
Tableau V.10: Paramètres d'écoulement de la variante canal rectangulaire	85
Tableau VI.1: Caractéristiques mécaniques	93
Tableau VI.2: Les charges et les surcharges.....	93
Tableau VI.3: les moments à l'ELU et l'ELS.....	94
Tableau VI.4: les lois de calcul des charges	94
Tableau VI.5: les forces stabilatrices et déstabilatrices	94
Tableau VI.6: Les moments stabilisants et déstabilisant.	95
Tableau VI.7: les moments à l'ELU et L'ELS	96
Tableau VII.1: Devis de la variante d'un canal trapézoïdale	104
Tableau VII.2: Devis de la variante d'un canal rectangulaire	104
Tableau VII.3: Devis de la variante d'un canal rectangulaire	105
Tableau VII.4: Elaboration d'un réseau selon la méthode CPM.....	109
Tableau VII.5: Détermination des chemins critiques.....	110

Listes des figures

Figure I.1 : Situation géographique de la wilaya d'Oum El Bouaghi	16
Figure I.2 : Situation géographique de la wilaya d'Oum El Bouaghi	16
Figure I.3 : Carte géologique de la zone d'étude	18
Figure I.4 : Carte de classement des zones sismiques.....	19
Figure I.5 : Carte pluviométrique du nord de l'Algérie (source ANRH).....	Error!
Bookmark not defined.	
Figure II.1 : Bassin versant de la zone d'étude	23
Figure II.2 : Courbes de niveau du bassin versant (relief)	24
Figure II.3 : Courbe hypsométrique du bassin versant.....	25
Figure II.4 : Représentation des observations sur papier normale	34
Figure II.5 :Histogramme des observations	35
Figure II.6 :Ajustement à la loi de GUMBEL.....	37
Figure II.7 : Ajustement à la loi de GALTON	39
Figure II.8 : Comparaison entre les deux lois d'ajustement.....	39
Figure II.9 : Courbe Pluies de courte durée fréquentielle.	42
Figure II.10 : Courbes des intensités- durées- fréquences.....	42
Figure III.1 : Des dalots construits au niveau de l'oued pour faciliter la circulation des gens et des véhicules.	49
Figure III.2 : Oued Kouider	49
Figure III.3 :écoulement à surface libre.....	51
Figure III.4 :Types d'écoulements	51
Figure III.5 : Type d'écoulement (variabilité dans l'espace).	52
Figure III.6 : Aperçu général sur les icones de HEC-RAS.	55
Figure III.7 : Représentation des termes de l'équation d'énergie	56
Figure III.8 : La fenêtre principale de HEC-RAS.....	57
Figure III.9 : Fenêtre New Project.	58
Figure III.10 : Fenêtre Geometric Data.....	59
Figure III.11 : Fenêtre Cross Section Data.....	59
Figure III.12 : Fenêtre Steady Flow Data.....	61
Figure III.13 : Fenêtre Steady Flow Analysis.....	61
Figure III.14 : Profil en long du cours d'eau à l'état naturel pour une crue centennale	62
Figure III.15 : Vue en Plan en 3D de l'Oued	63

Figure III.16 : Courbe de tarage du tronçon modélisé d'Oued Kouider pour le régime	64
.....	
Figure III.17 : Résultats de simulation pour quelques stations.	65
Figure III.18: Variation de la vitesse totale d'écoulement en fonction de la distance ..	65
Figure III.19: Variation du nombre de Froude en fonction de la distance	66
Figure V.1: Un canal trapézoïdal	76
Figure V.2: Profil en travers d'Oued Kouider aménagé avec un canal trapézoïdal en béton armé.	79
Figure V.3: Profil en long de l'oued Kouider aménagé avec un canal trapézoïdal en béton armé.	79
Figure V.4: Un canal rectangulaire	80
Figure V.5: Profil en travers d'Oued Kouider aménagé avec un canal rectangulaire en béton armé.	83
Figure V.6: Profil en long de l'oued Kouider aménagé avec un canal rectangulaire en béton armé.	83
Figure V.7: Coupe en travers d'un canal en gabion.....	83
Figure V.8: Profil en travers d'Oued Kouider aménagé avec un canal en gabion.	86
Figure V.9: Profil en long de l'oued Kouider aménagé avec un canal en gabion.....	87
Figure VI.1: Mur de soutènement.....	90
Figure VI.2: Un mur de soutènement en béton armé	91
Figure VI.3: schéma statique des efforts	92
Figure VI.4: La géométrie du canal.....	93
Figure VII.1: Bulldozer	102
Figure VII.2: Pelles rétro.....	102
Figure VII.3: Camions à benne et Chargeur.....	103
Figure VII.4: Niveleuses	103
Figure VII.5: Réseau à nœuds	109
Figure VII.6: Diagramme de GANTT.....	110

Introduction générale :

Les inondations représentent l'un des phénomènes naturels les plus dévastateurs et fréquents à travers le monde. Elles surviennent lorsque des quantités importantes d'eau dépassent la capacité des sols et des systèmes de drainage à les absorber, entraînant ainsi le débordement des cours d'eau, des lacs ou des mers. Ces événements peuvent être déclenchés par divers facteurs, tels que des pluies torrentielles, la fonte rapide de la neige, des tempêtes tropicales, des tsunamis ou la rupture de barrages.

Les inondations peuvent avoir des conséquences graves sur les communautés, les économies et les écosystèmes. Elles peuvent causer des pertes humaines, détruire des infrastructures essentielles telles que des routes et des ponts, endommager des habitations, contaminer les réserves d'eau potable, affecter les terres agricoles et causer des pertes économiques considérables. Les inondations sont particulièrement préoccupantes dans un contexte de changement climatique, où l'augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes accentue le risque d'inondations plus fréquentes et plus sévères.

Oum El Bouaghi est une ville touchée par ce phénomène destructible dans certains lieux qu'on classe vulnérable.

L'objectif de notre travail est d'étudier l'inondation d'Oum El Bouaghi, et de traiter les moyens de protection contre ce phénomène par un aménagement hydraulique de protection, qu'on va dimensionner selon les données de bases et l'étude hydrologique qu'on doit faire.

CHAPITRE. I
PRESANTATION DE
LA ZONE D'ETUDE

CHAPITRE I. Présentation de la zone d'étude

I.1 Introduction :

Avant tout projet de protection contre les inondations, il faut inspecter le site afin de déterminer les caractéristiques physiques du site et les facteurs qui influencent la conception du projet. Cette étude consiste à analyser les caractéristiques physiques de la commune (relief ; climat, ...).

I.2 Généralité :

I.2.1 Situation à l'échelle nationale :

La wilaya d'Oum EL Bouaghi se situe dans les hauts plateaux au centre de l'est algérien à 500 km nord-est de la capitale **Alger**, elle s'étale sur une superficie de **6187.96 km²** et regroupe 29 communes encadrées par 12 daïras. D'un nombre d'habitants de 570763 habitants en 2002 soit une densité de 92 habitants au Km².

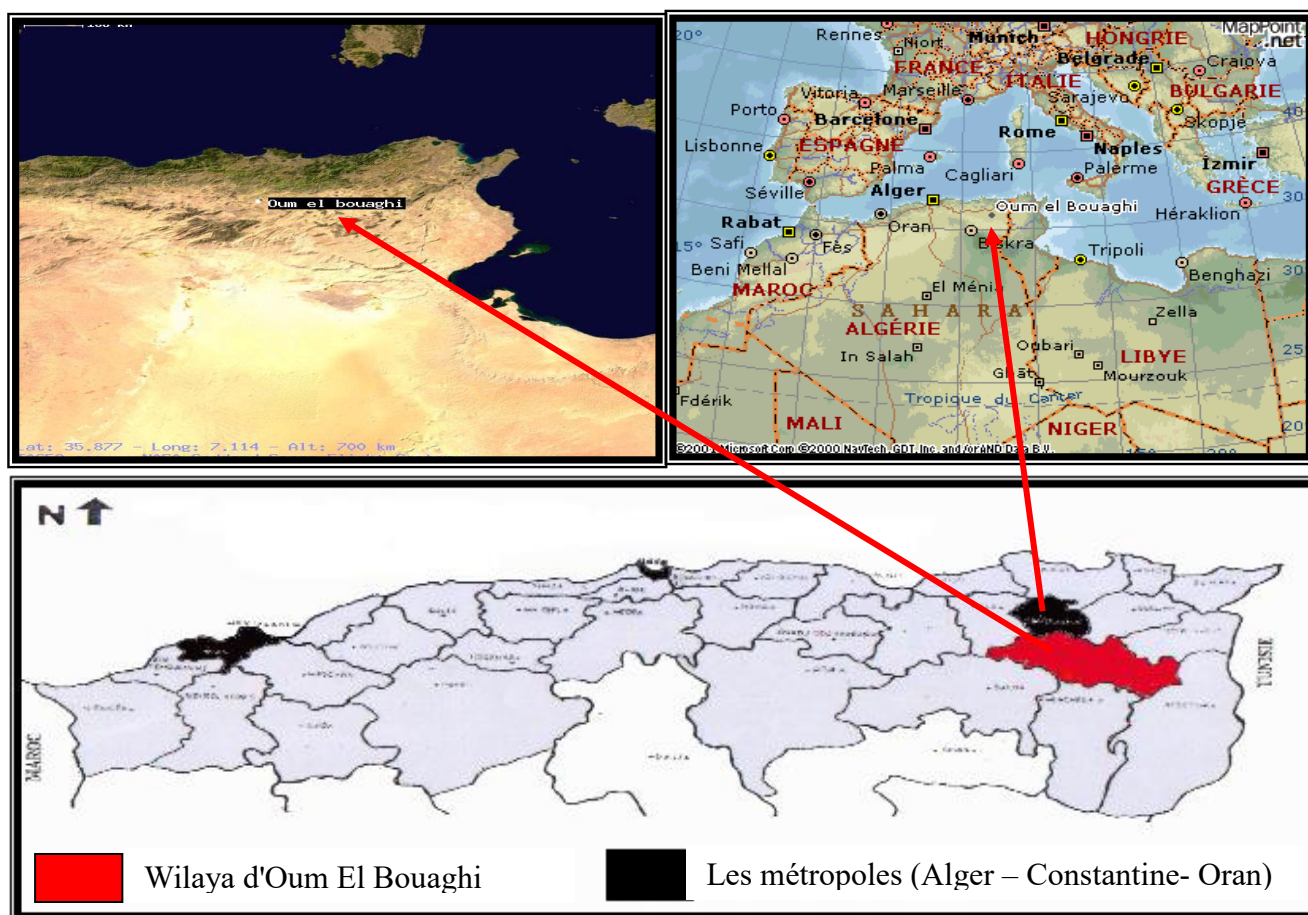


Figure I.1 : Situation géographique de la wilaya d'Oum El Bouaghi

I.2.2 Situation de la commune d'Oum El Bouaghi dans le territoire de la wilaya :

Oum El Bouaghi, chef-lieu de sa wilaya reste parmi les petites villes de l'Est Algérien elle est la plus petite par rapport aux chefs lieu de wilaya de l'Est Constantine Batna, Sétif, Guelma, Khenchela, en effet elle n'était qu'un village lorsqu'on a décidé de faire d'elle un chef-lieu de wilaya lors du découpage de 1974 jusqu'à l'entrée en service des nouveaux chefs lieu de wilaya.

La commune d'Oum El Bouaghi est située au centre de la wilaya. Elle comporte le centre (le chef-lieu) d'une population de 11.41% de la population de la wilaya et d'une densité de 158.19h/Km² et 4 agglomérations secondaires : Touzline, village Sidi R'ghiss, Bir Khachba et village Abasse Laghrour (fid souar).

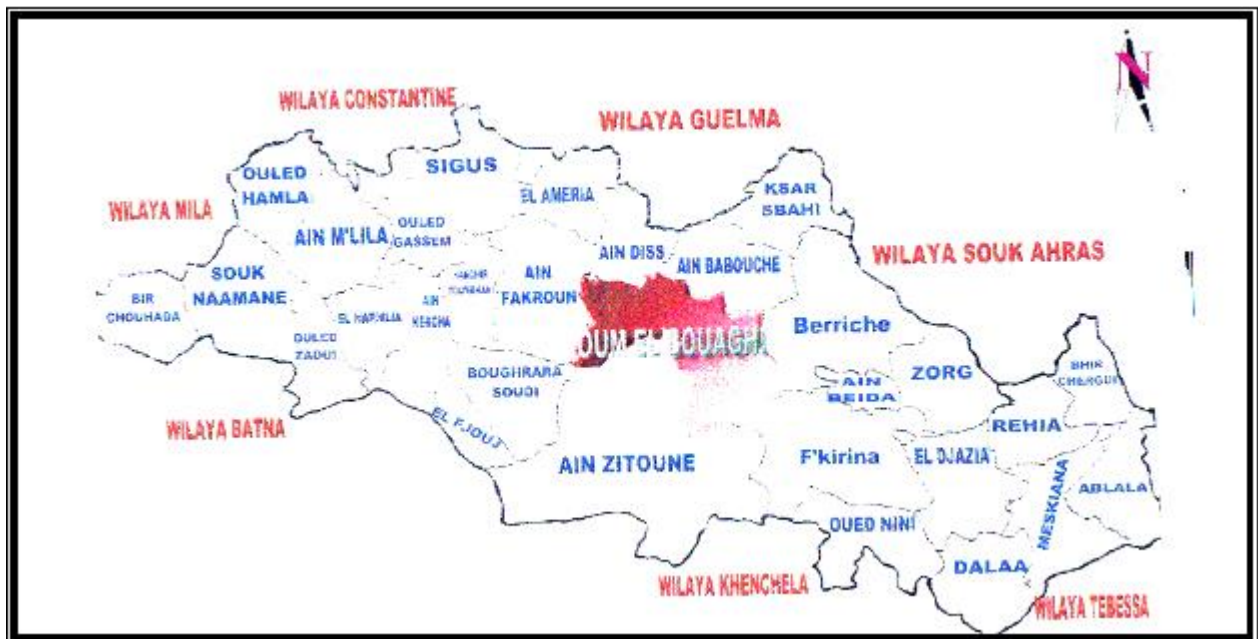


Figure I.2 : Situation de la ville d'Oum El Bouaghi dans la wilaya.

Oum El Bouaghi est un territoire de hautes terres, perchées entre 800 et 1 000 m d'altitude. Celles-ci occupent 80% de sa superficie totale, elles sont cependant interrompues par des dépressions salées.

Les montagnes qui n'occupent que 13% de sa superficie, sont des horsts zonaux profondément percés dans la structure et font partie des Aures de l'est, très plissées et très accidentées.

Le territoire de la wilaya est constitué de vallées qu'interrompent, dans sa partie sud, des Sebkhates salées sauf celle de Timerganine au sud-ouest entre Aïn Zitoun et Bougrara Saoudi.

Oum el Bouaghi compte trois principales Sebkhates ou encore appelées Chotts. Elles sont situées principalement dans la daïra d'Oum el Bouaghi. Ces zones humides sont d'importance mondiale.

Enfin au sud de la wilaya, elle est jalonnée par des dépressions endoréiques (Garet) plus connues sous l'appellation de Sebkhate (lac salé). Les Garetts sont moins salées que les Sebkhates.

La Wilaya D'Oum el Bouaghi, il ne tombe plus alors que 350 à 400 mm /an de précipitations. Pour information c'est l'une des régions les plus arrosées en juillet de toute l'Algérie avec une moyenne de 9 mm de précipitations pour ce mois à Oum el Bouaghi et 19 mm à Meskiana.

I.3 Données naturelles du site :

I.3.1 Situation géologique :

Dans le domaine géologique il y a deux grandes zones se déciment.

- Au nord et à l'ouest, les structures relativement complexes les bouleversements.
- Au sud, le djebel Taraf appartient déjà la zone simplement plissée de l'autochtone nord Aurasien.

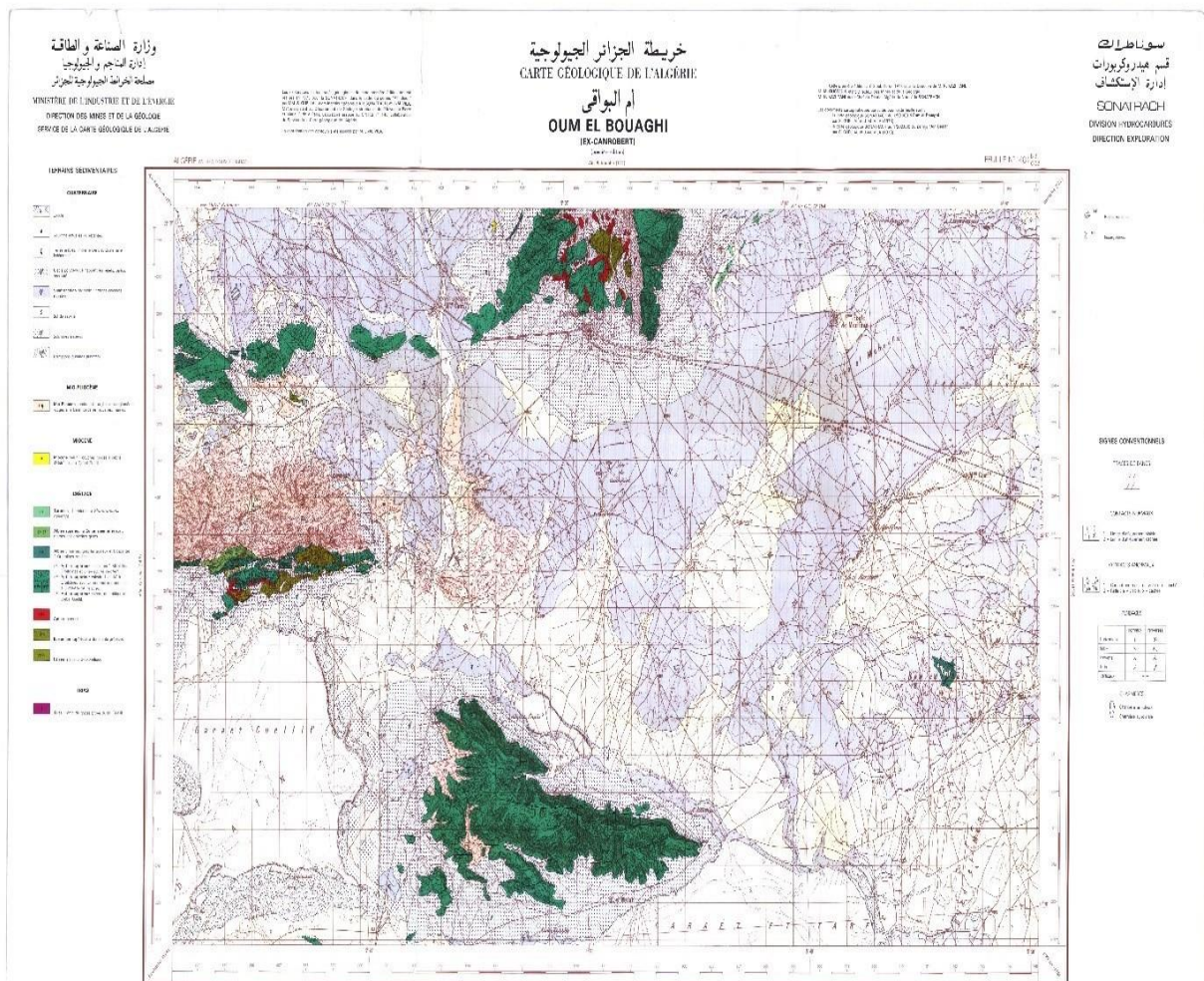


Figure I.3: Carte géologique de la zone d'étude

I.3.2 La topographie :

La topographie joue un rôle décisif dans la conception du projet étant donné que l'évacuation se fait généralement par gravité.

La ville d'Oum El Bouaghi est située au pied de Djebel Sidi R'Ghiss à la cote 925 mNGA. Du point de vue géographique, le territoire communal se présente sous forme de grandes plaines parsemées de reliefs isolés et se présentent en deux grands ensembles :

Un ensemble montagneux au nord et qui culmine à 1635m d'altitude à forte pente (Djebel Sidi R'ghiss). La nature du terrain est argileuse, caillouteuse et dénudée.

Un paysage collinaire à sud culminant 808m, il s'agit de la continuité du Djebel Garaa Ettarf d'où les pentes du terrain à l'aval sont très faibles.

Comme le relief en amont, a des pentes très abruptes, ce qui entraîne l'apparition des eaux des crues avec violence tout en provoquant un charriage important d'où colmatage et obturation partielle ou totale du système d'évacuation à l'aval, ce qui entrainera l'inondation de plusieurs parties de la ville.

La dénivelée entre la montagne et la ville est d'environ 500m.

La topographie inclinée et des pentes faibles 0/3%.

I.3.3 Sismicité :

Le centre de la commune d'Oum El Bouaghi est situé dans la zone « I », zone caractérisée par une faible intensité sismique.

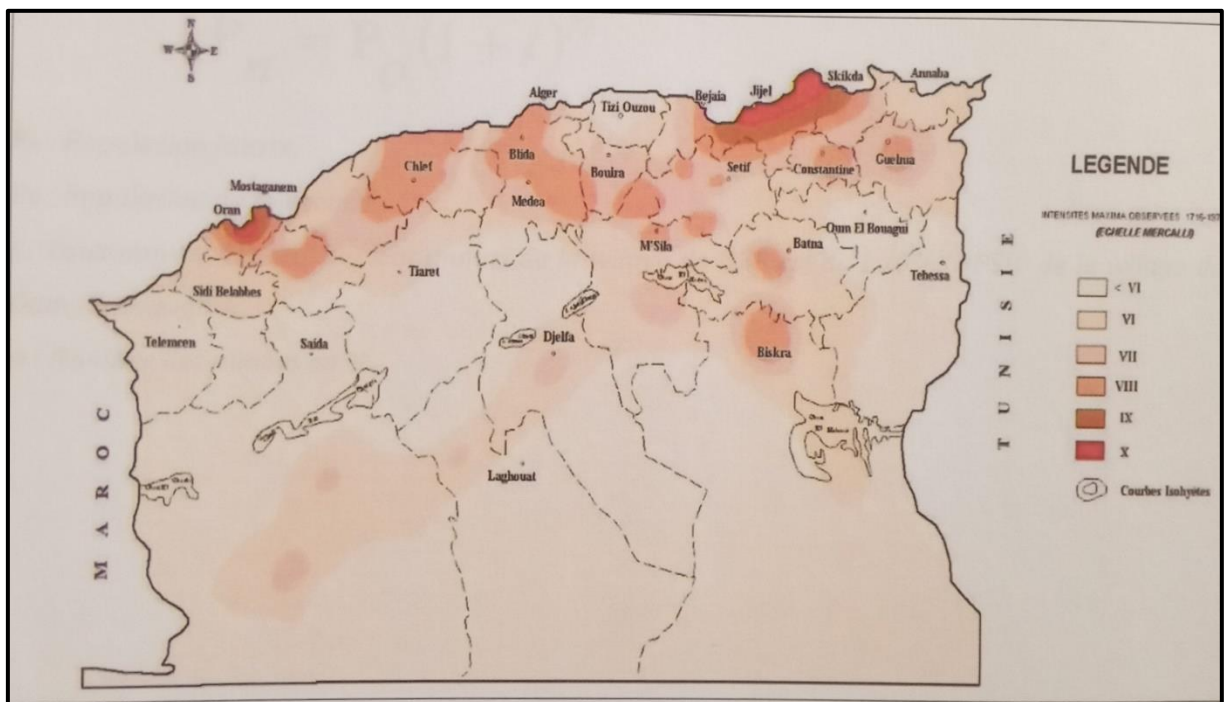


Figure I.4: Carte de classement des zones sismiques.

I.4 Situation climatologique :

Le climat de la région d'Oum EL Bouaghi est un climat de type continental rude, avec amplitudes thermiques diurnes et annuelles, une irrégularité des précipitations annuelles, une fréquence du gel en hiver et une forte aridité en été.

Les pluies sont faibles dans la région, la station pluviométrique enregistre un moyen inter annuelle d'environ 382mm, les températures varient entre 0°C et 40°C, le nombre de jours de gelée est de 44 jours /an l'hiver et le printemps sont caractérisés par des gelées blanches, parfois importantes et néfastes aux cultures.

I.4.1 Température :

L'Algérie a le sirocco, un vent chaud et sec qui souffle du désert du Sahara. Ce phénomène particulier provoque une élévation de la température maximale en conjonction avec la diminution de l'humidité. Dans le tableau I.1, nous pouvons voir que le mois le plus chaud est juillet avec une température mensuelle moyenne de 25,5 °C et le mois le plus froid est janvier avec une température mensuelle moyenne de 5,1 °C. La température moyenne annuelle est de 14°C.

I.4.2 Pluviométrie :

La ville d'Oum El Bouaghi est située dans une région aride et a une courte saison des pluies, qui dure pratiquement de décembre à mai. Les pluies sont moins fréquentes dans les mois restants, mais elles sont généralement fortes et de courte durée.

Pour bien caractériser le climat de notre zone d'étude, nous avons exploité une série de pluie sur une période de référence de 31 ans, relevée de la station météorologique d'Oum El Bouaghi. Nous avons opté pour le poste climatologique qui porte la codification 070718, puisque il est analogue et proche du lieu d'étude, en sus, il dispose de données complètes et fiables concernant la pluviométrie de la région. Cette station climatologique est gérée par l'Office National de la Météorologie (ONM d'Algérie).

Tableau I.1: Paramètres climatiques pour l'année 2021

Mois Année 2021	Temp moy mini °C	Temp moy max °C	Temp moy normale °C	Précipitation en mm	Taux % Humidité	Vitesse Moy des vents m/s
Janvier	02.06	13.50	07.80	07.80	68	03.70
Février	03.03	17.60	10.30	02.40	58	02.60
Mars	03.01	16.10	09.60	09.00	67	01.70
Avril	07.50	21.40	14.10	30.20	63	02.30
Mai	12.10	27.00	19.50	74.00	62	02.20
Juin	18.50	34.20	26.50	07.40	43	02.20
Juillet	19.30	37.40	28.40	00.20	39	01.30
Aout	19.80	37.10	28.30	28.90	41	1.00
Septembre	17.30	31.90	24.10	09.80	54	02.70
Octobre	09.50	21.80	15.40	21.00	60	02.70

I.5 Conclusion :

Ce chapitre présente des données sur l'agglomération d'un point de vue géologique, géomorphologique, géographique, pétrologique et climatologique.

CHAPITRE. II
ETUDE HYDROLOGIQUE

CHAPITRE II. Etude hydrologique

II.1 Caractéristiques morphologiques du bassin versant :

Les caractéristiques morphométriques du bassin versant de la ville d'Oum El Bouaghi (Figure II.1) ont été obtenus grâce à un MNT (Model Numérique Terrain).

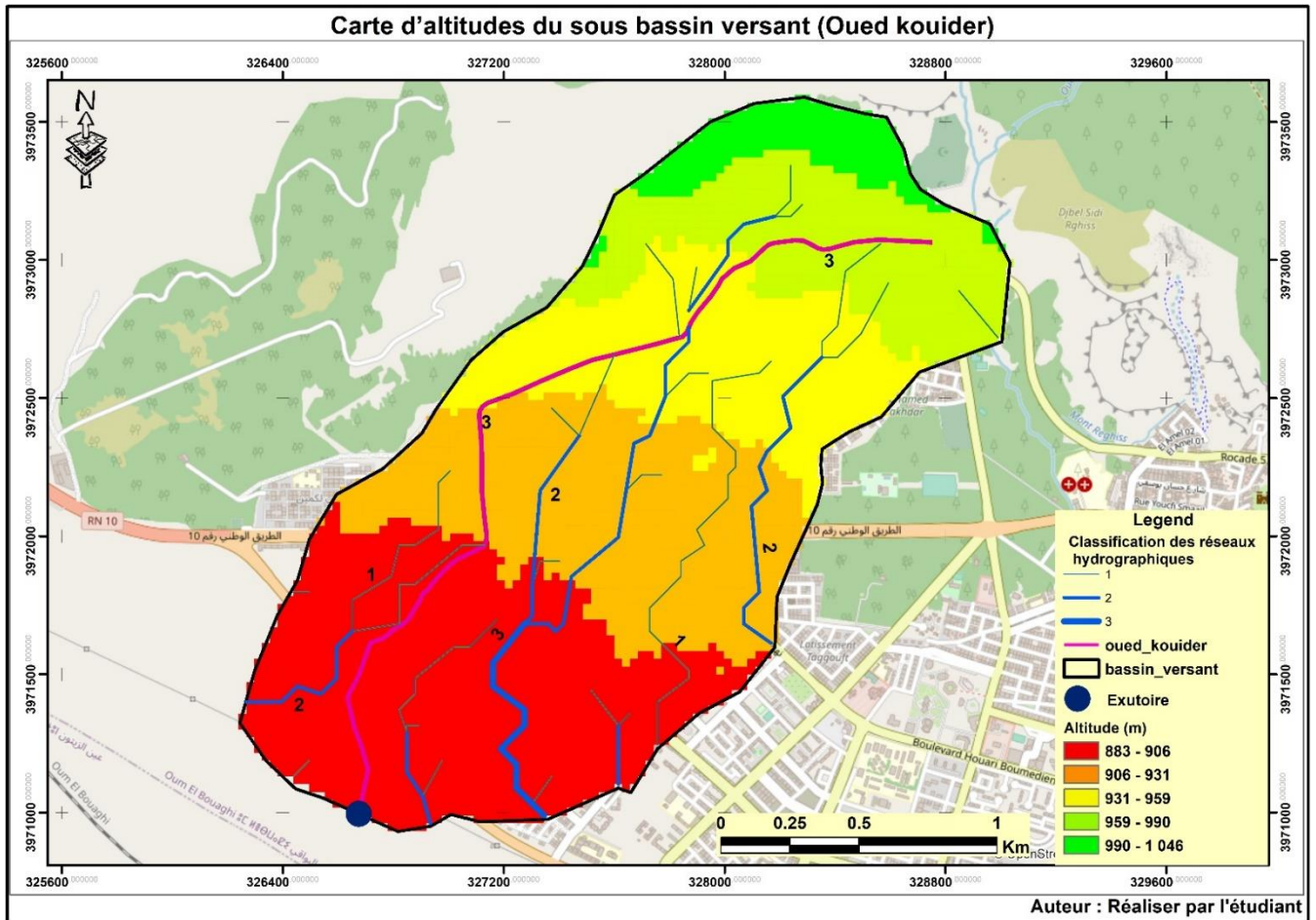


Figure II.1 : Bassin versant de la zone d'étude

II.1.1 La surface :

La surface topographique est le paramètre le plus important, il permet de contrôler l'intensité de plusieurs phénomènes hydrologiques (apports, volumes de précipitations ou infiltrations).

a surface du bassin étudié est estimée à :

$$S = 3.90 \text{ km}^2$$

II.1.2 Le périmètre :

Le périmètre correspond à la limite extérieure du bassin. Chaque bassin réagit d'une façon propre aux précipitations qu'il reçoit. Ces caractéristiques hydrologiques sont fonctions d'une part du climat qu'il subit et d'autre part de son pope milieu physique. Le périmètre est estimé à :

$$P = 8.42 \text{ km}$$

II.1.3 Indice de compacité de Gravelius :

$$K_c = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{S}}$$

Avec :

- **P** : périmètre du bassin versant (km).
- **A** : surface du bassin versant (km²).

$$K_c = 1.19$$

$K_c = 1.19 > 1$ alors le bassin versant est de forme allongée.

II.2 Relief :

Le relief a une influence remarquable sur l'écoulement, car de nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude et la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement. Le relief se détermine au moyen d'indices et de courbes. La figure II.2 représente le relief de la zone d'étude.

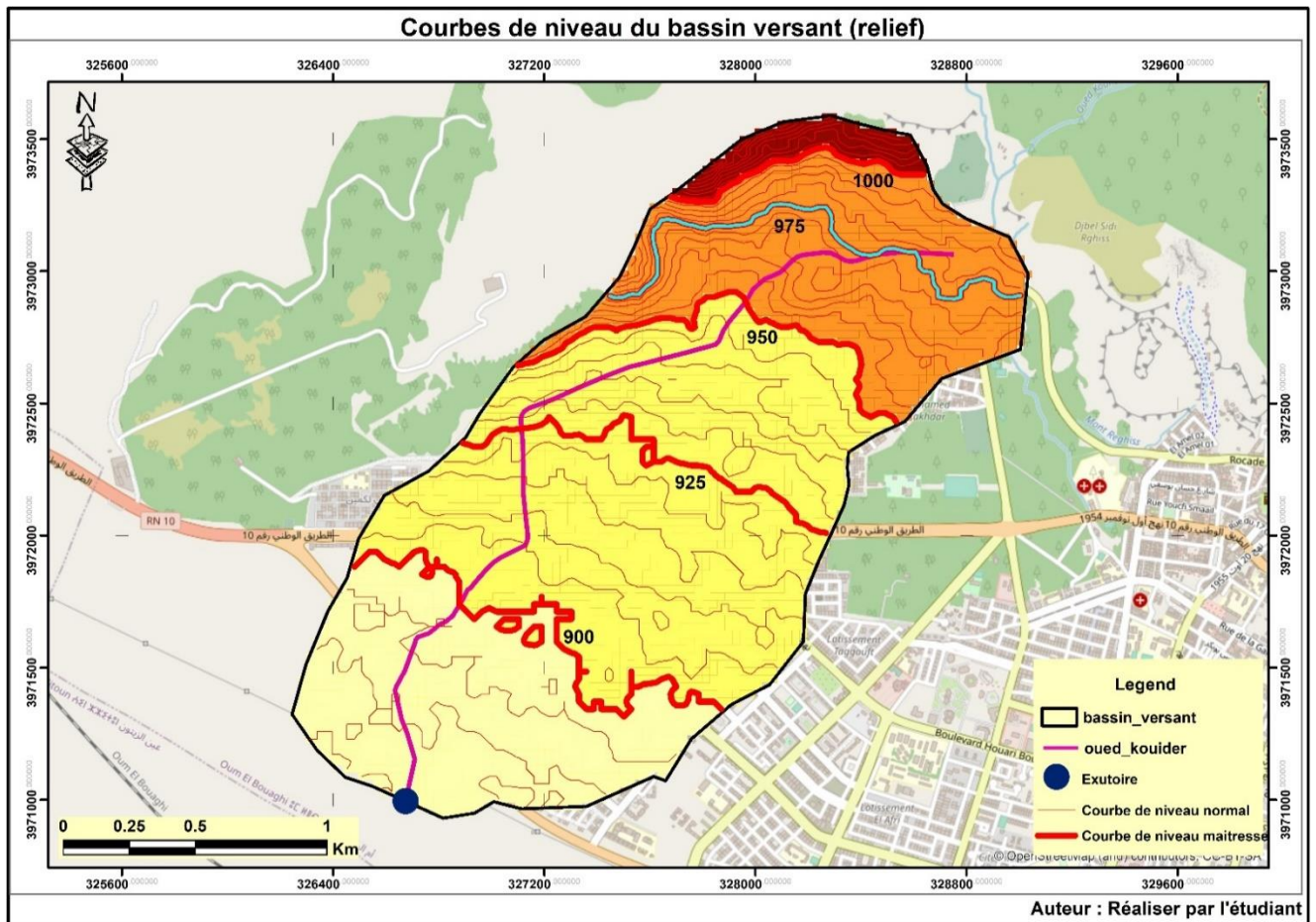


Figure II.2: Courbes de niveau du bassin versant (relief)

Les altitudes des courbes de niveau principales indiquent que le relief montagneux couvre toute la partie nord du bassin, l'exutoire se trouve à une altitude proche de 887 m.

II.2.1 Répartitions et courbe hypsométrique :

La courbe hypsométrique est l'un des paramètres les plus essentiels dans l'étude du relief elle fournit une vue synthétique de la pente. Elle représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface ou le pourcentage de surface du bassin qui se trouve au-dessus de l'altitude représentée en ordonnée (tableau II.1). Elle exprime la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie au-delà d'une certaine altitude.

Tableau II.1: Répartition altimétrique du bassin versant

Classes d'altitude (m)	Surfaces partielles Si (Km ²)	Surfaces partielles (%)	Surfaces cumulées (%)
883-900	0.977	25	100
900-950	1.873	48	75
950-1000	0.931	24	27
1000-1046	0.121	3	3
Somme	3.902	100	-

La courbe hypsométrique formée à partir des données du tableau II.1 est représentée par la figure II.3 suivante. :

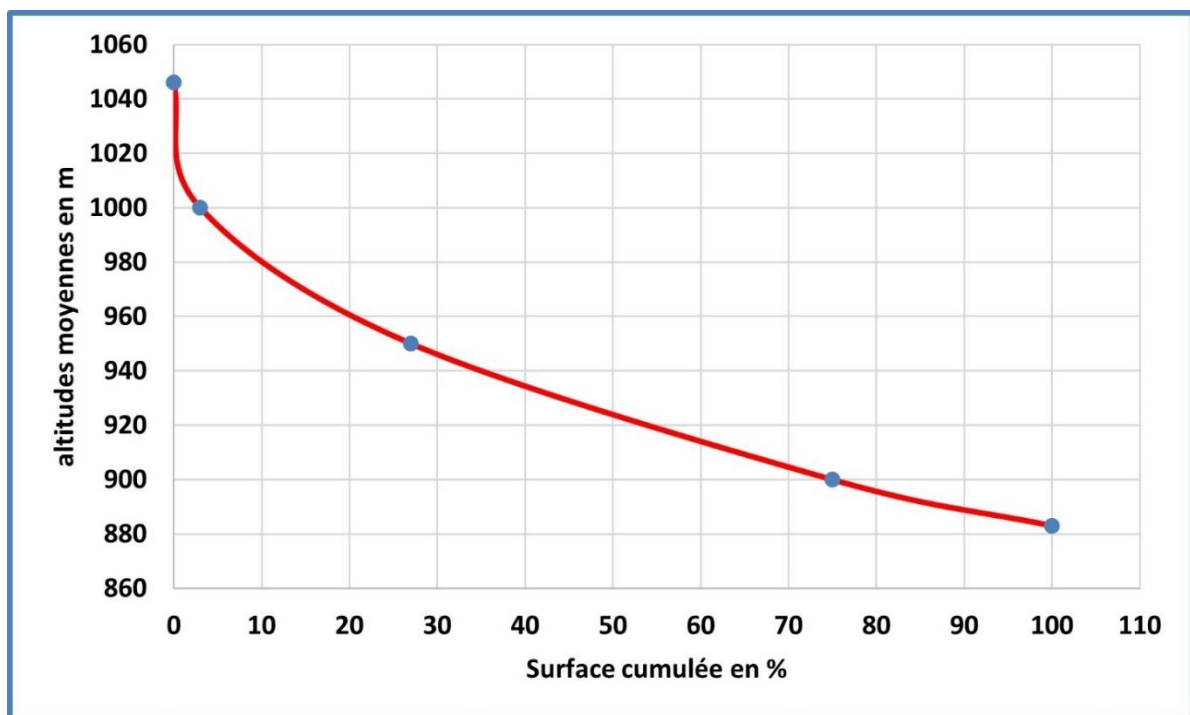


Figure II.3: Courbe hypsométrique du bassin versant.

II.2.2 Les altitudes caractéristiques :

Les altitudes caractéristiques s'obtiennent à l'aide des cartes topographiques :

- **L'altitude maximale** : représente le point le plus élevé du bassin versant.
- **L'altitude minimale** : représente le point le plus bas du bassin versant.
- **L'altitude médiane ($H_{50\%}$)** : est déterminé à partir de la courbe hypsométrique.
- **L'altitude moyenne H_{moy}** : est calculée par la formule suivante :

$$H_{moy} = \frac{H_i + S_i}{S_t}$$

Sachant que:

$$H_i = \frac{H_{n+1} + H_n}{2}$$

Avec :

- **H_i** : Altitude moyenne entre deux courbes de niveaux consécutives en m.
- **S_i** : surface partielle comprise entre deux courbes de niveaux consécutives en Km^2 .
- **S** : surface totale du bassin versant en Km^2 .

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau II.2 suivant :

Tableau II.2: Les altitudes caractéristiques

Les altitudes caractéristiques	Les valeurs correspondantes en m
Altitude maximale	1046
Altitude minimale	883
Altitude médiane	925

II.2.3 Indice de pente global I_g :

Il est défini comme étant le rapport entre l'altitude comprise entre 5% et 95% de la surface du bassin et la longueur du rectangle équivalent.

Les altitudes correspondantes au pourcentage de surface 5% et 95% sont lues sur la courbe hypsométrique.

L'indice de pente globale est donné par la formule suivante :

$$I_g = \frac{D}{L_{eq}} = \frac{D_{5\%} - D_{95\%}}{L_{eq}}$$

Avec :

- **D** : dénivelée entre H95% et H5% en (m)
- **Leq** : longueur du rectangle équivalent en Km.
- **H95% et H5%** : sont respectivement les altitudes correspondantes à S95% et S5%.
- Les résultats du calcul sont dans le tableau II.3.

Tableau II.3: Indice de pente global

H5% (m)	H95% (m)	H5%- H95%	Leq (Km)	Ig (m/m)	Classification
990	885	105	2.80	0.0375	Relief modéré

II.2.4 Pente moyenne du bassin versant :

Elle est calculée par la formule suivante :

$$P_{moy} = \frac{\Delta H * \sum L_i}{S}$$

Avec :

- P_{moy} : Pente moyenne du bassin versant %.
- ΔH : Dénivelée entre deux courbes de niveau (m).
- L_i : Longueur de la courbe de niveau d'ordre 1, 2,3..., n (m).
- S : Surface totale du bassin versant.

Le tableau II.4 résume les résultats obtenus :

Tableau II.4: Pente moyenne du bassin versant

S (km ²)	ΔH (m)	Li (km)	Pmoy %
3.902	5	57.13	7.32

II.2.5 Dénivelée spécifique D_s :

Elle sert à comparer les indices du bassin de superficie différente, d'après la deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M appliquée à tout le bassin quel que soit sa superficie.

Elle est calculée par la formule suivante :

$$D_s = D * \sqrt{\frac{l}{L_{eq}}}$$

Avec :

- D_s : Dénivelée spécifique.

- D : Dénivelée entre H5% et H95% (m)
- L_{eq} : Longueur du rectangle équivalent (Km).
- l : Largeur du rectangle équivalent (Km).

Les résultats sont représentés dans le tableau II.5 suivant :

Tableau II.5: Dénivelée spécifique.

D (m)	L_{eq} (Km)	l (Km)	D_s (m)	Classification
105	2.80	1.30	71.54	Relief assez fort

II.3 Caractéristiques du réseau hydrographique :

II.3.1 Définition :

Le réseau hydrographique est constitué d'un ensemble de chenaux qui drainent les eaux de surface vers l'exutoire du bassin versant.

L'étude du chevelu hydrographique est utile dans la comparaison des bassins entre eux. Dans certains cas il est suffisant d'étudier le talweg principal et de l'utiliser dans la comparaison.

Le réseau hydrographique est caractérisé par trois éléments : sa hiérarchisation, son développement (nombres et longueurs des cours d'eau) et son profil en long.

II.3.2 Densité de drainage :

La densité de drainage, est définie comme étant le rapport de la longueur totale de tous les talwegs L_i du bassin, et la surface totale S . Elle reflète la dynamique du bassin, la stabilité du chevelu hydrographique et le type de ruissellement de surface. Elle est exprimée en Km^{-1} .

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{S}$$

Avec :

- D_d : densité de drainage [km/km^2] ;
- L_i : Somme des longueurs de tous les talwegs y compris le talweg principal [km] ;
- S : superficie du bassin versant [km^2].

$$D_d = 3.44 Km^{-1}$$

II.3.3 La pente moyenne du cours d'eau principale :

La pente moyenne du cours d'eau principal permet de déterminer la vitesse d'écoulement vers l'exutoire. Une pente douce ou nulle laisse l'eau s'infiltrer dans le sol tant dis qu'une forte pente facilite l'écoulement superficiel. Elle est donnée par la formule suivante :

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

Avec :

- **I** : pente moyenne du cours d'eau principal %
- **D** : Dénivelée entre H_{\max} et H_{\min} (m).
- **L** : Longueur du cours d'eau principal (Km).

Les données sont résumées dans le tableau II.6 :

Tableau II.6: Pente moyenne du cours d'eau principal

H_{max}	H_{min}	D	Lc	I%
1046	883	163	3.56	4.57

II.3.4 Le temps de concentration :

Le temps de concentration t_c des eaux pour un bassin se définit comme la plus grande durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier, Il est composé de trois termes différents :

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

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

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

Le temps de concentration t_c est donc égal au maximum de la somme de ces trois termes, soit

$$T_c = \max (\Sigma (T_h + T_r + T_a))$$

Théoriquement, on estime que t_c est la durée comprise entre la fin de la pluie nette et la fin du ruissellement. Pratiquement le temps de concentration peut être déduit des mesures sur le terrain ou s'estimer à l'aide des formules le plus souvent empiriques (Bénina 2004).

Le tableau II.7 présentes les résultats obtenus d l'application des formules empiriques.

Tableau II.7: Temps de concentration pour les différents auteurs.

Auteurs	Formules	Temps de concentration (min)
Ventura	$0.1272 * \frac{\sqrt[3]{S}}{\sqrt{I}}$	70.46

Turazza	$0.108 * \frac{\sqrt[3]{S * L}}{\sqrt{I}}$	72.23
Formule de CALIFORNIA	$0.1452 * \left(\frac{L}{\sqrt{I}}\right)^{0.77}$	75.92
Giandotti	$\frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$	112.29

Avec :

- **S** : Surface du bassin versant (Km²).
- **L_t** : Longueur du talweg principal (Km).
- **H_{moy}** : L'altitude moyenne du bassin versant (m).
- **H_{min}** : L'altitude minimale du bassin versant (m).
- **I** : Pente moyenne du talweg principal.

Parmi les résultats obtenus dans le tableau II.7 nous optons pour le résultat issu de loi de Giandotti car c'est la formule qui tient compte de la majorité des paramètres géomorphologiques du bassin versant.

Donc : $T_c = 112.29 \text{ min} = 1.87 \text{ h}$

II.3.5 Vitesse moyenne de ruissellement V_r :

Cette vitesse est donnée par la formule :

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

- **L** : Longueur de talweg principal en [Km];
- **T_c** : temps de concentration en [heure] ;

$$V_r = 1.90 \text{ Km/h}$$

Le tableau III.8 résume les caractéristiques du bassin versant et du cours d'eau.

Tableau II.8: Caractéristiques du bassin versant

Caractéristiques du bassin versant	
1. Morphométrie	
Surface (Km ²)	3.902
Périmètre (Km)	8.42
Longueur du rectangle (km)	2.80
Largeur du rectangle (km)	1.30
Indice de compacité de Gravelius	1.19

2. Relief	
Altitude maximale (m)	1046
Altitude moyenne (m)	961.23
Altitude minimale (m)	883
Altitude médiane (m)	925
Indice de pente globale (%)	3.75
Dénivelé spécifique (m)	71.54
Pente moyenne du bassin versant (%)	7.32
3. Réseau hydrographique	
Ordre du cours d'eau	3
Densité de drainage (Km ⁻¹)	3.44
Pente moyenne du cours d'eau principale (m/Km)	4.57
Temps de concentration (h)	1.87
Vitesse de ruissellement (Km/h)	1.90

II.4 Analyse des données pluviométriques :

II.4.1 Pluie moyenne annuelle :

Avant d'évaluer les précipitations sur les bassins versant nous avons analysé les données disponibles au niveau de la station pluviométrique.

L'estimation de la pluie moyenne est faite à partir d'une station pluviométrique.

- Nous donnons les valeurs brutes de la série pluviométrique à partir du tableau ci-dessous

Tableau II.9:La pluviométrie moyenne mensuelle.

Mois Années	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuel
	Précipitation en mm et dixième (Pluie)												
1991/92	29,0	80,0	17,5	15,2	34,1	43,0	70,7	67,5	79,1	7,0	15,3	5,0	463,4
1992/93	10,5	6,5	79,7	125,6	0,0	36,6	35,7	9,0	39,4	13,6	15	10,0	381,6
1993/94	5,0	11,5	9,3	81,2	32,5	20,3	13,2	31,4	14,4	0,0	0,0	6,0	224,8
1994/95	30,2	72,3	4,5	23,0	85,0	9,0	52,5	15,5	11,8	62,0	0,0	4,0	369,8
1995/96	188,7	37,0	32,0	22,0	122,0	136,0	46,0	58,0	66,0	35,0	34,0	15	791,7
1996/97	8,0	9,0	2,5	12,0	30,2	10,0	34,0	40,3	6,0	26,5	4,0	4,5	187,0
1997/98	35,6	50,8	72,6	50,2	3,3	23,9	28,0	47,8	48,7	23,0	0,6	17,7	402,2
1998/99	69,0	23,5	94,0	24,0	43,2	9,5	17,0	26,0	8,0	33,6	2,7	25,9	376,4
1999/00	55,0	12,0	17,8	18,0	7,6	5,0	15,0	13,7	87,0	39,0	0,0	44,0	314,1
2000/01	46,5	19,5	10,1	46,1	50,5	10,5	12,0	36,5	36,0	0,0	0,0	4,0	271,7
2001/02	50,1	17,2	35,7	8,8	57,0	10,4	12,7	20,8	44,4	0,0	0,0	2,9	260,0
2002/03	48,7	28,7	98,2	53,7	9,9	18,4	15,7	31,8	12,1	11,8	16,9	87,9	433,8
2003/04	22,9	60,5	16,8	82,9	151,9	37,3	37,0	103,6	21,2	29,3	14,6	10,2	588,2
2004/05	14,7	11,9	138,3	138,7	31,5	8,7	51,0	21,0	126,9	87,0	0,0	35,3	665
2005/06	33,4	5,4	13,9	38,1	25,2	39,4	15,3	25,3	2,2	19,5	11,2	11,0	239,9
2006/07	19,9	29,1	11,3	89,7	74,6	52,9	8,8	57,1	88,5	6,4	13,2	8,0	459,5
2007/08	53,1	30,4	14,3	24,8	11,1	14,8	59,5	48,3	38,3	4,7	0,0	14,4	313,7
2008/09	67,7	42,2	15,3	35,4	7,1	23,0	42,8	18,4	75,7	16,0	27,4	39,9	410,9
2009/10	73,9	24,0	4,2	20,0	78,8	19,1	66,4	97,2	51,1	1,1	5,2	34,0	475,0
2010/11	26,5	31,4	67,6	17,8	58,2	15,0	35,4	50,6	49,2	37,8	5,3	10,9	405,7
2011/12	60,2	69,2	3,8	33,5	16,8	99,9	38,1	63,9	110,1	18,4	10,0	4,7	528,6
2012/13	29,3	20,5	12,5	4,4	32,8	51,0	37,2	32,6	44,9	4,4	12,2	14,3	296,1
2013/14	49,3	22,1	53,1	18,1	31,6	38,3	23,7	29,3	20,4	3,1	42,8	55,0	386,8
2014/15	11,5	14,2	8,9	60,5	41,0	21,4	99,3	5,8	56,7	14,4	00	3,4	337,1
2015/16	8,4	47,2	42,2	0,2	46,3	51,9	49,9	3,1	21,4	7,9	27,0	67,4	372,9
2016/17	18,7	3,5	30,0	21,4	17,1	5,8	28,0	38,1	36,4	4,8	0,0	1,2	205,0
2017/18	3,0	22,0	38,1	10,0	48,1	13,4	6,4	21,0	14,0	51,1	6,0	3,0	236,1
2018/19	27,8	116,6	4,1	5,9	30,0	18,0	39,0	26,2	103,4	3,1	3,6	29,5	407,2
2019/20	67,9	53,3	59,7	24,7	39,5	37,5	65,2	40,2	38,2	17,2	7,0	52,8	503,2
2020/21	76,4	13,0	21,6	49,8	13,3	0,0	79,5	40,0	31,9	16,8	1,4	4,0	347,7
2021/22	9,8	21,0	12,0	31,1	7,8	2,4	9,0	30,2	74,0	7,4	0,2	28,9	233,8

II.4.2 Pluies maximales journalières :

Les pluies maximales journalières de rares fréquences sont des pluies génératrices des crues d'importants débits, contre lesquels il faut protéger l'ouvrage.

Tableau II.10: Pluies journalières maximales observées à la station

Années	$P_{j\max}$ (mm)	Années	$P_{j\max}$ (mm)
1991/92	80.0	2006/07	89.7
1992/93	125.6	2007/08	59.5
1993/94	81.2	2008/09	75.7
1994/95	85.0	2009/10	97.2
1995/96	188.7	2010/11	67.6
1996/97	40.3	2011/12	110.1
1997/98	72.6	2012/13	51.0
1998/99	94.0	2013/14	55.0
1999/00	87.0	2014/15	99.3
2000/01	50.5	2015/16	67.4
2001/02	57.0	2016/17	38.1
2002/03	98.2	2017/18	51.1
2003/04	151.9	2018/19	116.6
2004/05	138.7	2019/20	67.9
2005/06	39.4	2020/21	79.5
		2021/22	74.0

Tableau II.11:Caractéristiques de la série avec N= 31an

Caractéristiques	Formules	Valeurs
Année d'observation	-	31
Minimum	$Min(i = 1; n = 31)$	38.1
Maximum	$Max(i = 1; n = 31)$	188.7
Moyenne	$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n=31} X_i}{n}$	83.54
Somme	$\sum_{i=1}^{n=31} X_i$	2589.80
L'écart type « σ » Pour n >30 ans	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n=31} (X_i - \bar{X})^2}{n}}$	34.4
Coefficient de variation « Cv » :	$Cv = \frac{\sigma}{\bar{X}}$	0.411

Remarque :

L'exposant climatique pour notre région ($b = 0.30$) est donné par l'A.N.R.H de Constantine. L'étude consiste à faire un ajustement pour la série de données des précipitations maximales journalières par une loi théorique afin de déterminer une intensité de pluie de durée et de période de retour donnée.

Dans notre étude on suit les étapes suivantes :

- Classer la série des précipitations par ordre croissant.
- Calcule de la fréquence expérimentale.
- Calcule des caractéristiques empiriques de la série de donnée.
- Ajuster graphiquement la loi choisie.
- Calculer le quantile et son intervalle de confiance.

La représentation des observations sur du papier normale e leurs histogramme sont présentées dans les figures II.4 et II.5 respectivement :

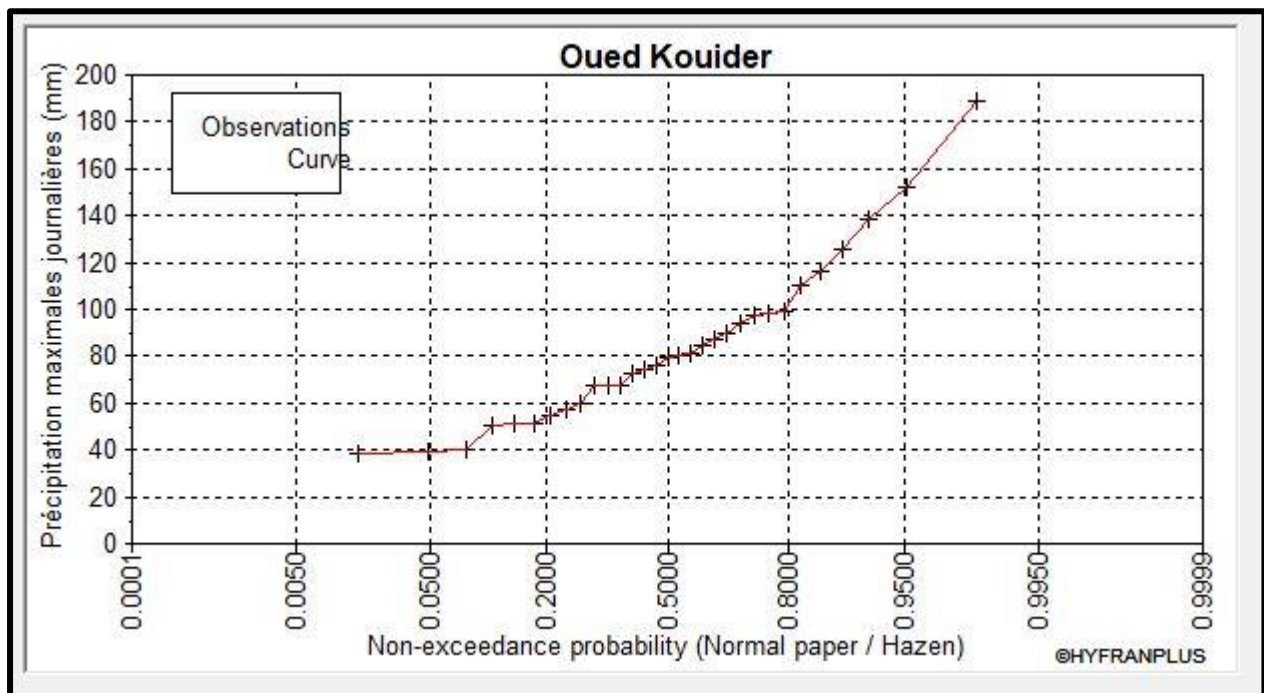


Figure II.4: Représentation des observations sur papier normale

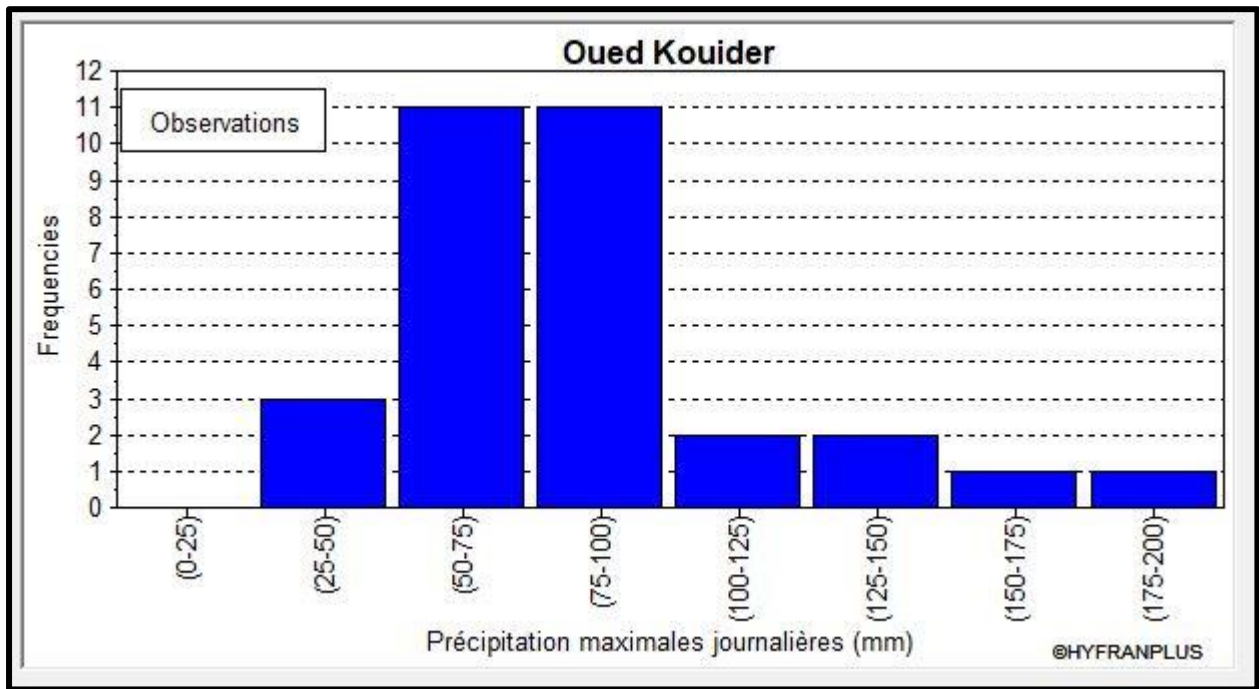


Figure II.5 : Histogramme des observations

II.4.3 Choix de la loi d'ajustement :

Comme il existe plusieurs méthodes d'ajustement des séries pluviométrique, l'efficacité d'une méthode d'estimation dépend de la loi de probabilité, de la taille de l'échantillon et de certaines caractéristiques de l'échantillon. Toutefois, de nombreuses études, autant empiriques que théoriques, ont été menées afin de déterminer dans quelles circonstances une méthode d'estimation la plus efficace pour une loi donnée.

Dans notre étude on va appliquer les deux lois suivantes :

- La loi de GUMBEL.
- La loi de GALTON (log-normale).

L'ajustement des pluies maximales journalières sera fait par logiciel « Hyfran-Plus ».

II.4.3.1 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL :

Cette loi a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante :

$$f(y) = e^{-e^{-y}}$$

Avec :

$y = \frac{1}{a}(x - x_0)$: Variable réduite de Gumbel.

$1/a$: La pente de la droite de Gumbel.

x : Précipitation maximale journalière (mm).

x_0 : Ordonnée à l'origine en (mm).

On peut écrire : $y = -\ln(-\ln(f(x)))$

✓ **Gumbel (Méthode des moments) :**

Nombre d'observations : 31

❖ **Paramètre :**

Mu = 68.0818, alpha = 26.784

❖ **Quantiles :**

q = F(X) (probabilité au non-dépassement)

T = 1/ (1-q)

Les résultats d'ajustement obtenus par la loi de GUMBEL sont représentés dans le tableau II.12 suivants :

Tableau II.12:Résultats de l'ajustement à la loi de GUMBEL

Période de retour	Fréquence au non dépassement	Valeurs théoriques	Ecart-type	Intervalle de confiance
T(ans)	Q	XT (mm)	δ	95%
1000	0.9990	253	35.7	183 - 323
100	0.9900	191	24.2	144 - 239
50	0.9800	173	16.3	132 - 213
20	0.9500	148	20.8	116 - 180
10	0.9000	128	12.9	103 - 154
5	0.8000	108	9.54	89.6 - 127
2	0.5000	77.9	5.66	66.8 - 89.0

❖ **Test d'homogénéité :**

Test d'adéquation du Khi carré.

• **Hypothèses :**

H_0 : L'échantillon provient d'une loi Gumbel ;

H_1 : L'échantillon ne provient pas d'une loi Gumbel.

• **Résultats :**

Résultat de la statistique : $X^2 = 2.19$

P-value : P = 0.7002

Degrés de liberté : 4

Nombre de classes : 7

❖ **Conclusion :** Nous pouvons accepter H_0 au niveau de signification de 5%.

La figure II.3 illustre l'ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL (Méthode des moments).

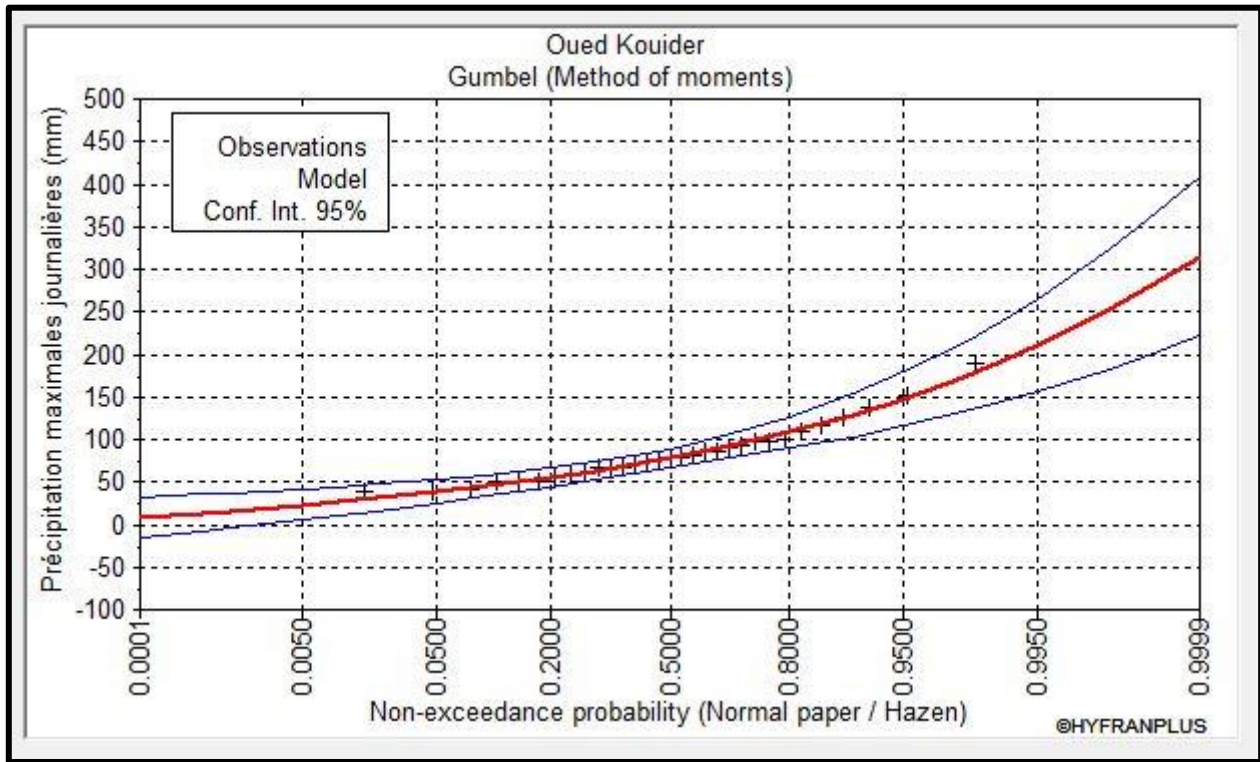


Figure II.6:Ajustement à la loi de GUMBEL

II.4.3.2 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON (log-normale) :

Une variable aléatoire X a une distribution log normale lorsqu' $Y = \ln X$ est Normale. La loi de Galton résulte de la loi normale mais rendue dissymétrique par un changement de variables.

Sa fonction de répartition est donnée par :

$$f(x) = n \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\mu}^{\infty} e^{-\frac{1}{2}\mu^2}$$

$$\mu = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \text{ (Variable réduite de GAUSS).}$$

L'équation de la droite de **GALTON** est donnée par la relation suivante :

$$\log x_{p\%} = \overline{\log x} + \partial \log \mu_{(p\%)}$$

Avec :

$\overline{\log x}$ la moyenne de la série $\log xi$.

δ : Ecart type de la série $\log xi$.

μ : variable réduite de Gauss.

$$\log x = \frac{\sum_{i=1}^{31} \overline{\log x_i}}{n}$$

GALTON (log-Normale) (Maximum des vrais semblances) :

Nombre d'observations : 31

❖ **Paramètre :**

Mu = 4.34988, Sigma = 0.392677

❖ **Quantiles :**

q = F(X) (probabilité au non-dépassement)

T = 1/ (1-q)

Les résultats d'ajustement obtenus par la loi de GALTON sont représentées dans le tableau II.13 suivant :

Tableau II.13: Résultats de l'ajustement à la loi de GALTON

Période de retour	Fréquence au non dépassement	Valeurs théoriques	Ecart-type	Intervalle de confiance
T(ans)	Q	XT (mm)	δ	95%
1000	0.9990	261	44.8	173 - 349
100	0.9900	193	26.5	141 - 245
50	0.9800	174	21.8	131 - 216
20	0.9500	148	16.1	116 - 179
10	0.9000	128	12.3	104 - 152
5	0.8000	108	8.89	90.4 - 125
2	0.5000	77.5	5.46	66.8 - 88.2

❖ **Test d'homogénéité :**

Test d'adéquation du Khi carré.

• **Hypothèses :**

H₀ : L'échantillon provient d'une loi log normal ;

H₁ : L'échantillon ne provient pas d'une loi log normal.

• **Résultats :**

Résultat de la statistique : $X^2 = 1.29$

P-value : $P = 0.8630$

Degrés de liberté : 4 , Nombre de classes : 7

❖ **Conclusion :** Nous pouvons accepter H_0 au niveau de signification de 5%.

La figure II.6 illustre l'ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON (log normal).

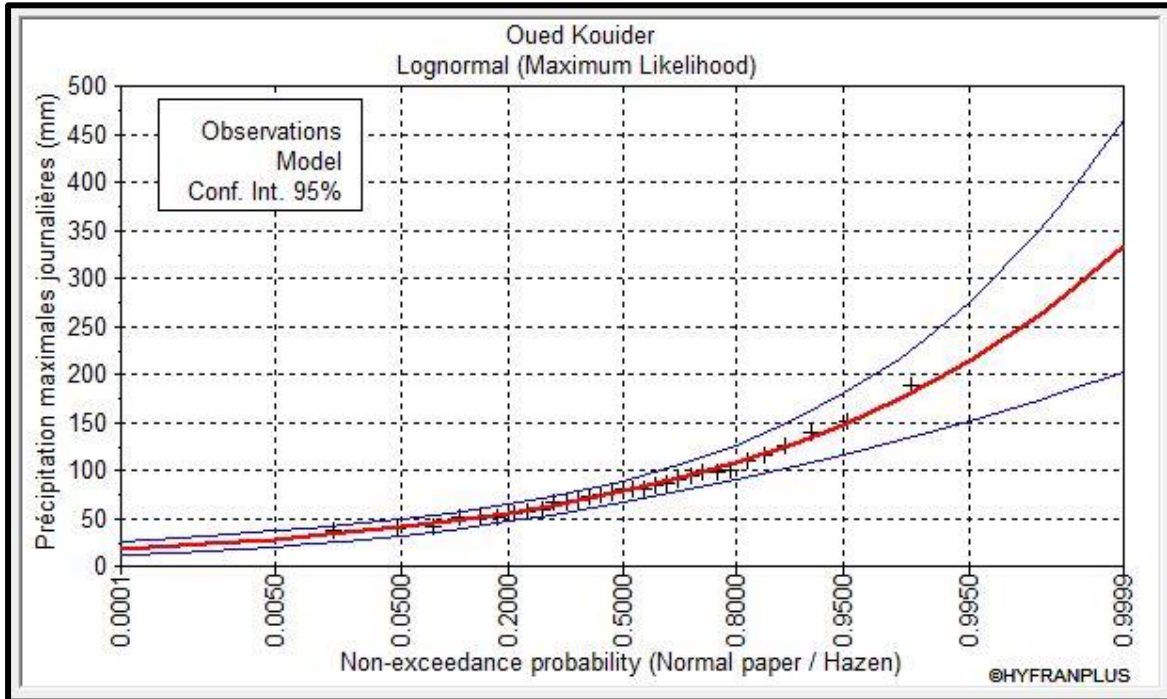


Figure II.7: Ajustement à la loi de GALTON

II.4.3.3 Comparaison entre les deux lois d'ajustement :

La figure II.7 montre la comparaison entre les deux lois d'ajustement (Loi de Gumbel et loi de Galton).

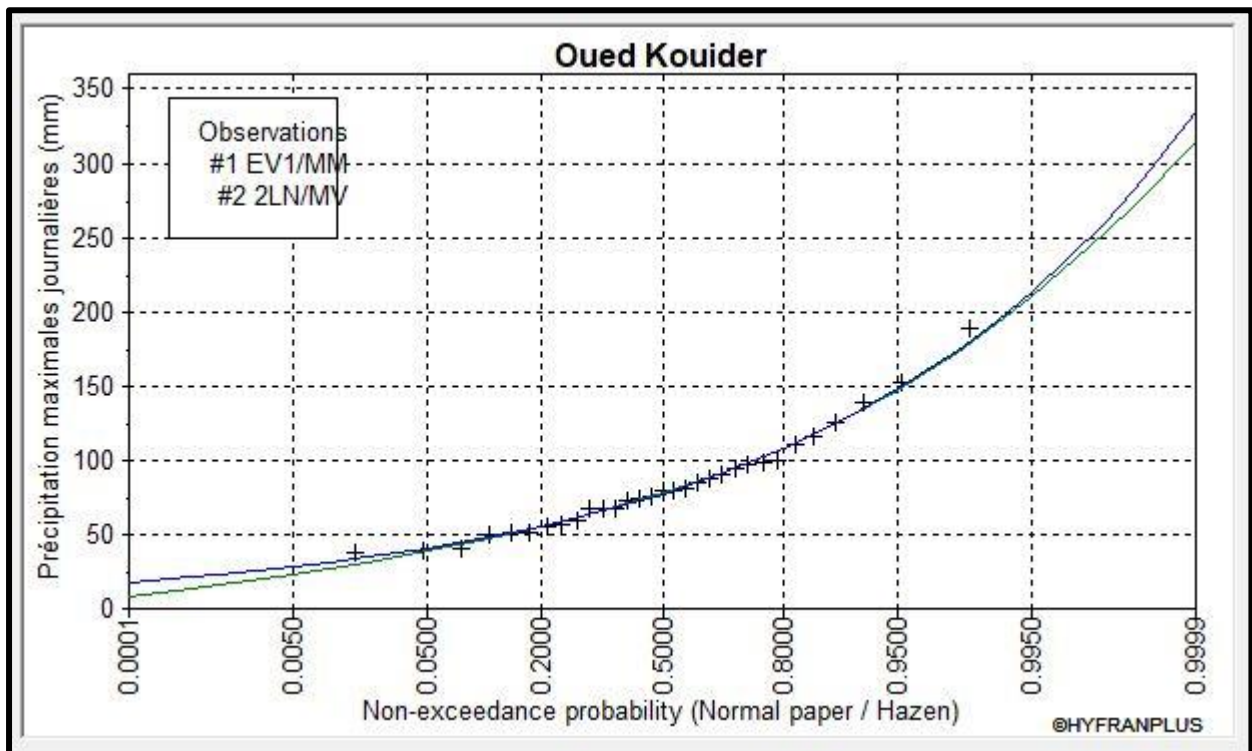


Figure II.8: Comparaison entre les deux lois d'ajustement

Par ces deux lois, celui de Gumbel et de Log-normal, nous remarquerons que l'ajustement de Gumbel établi par HYFRAN est le meilleur ; du moment que la position des données Expérimentales sont plus proches de la droite théorique, et pour le dimensionnement de notre ouvrage, nous travaillons avec une pluie d'intensité « I » pour une période de retour de 100 ans.

Les pluies journalières de périodes de retour (2, 5, 10, 25, 50, 100 et 1000) ans sont représentées dans le tableau (II.06).

Tableau II.14: Pluies maximales journalières fréquentielles.

Période de retour	Fréquence au non dépassement	Pluie journalière maximale fréquentielle (mm)
(ans)	(%)	Oued Kouider
2	0.500	77.9
5	0.800	108
10	0.900	128
20	0.950	148
50	0.980	173
100	0.990	191

II.5 Pluie de courte durée et leurs intensités à différentes Fréquences :

Les précipitations exceptionnelles (P_{ct}) de durée (t) inférieure à 24h (de courte durée) sont reliées à la précipitation journalière fréquentielle $P_{max,j}$ selon la relation de MONTANARI.

$$P_{ct} = P_{max,j} \left(\frac{t}{24} \right)^b$$

Avec :

- P_{ct} : La pluie de courte durée de fréquence égale à celle de $P_{max,j}$ en (mm) ;
- $P_{max,j}$: La pluie maximale journalière pour différentes fréquences ;
- t : la durée en heures ;
- b : L'exposant climatique ($b=0.30$ donné par l'ANRH).

Les intensités maximales de période t (h) et période de retour T (ans) sont calculées par la relation :

- I_t : l'intensité maximale de période t (h).
- P_{ct} : Pluies de courte durée (mm).

$$I_t = \frac{P_{ct}}{t}$$

Avec :

Les précipitations et les intensités maximales pour différentes durées sont représentées dans le tableau II.06 et les courbes des pluies fréquentielles ainsi que les courbes des intensités durée fréquences sont présentées respectivement par les figures II.07 et II.08.

Tableau II.15: Pluie de courte durée et leurs intensités à différentes fréquences.

Période de retour (ans)	1000 ans		100 ans		50 ans		20 ans		10 ans		5 ans		2 ans	
	t(h)	Pct	Imax	Pct	Imax	Pct	Imax	Pct	Imax	Pct	Imax	Pct	Imax	Pct
0.5	79.204	158.408	59.794	119.589	54.159	108.319	46.333	92.666	40.072	80.143	33.810	67.621	24.387	48.775
1	97.512	97.512	73.616	73.616	66.678	66.678	57.042	57.042	49.334	49.334	41.626	41.626	30.024	30.024
2	120.051	60.026	90.631	45.316	82.090	41.045	70.228	35.114	60.737	30.369	51.247	25.624	36.964	18.482
3	135.579	45.193	102.354	34.118	92.708	30.903	79.311	26.437	68.594	22.865	57.876	19.292	41.746	13.915
4	147.800	36.950	111.580	27.895	101.065	25.266	86.460	21.615	74.776	18.694	63.093	15.773	45.508	11.377
5	158.033	31.607	119.306	23.861	108.062	21.612	92.446	18.489	79.954	15.991	67.461	13.492	48.659	9.732
6	166.918	27.820	126.013	21.002	114.137	19.023	97.644	16.274	84.449	14.075	71.253	11.876	51.395	8.566
7	174.818	24.974	131.977	18.854	119.540	17.077	102.265	14.609	88.446	12.635	74.626	10.661	53.827	7.690
8	181.963	22.745	137.372	17.171	124.426	15.553	106.445	13.306	92.061	11.508	77.676	9.710	56.027	7.003
9	188.508	20.945	142.312	15.812	128.901	14.322	110.273	12.253	95.372	10.597	80.470	8.941	58.043	6.449
10	194.562	19.456	146.882	14.688	133.040	13.304	113.815	11.381	98.434	9.843	83.054	8.305	59.907	5.991
11	200.205	18.200	151.143	13.740	136.899	12.445	117.116	10.647	101.29	9.208	85.463	7.769	61.644	5.604
12	205.500	17.125	155.140	12.928	140.520	11.710	120.213	10.018	103.97	8.664	87.723	7.310	63.274	5.273
13	210.494	16.192	158.911	12.224	143.935	11.072	123.135	9.472	106.5	8.192	89.855	6.912	64.812	4.986
14	215.226	15.373	162.483	11.606	147.171	10.512	125.903	8.993	108.89	7.778	91.875	6.563	66.269	4.734
15	219.728	14.649	165.881	11.059	150.248	10.017	128.536	8.569	111.17	7.411	93.797	6.253	67.655	4.510
16	224.023	14.001	169.124	10.570	153.186	9.574	131.049	8.191	113.34	7.084	95.630	5.977	68.978	4.311
17	228.135	13.420	172.228	10.131	155.997	9.176	133.454	7.850	115.42	6.789	97.386	5.729	70.244	4.132
18	232.081	12.893	175.207	9.734	158.695	8.816	135.763	7.542	117.42	6.523	99.070	5.504	71.459	3.970
19	235.876	12.415	178.072	9.372	161.291	8.489	137.983	7.262	119.34	6.281	100.690	5.299	72.627	3.822
20	239.533	11.977	180.834	9.042	163.792	8.190	140.122	7.006	121.19	6.059	102.251	5.113	73.754	3.688
21	243.065	11.575	183.500	8.738	166.207	7.915	142.188	6.771	122.97	5.856	103.759	4.941	74.841	3.564
22	246.481	11.204	186.079	8.458	168.543	7.661	144.187	6.554	124.7	5.668	105.217	4.783	75.893	3.450
23	249.790	10.860	188.577	8.199	170.805	7.426	146.122	6.353	126.38	5.495	106.630	4.636	76.912	3.344
24	253.000	10.542	191.000	7.958	173.000	7.208	148.000	6.167	128	5.333	108.000	4.500	77.900	3.246

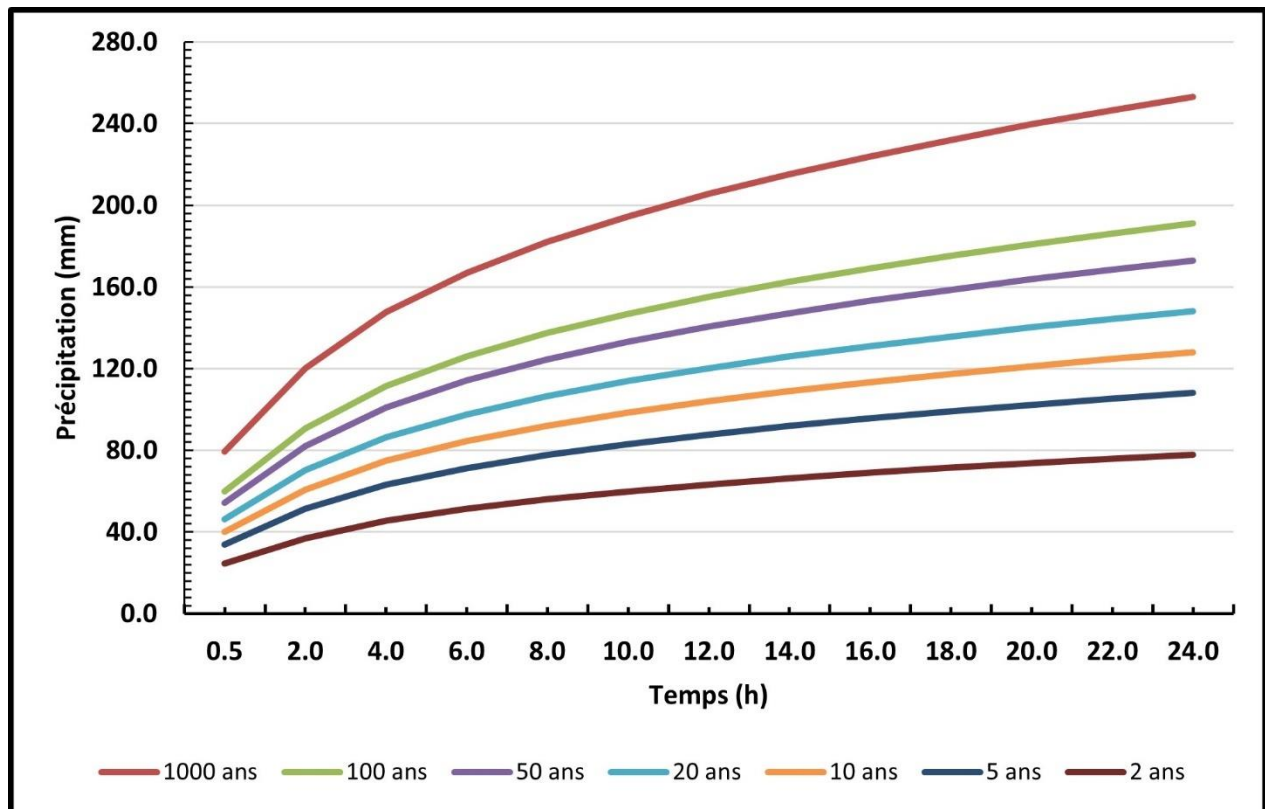


Figure II.9: Courbe Pluies de courte durée fréquentielle.

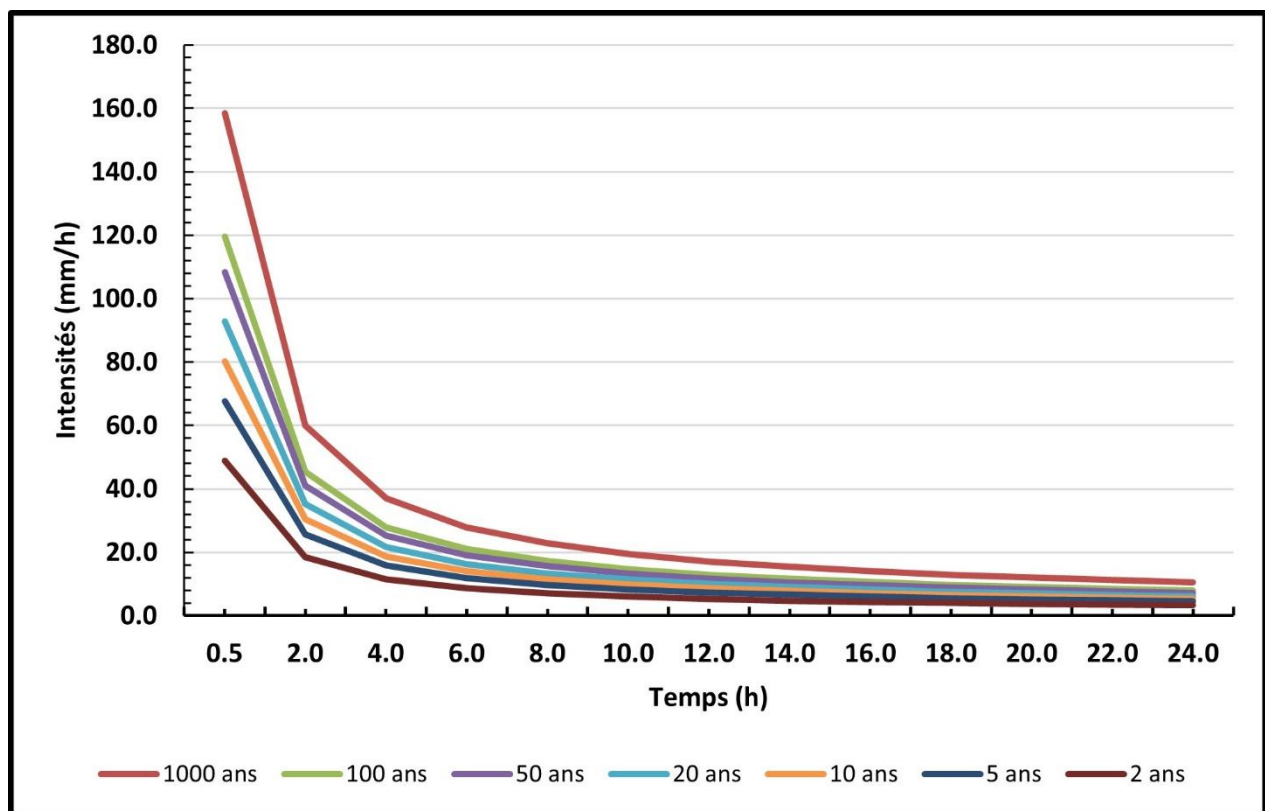


Figure II.10: Courbes des intensités- durées- fréquences.

II.6 Estimation empirique des débits de pointe et des hydrogrammes de crue :

Le débit maximum instantané Q_{max} peut être estimé pour différentes fréquences de retour à partir des nombre formules empiriques appliquées aux conditions de l'Algérie (formules de TURAZZA, GIANDOTTI, et SOKOLOVSKY) ces formules utilisent l'estimation de la pluie maximale journalière et celle pour une durée égale au temps de concentration (t_c).

II.6.1 Formules empiriques pour la détermination de la crue :

➤ Formule de TURAZZA :

La formule de TURAZZA tient compte des pluies maximales de courtes durées, de l'intensité des pluies, de la superficie et du temps de concentration.

$$Q_{maxf\%} = \frac{C_r * P_{tc} * S_{bv}}{3.6 * T_c}$$

Avec :

$Q_{max,f\%}$: Débit maximum pour une fréquence donnée (m³/s).

P_{tc} : pluie de courte durée pour un temps $t = T_c$ en (mm).

S_{bv} : superficie du bassin versant (Km²).

T_c : temps de concentration (heure).

C_r : coefficient de ruissellement. Avec un exposant climatique $b=0.3$

Les résultats de calcul pour les différentes périodes de retour sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau II.16: Débits instantanés de crues de diverses fréquences (Relation de TURAZZA)

Fréquence	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.999
Période de retour ; ans	5	10	20	50	100	1000
Pluie de courte durée	51.25	60.74	70.23	82.09	90.63	120.05
C_r	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90
$Q_{max,f\%}$ m ³ /s	67.516	86.175	106.757	133.109	156.144	218.995

➤ **Formule de GIANDOTTI :**

$$Q_{maxf\%} = \frac{0.66 * S_{bv} * P_{tc} \sqrt{H_{max} - H_{min}}}{4 * \sqrt{S_{bv}} + 1.5 * L_{cp}}$$

Avec :

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

S_{bv} : Superficie du bassin versant en (Km²)

H_{max} : Altitude maximale (m).

H_{min} : Altitude minimale (m).

L_{cp} : longueur du talweg principal (km).

P_{tc} : précipitation correspondante au temps de concentration (mm).

Les résultats de calcul pour les différentes périodes de retour sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau II.17: Débits instantanés de crues de diverses fréquences (Relation de GIANDOTTI)

Fréquence	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.999
Période de retour ; ans	5	10	20	50	100	1000
Pluie de courte durée	51.25	60.74	70.23	82.09	90.63	120.05
$Q_{max,f\%}$ m ³ /s	127.1	150.63	174.17	203.58	224.76	297.72

➤ **Formule de SOKOLOVSKY**

$$Q_{maxf\%} = \frac{C_r * P_{tc} * S_{bv}}{T_c}$$

Avec :

$Q_{max,f\%}$: Débit maximum pour une fréquence donnée (m³ /s).

P_{tc} : Pluie de courte durée de fréquence donnée, mm

S_{bv} : superficie du bassin versant en(Km²).

C_r : coefficient de ruissellement.

T_c : Temps de concentration ; Heure

Les résultats de calcul pour les différentes périodes de retour sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau II.18: Débits instantanés de crues de diverses fréquences (Relation de SOKOLOVSKY)

Fréquence	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.999
Période de retour ; ans	5	10	20	50	100	1000
Pluie de courte durée	51.25	60.74	70.23	82.09	90.63	120.05
Cr	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90
Q_{max,f} % m³/s	69.47	88.67	109.85	136.96	160.66	225.33

Résultats de calcul de toutes les formules sont représentés dans le **Tableau II.19**.

Tableau II.19: Tableau récapitulative des Débits instantanés de crues de diverses fréquences

Période de retour ; ans	5	10	20	50	100	1000
Fréquence	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.999
Turazza	67.516	86.175	106.757	133.109	156.144	218.995
Giandotti	127.1	150.63	174.17	203.58	224.76	297.72
Sokolovsky	69.47	88.67	109.85	136.96	160.66	225.33
Débit du projet adopté	69.47	88.67	109.85	136.96	160.66	225.33

Commentaire : D'après les résultats obtenus par les différentes méthodes de calcul de débit de crues, on adopte les valeurs de la formule de SOKOLOVSKY.

II.7 Conclusion

Les lois d'ajustement sont nombreuses et ne peuvent être appliquées à un échantillon que si les conditions d'homogénéités et stationnarités sont réunies.

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

CHAPITRE. III
DETERMINATION DE LA
LIGNE D'EAU ET DE
LIMITATION DES ZONES
INONDABLES

CHAPITRE III. Détermination de la ligne d'eau et de limitation des zones inondable

III.1 Introduction :

La détermination du niveau d'eau a pour but de délimiter la zone inondable le long de l'oued en cas de crue. A cet effet, les niveaux d'eau et les zones inondables sont déterminés en fonction de la section et du débit centennal de l'oued.

III.2 Synthèse et Diagnostique :

Oued Kouider est situé au nord du chef-lieu Oum el Bouaghi et mesure 4,7 km de long et 10 à 30 m de large, avec des remblais relativement bas sur les deux rives dont les dimensions sont variables tout le long de canal.

Il fait 4,7 km de long et n'est pas aménagé, à l'exception de quelques perrés maçonnés et des dalots destinés à faciliter la circulation des personnes et des véhicules à travers l'oued, limitant l'écoulement de la pluie et de l'eau. Il contient de la végétation et de grandes quantités de déchets, bloquant l'écoulement.





Figure III.1: Des dalots construits au niveau de l'oued pour faciliter la circulation des gens et des véhicules.

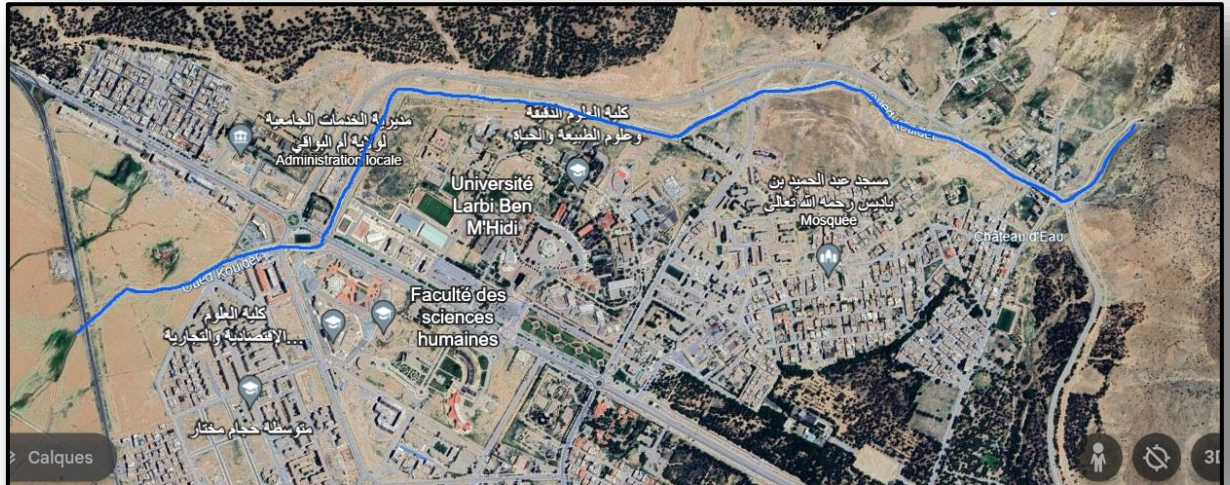


Figure III.2: Oued Kouider

III.3 Rappel des données principales (reconnaissance des lieux et collecte des données) :

Les paramètres morphologiques de bassin ont été montrés ci-dessous :

Tableau III.1: Caractéristiques de bassin versant pour la zone d'étude

Caractéristiques	SB
1- Morphométrie	
Surfaces (Km ²)	3.90
Périmètres (Km)	8.42
Longueurs de R-E (Km)	2.80
Largeurs de R-E (Km)	1.30
2- Les reliefs	
2.1- Les altitudes caractéristiques	
Altitudes max (m)	1046
Altitudes moyennes (m)	961.23
Altitudes min (m)	883
Altitudes 5 % (m)	990
Altitudes 95 % (m)	885
2.2- Indice de pente globale I_g (m/m)	0.0375
2.3- Les pentes moyennes des BV I_m (m/m)	0.0732
3- Le réseau hydrographique	
La densité de drainage D_d (Km/Km ²)	3.44
Longueurs des cours d'eau principale (Km)	3.56
Pentes moyennes des cours d'eau principal (m/m)	0.0457
Temps de concentration (h)	1.87
Vitesse moyenne ruissellement (Km/h)	1.90

Tableau III.2: Récapitulatif des résultats de débits de crues pour le bassin versant

Bassin versant	Débit de crues (m ³ /s)
BV1	160.66

III.4 Nature d'écoulement dans les canaux :

Les écoulements dans les cours d'eau naturels (rivières) et artificiels (irrigation, sanitaires) sont principalement des écoulements à surface libre. La surface libre est l'interface entre l'air et l'eau. La pression est généralement la même que la pression atmosphérique.

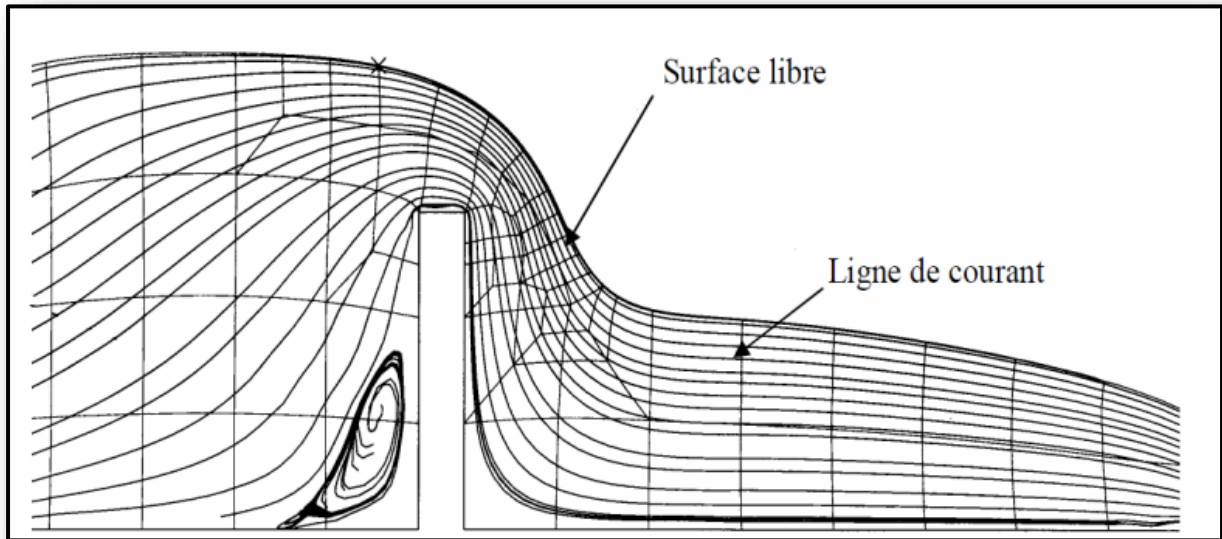


Figure III.3 : écoulement à surface libre

III.4.1 Type d'écoulement de surface :

L'écoulement de surface se réfère au mouvement de l'eau à la surface de la terre, généralement causé par des facteurs tels que la gravité, le vent, les pentes du terrain et les interactions avec les objets sur la surface.

III.4.1.1 Variabilité dans le temps :

Dans un écoulement permanent (stationnaire), les propriétés du fluide à un point donné restent constantes avec le temps. Les lignes de courant restent fixes, et il n'y a pas de changement significatif dans le temps. Le mouvement est non-permanent dans le cas contraire.

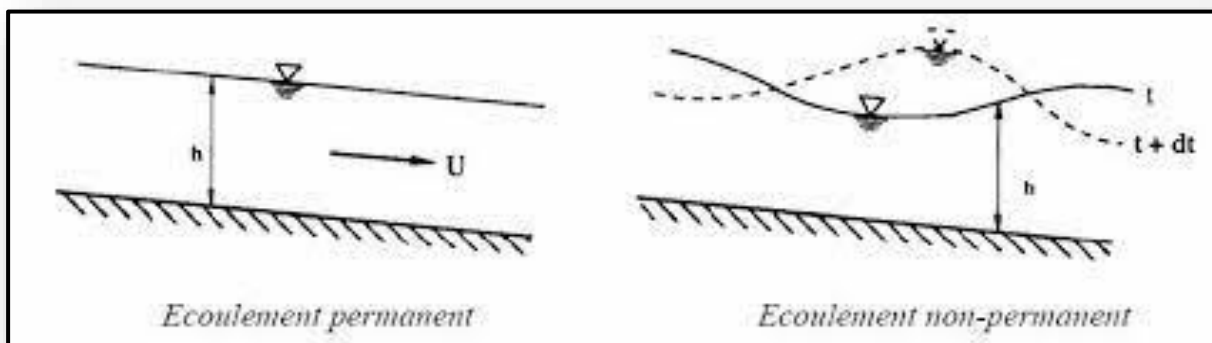


Figure III.4 : Types d'écoulements

III.4.1.2 Variabilité dans l'espace :

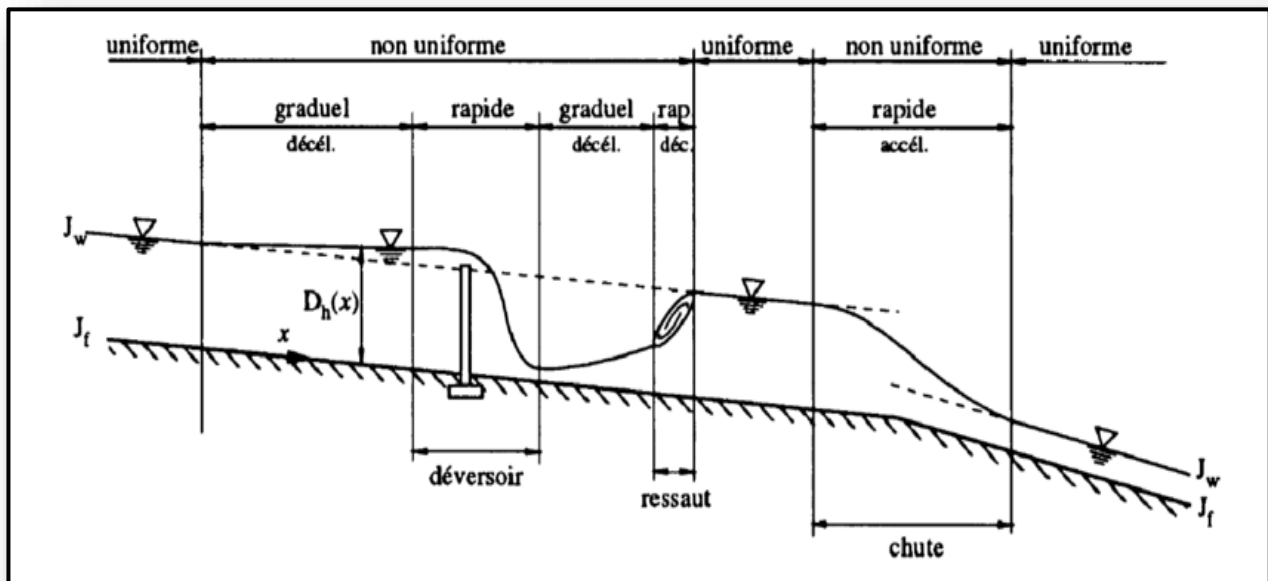


Figure III.5: Type d'écoulement (variabilité dans l'espace).

- Le mouvement est uniforme si les paramètres caractérisant l'écoulement restent constants dans toutes les parties du canal
- Le mouvement est non-uniforme ou variable si les paramètres caractérisant l'écoulement changent d'une section à l'autre.
- Lorsque le mouvement est lent et variable, la profondeur et d'autres facteurs varient d'une section à l'autre.
- Lorsque le mouvement est rapide et varié, les paramètres caractérisant l'écoulement changent brusquement, parfois avec des discontinuités.
- Notre travail s'appuie sur des cas plus ou moins pratiques d'écoulement stationnaire non uniforme.
- Pour notre étude on a basé sur le cas plus au moins pratique, celle de l'écoulement stationnaire non uniforme

III.4.2 Régime permanent graduellement varié :

Les rivières naturelles ont des caractéristiques assez hétérogènes, tant en ce qui concerne leur profil en long que leurs profils en travers : alternance de hauts fonds (seuils) et de bas-fonds (mouilles), présence ou non de dunes ou de rides, cours rectilignes ou sinueux, végétation sur les berges ou les bancs de sable, mais aussi présence d'ouvrage : ponts, seuils ou digues. Toutes ces hétérogénéités produisent des perturbations de l'écoulement qui s'écarte alors largement du régime

uniforme. Ces perturbations peuvent se faire sentir à plusieurs kilomètres de l'ouvrage. C'est le cas par exemple en amont d'un barrage qui barre la rivière et provoque une surélévation de la ligne d'eau ou encore d'un élargissement de la section d'écoulement qui provoque un abaissement de la ligne d'eau. Nous sommes donc très loin des conditions d'écoulement uniforme. Ainsi, un observateur positionné au droit d'un tronçon de rivière en régime permanent devra considérer que les conditions locales qu'il observe peuvent dépendre de conditions qui se trouvent en dehors de sa zone d'observation. L'écoulement dépend alors de " conditions aux limites ", intérieures ou plus généralement extérieures à la fenêtre d'observation. Ce type d'écoulement peut apparaître par exemple : - dans un canal de gabarit uniforme, à cause d'un seuil qui vient perturber l'écoulement ; - en rivière à cause d'une modification de gabarit, de la pente ou encore à cause de la présence d'un ouvrage. Il est alors qualifié de permanent graduellement varier.

III.5 Détermination de la ligne d'eau :

III.5.1 Caractéristiques des tronçons :

Les 23 axes ont été considérés le long de l'oued, sélectionnées en fonction du plan de l'oued ainsi que de l'uniformité du sol du lit de la rivière, (nous avons un canal aménagé en pierres sciées), les caractéristiques des sections sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau III.3: Les caractéristiques des tronçons

N° Tronçon	Longueur(m)	Pente (m/m)	Observation
01	209.818	0.045755	R. Torrentiel
02	145.296	0.033368	R. Torrentiel
03	337.851	0.019650	R. Torrentiel
04	292.987	0.037150	R. Torrentiel
05	329.236	0.025135	R. Torrentiel
06	256.287	0.073050	R. Torrentiel
07	263.693	0.022859	R. Torrentiel
08	248.83	0.011021	R. Torrentiel
09	223.028	0.010746	R. Torrentiel
10	177.901	0.059826	R. Torrentiel
11	247.469	0.064236	R. Torrentiel
12	123.206	0.027525	R. Torrentiel

13	160.296	0.010001	R. Torrentiel
14	168.802	0.099246	R. Torrentiel
15	184.635	0.009178	Fluvial
16	180.673	0.030722	R. Torrentiel
17	169.041	0.030313	R. Torrentiel
18	129.503	0.008121	R. Fluvial
19	144.991	0.017284	R. Torrentiel
20	155.846	0.010680	R. Fluvial
21	197.062	0.011915	R. Fluvial
22	98.93	0.004147	R. Fluvial
23	166.114	0.012699	R. Torrentiel

La détermination de la ligne d'eau est faite par le logiciel **HEC-RAS**.

III.5.2 Présentation de logiciel HEC-RAS :

HEC-RAS est un logiciel intégré pour l'analyse hydraulique qui permet de simuler les écoulements à surface libre. Il a été conçu par le Hydrologic Engineering Center du U.S Army Corps of Engineers. Il s'agit d'une nouvelle version d'un modèle hydraulique auparavant nommé HEC-2, qui comporte maintenant une interface graphique permettant d'éditer, modifier et visualiser les données d'entrée, de même qu'observer les résultats obtenus. Il est présentement utilisé dans plusieurs firmes d'ingénierie et organismes gouvernementaux. La version 3.1.3 de HEC-RAS permet de simuler les écoulements permanents et non permanents, le transport de sédiments et certaines fonctions facilitant la conception d'ouvrages hydrauliques.

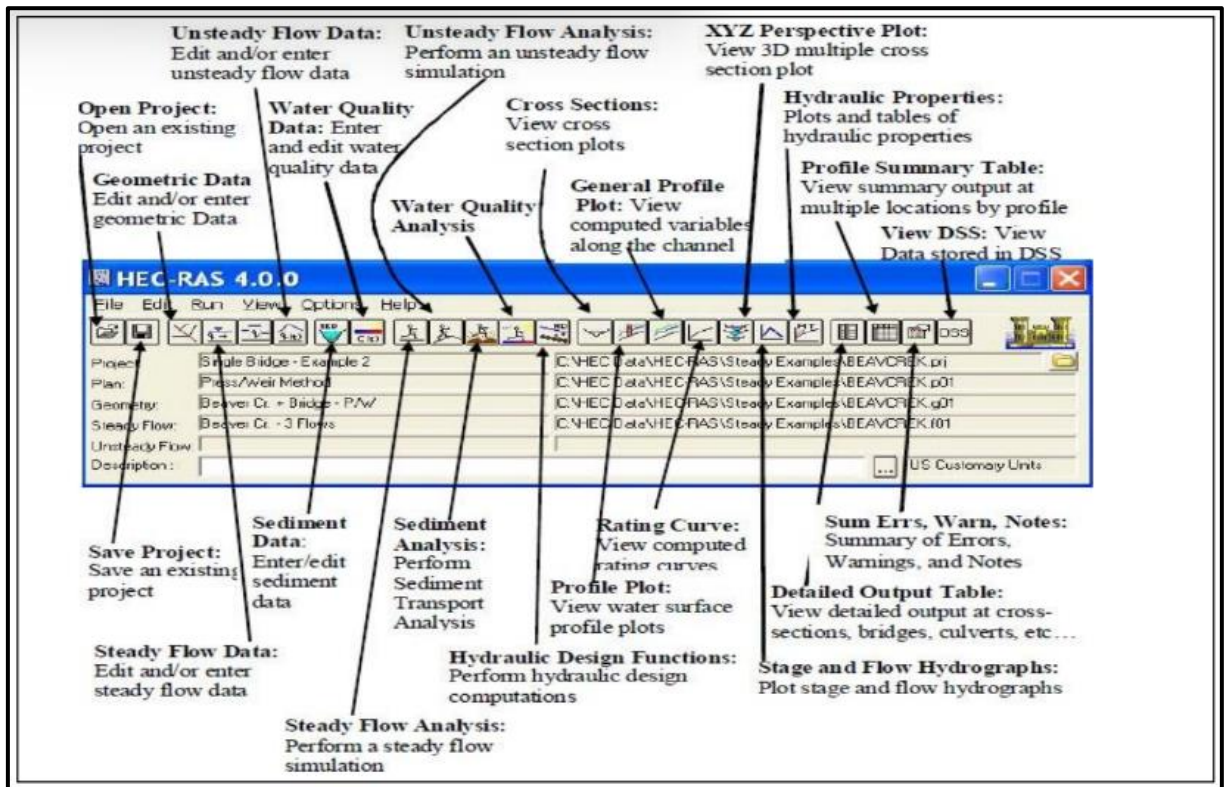


Figure III.6 : Aperçu général sur les icones de HEC-RAS.

III.5.2.1 Méthode de calcul en régime permanent de HEC-RAS :

Le calcul de la hauteur d'eau s'effectue de section en section à partir de l'équation énergétique avec un processus itératif. L'équation de l'énergie est :

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 \times V^2}{2 \times g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 \times V^2}{2 \times g} + h_e \dots (1)$$

Y1 et Y2, les hauteurs d'eau au niveau des sections,

Z1 et Z2, les côtes du fond du lit de sections,

V1 et V2, les vitesses moyennes au niveau des sections, et des coefficients de vitesse pour chaque section h_e , les pertes de charge entre les sections 1 et 2.

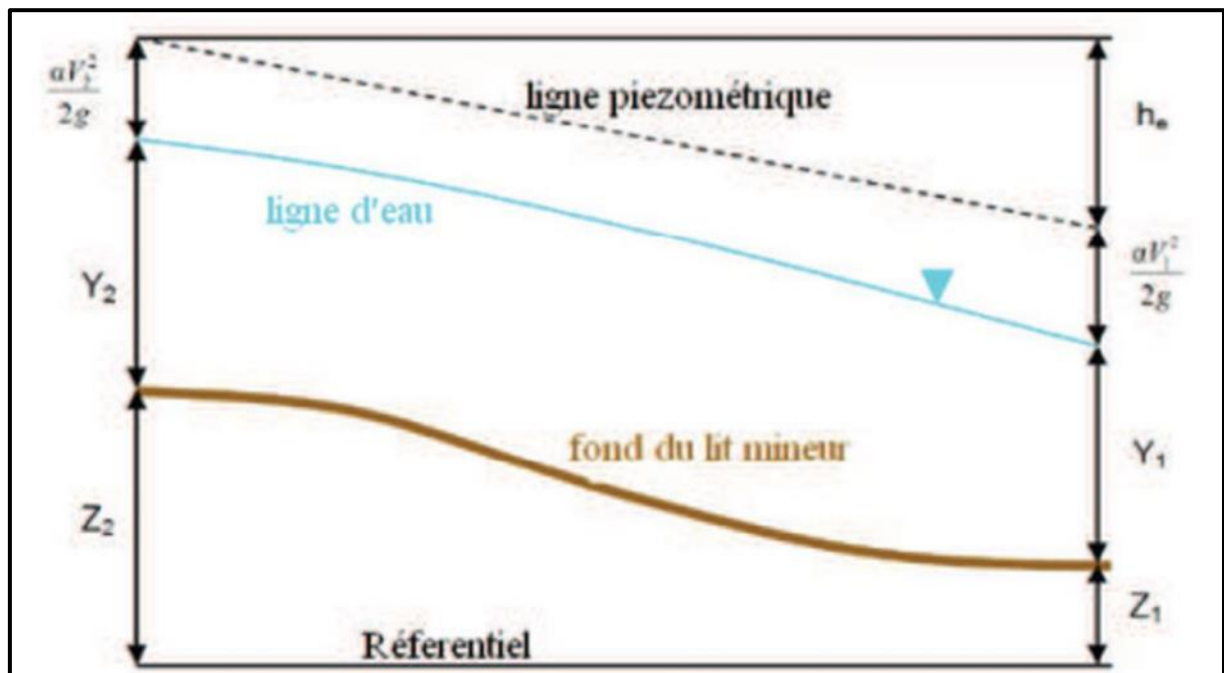


Figure III.7: Représentation des termes de l'équation d'énergie

Les pertes de charge sont évaluées à partir de la formule de Manning à laquelle sont ajoutées les pertes de charge liées à une contraction ou à une expansion du flux :

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

Avec :

L : la distance entre les deux sections


S_f : la pente de frottement entre les deux sections,

C, le coefficient de contraction ou d'expansion.

À partir des équations (1) et (2), la hauteur d'eau est déterminée en utilisant la hauteur d'eau connue en aval lorsque l'écoulement est un ruisseau ou en amont pour les écoulements torrentiels.

III.5.2.2 Principe d'utilisation de logiciel HEC-RAS :

La version de HEC-RAS que nous utilisons dans nos travaux nous permet de simuler les écoulements à surface libre permanents et non permanents, le transport des sédiments, la qualité de l'eau et certaines caractéristiques qui facilitent la conception des structures hydrauliques.

Pour démarrer HEC-RAS, double-cliquez sur l'icône suivante  placée sur le Bureau, ou bien allez dans le menu Démarrer et choisissez le programme HEC-RAS 6.4.1. Fait important à noter, HEC-RAS utilise comme symbole décimal le point, et non la virgule utilisée habituellement dans notre système d'unités. Un message d'erreur peut apparaître lors du démarrage de HEC-RAS si le symbole décimal spécifié pour votre ordinateur n'est pas le point.

Vous pouvez changer ce symbole dans le Panneau de configuration de Windows, à l'item Paramètres régionaux, à l'onglet Nombre.

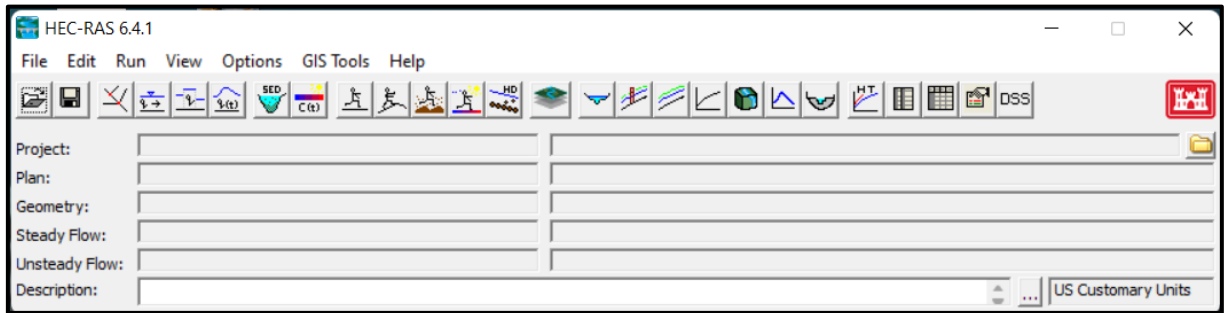


Figure III.8: La fenêtre principale de HEC-RAS.

La barre de menu contient toutes les fonctions disponibles dans HEC-RAS. Le menu Fichier permet d'ouvrir, de créer et de sauvegarder des projets (fichiers avec une extension .prj). D'autres options permettent de modifier le titre du projet ou de supprimer tous les fichiers liés au projet.

En plus du menu File, le menu Edition est important car il nous permet de spécifier les données de base qui décrivent le système fluvial à modéliser et les conditions d'écoulement dans ce système.

L'étape principale de la création d'un projet de modélisation à l'aide de HEC-RAS consiste à définir la géométrie du canal d'eau à l'aide de sections transversales. Cette étape s'effectue en sélectionnant l'option « Données géométriques »... Toutes les données liées à la géométrie du canal d'eau sont enregistrées dans des fichiers avec l'extension .G **, où ** signifie représentatif numérotés séquentiellement.

Une autre option disponible dans le menu Edit est Steady Flow Data... Cette option permet de spécifier la ou les valeurs de débit dans le cours d'eau qui devront être modélisés, ainsi que les conditions limites de l'écoulement. Les informations qui sont spécifiées avec cette option sont contenues dans les fichiers .F**.

III.5.3 Etapes de modélisation :

III.5.3.1 Projet :

La première étape du développement d'un modèle hydraulique avec HEC-RAS est d'établir le répertoire dans lequel vous souhaitez travailler et de saisir un titre pour le nouveau projet. Pour démarrer un nouveau projet, accédez au menu Fichier de la fenêtre principale HEC-RAS et sélectionnez Nouveau projet. Une fenêtre Nouveau projet s'affiche, comme indiqué dans la figure ci-dessous.

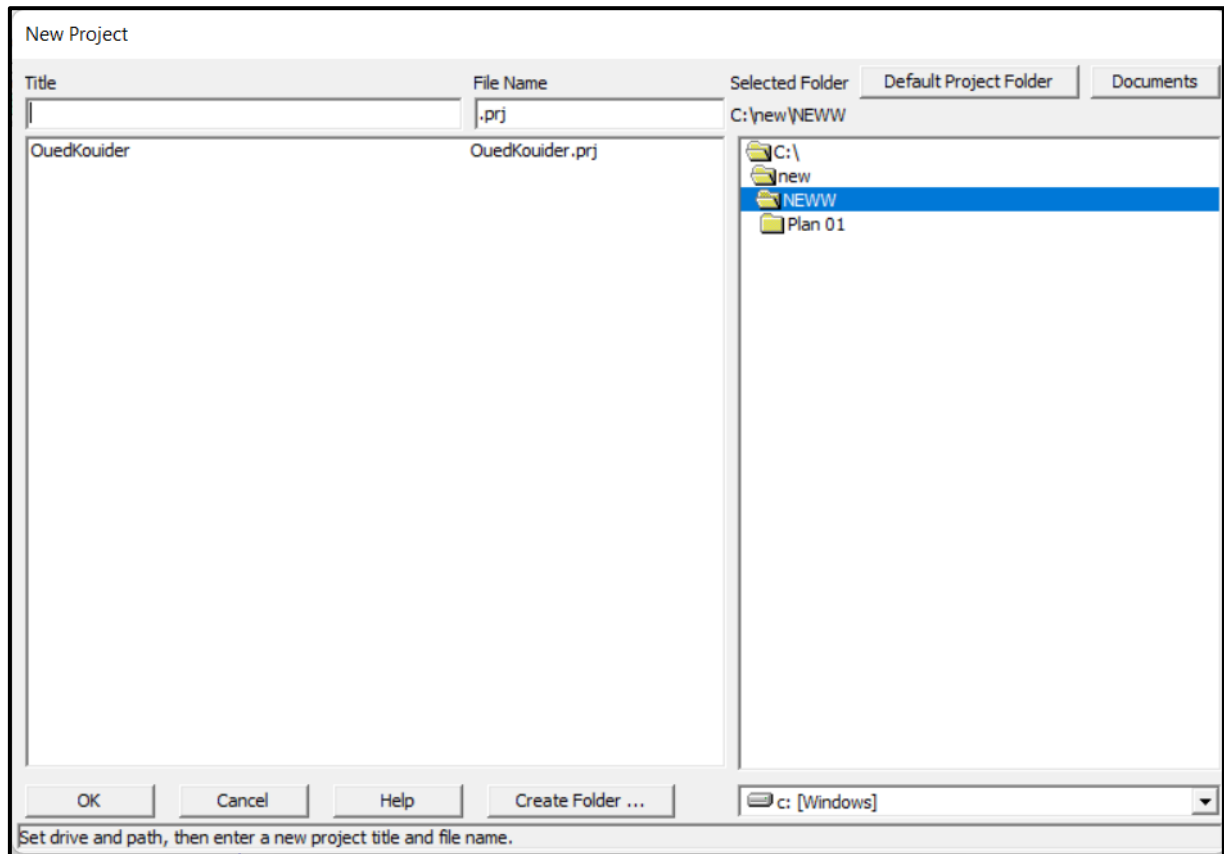


Figure III.9: Fenêtre New Project.

Nouvelle fenêtre de projet

Comme le montre la figure ci-dessus, vous sélectionnez d'abord le lecteur et le chemin dans lesquels ils veulent travailler (pour sélectionner un chemin, vous devez double-cliquer sur le répertoire souhaité dans la zone de répertoire), puis entrez un titre de projet et un nom de fichier. Le nom de fichier du projet doit avoir l'extension ". prj"; l'utilisateur n'est pas autorisé à le modifier. Une fois que vous avez entré toutes les informations, appuyez sur le bouton "OK" pour que les informations soient acceptées. Après avoir appuyé sur le bouton OK, une boîte de message apparaîtra avec le titre du projet et le répertoire dans lequel le projet sera placé. Si ces informations sont correctes, appuyez sur le bouton OK. Si les informations ne sont pas correctes, appuyez sur le bouton Annuler et vous serez replacé dans la fenêtre Nouveau projet.

Pour définir le système d'unité pour le projet, sélectionner Système d'unité dans le menu Options de la fenêtre principale HEC-RAS.

III.5.3.2 Géométrie des sections :

L'étape suivante consiste à entrer les données géométriques nécessaires, qui consistent en une couche de carte d'arrière-plan (en option), des informations de connectivité pour le système de flux (schéma du système de rivière), des données de section transversale, des zones de stockage, des zones

d'écoulement bidimensionnelles (2D) et des données de structure hydraulique (ponts, ponceaux, déversoirs, etc.).

Pour utiliser l'éditeur de données géométriques pour saisir la géométrie, sélectionnez Données géométriques dans le menu Modifier de la fenêtre principale HEC-RAS. Une fois cette option sélectionnée, la fenêtre de données géométriques apparaîtra comme indiqué dans la figure ci-dessous (sauf que la vôtre sera vide lorsque vous ouvrirez cet écran pour un nouveau projet).

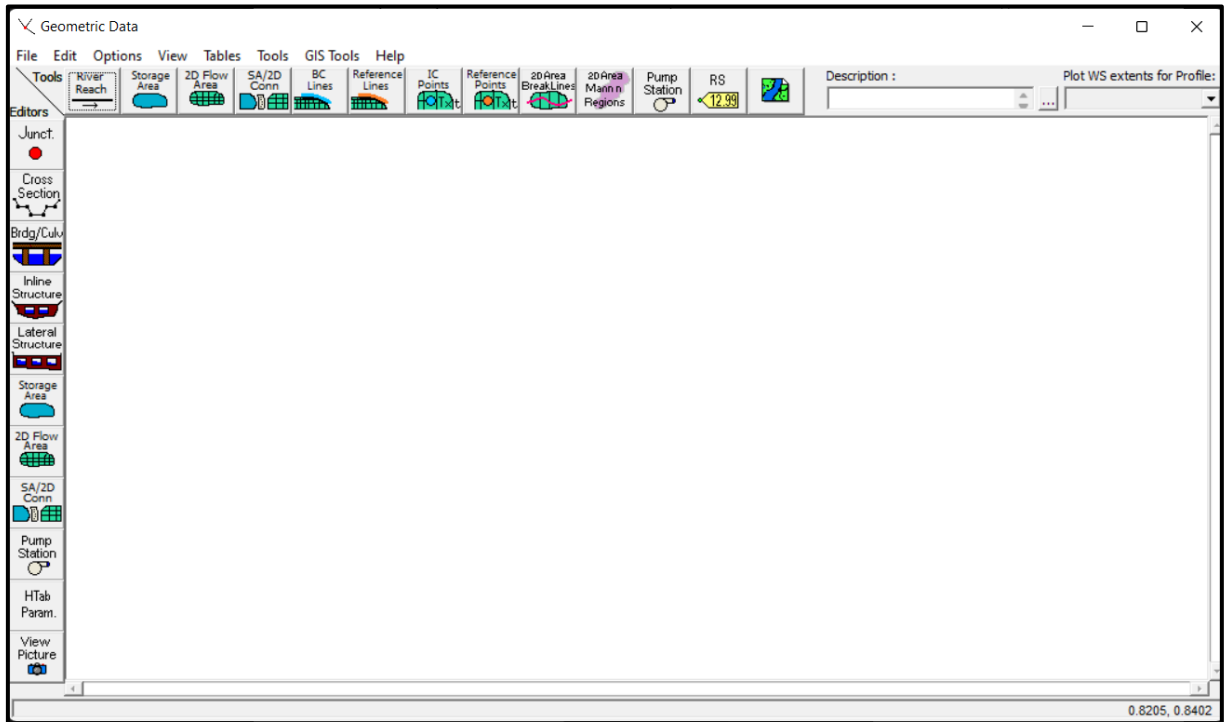


Figure III.10: Fenêtre Geometric Data.

Le modélisateur peut développer les données géométriques dans HEC-RAS en dessinant d'abord dans le schéma du système fluvial. Ceci est accompli, sur une base de portée par portée, en appuyant sur le bouton River Reach, puis en tirant dans une portée d'amont en aval.

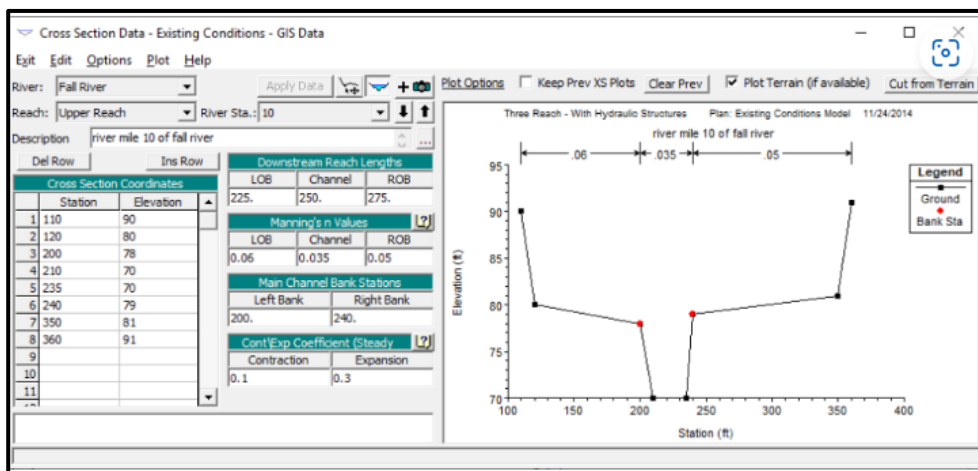


Figure III.11: Fenêtre Cross Section Data.

Éditeur de données transversales

Les données de base requises pour chaque section sont indiquées dans l'éditeur de données de section ci-dessus. Les données requises pour toute section transversale comprennent : les données d'élévation de la station (coordonnées des points de section); les longueurs de portée en aval (distances de la section transversale actuelle à la section transversale suivante en aval); les n valeurs de Manning (au minimum, vous devez avoir une valeur n de Manning de Overbank gauche, canal principal et Overbank droit. Il y a plusieurs options pour les variations horizontales et verticales des valeurs n de Manning); stations de rive du canal principal (défini les limites de rive gauche et droite du canal principal); et les coefficients de contraction et d'expansion (par défaut 0,1 et 0,3 respectivement). Des fonctions supplémentaires de section transversale sont disponibles sous Options dans la barre de menus. Ces options comprennent l'ajout, la copie, le changement de nom et la suppression de sections transversales; le réglage des élévations de sections transversales, des stations et des valeurs n ou k ; la section transversale asymétrique; les zones d'écoulement inefficaces; les digues; les obstacles bloqués; l'ajout d'un couvercle à une section transversale; l'ajout d'une couverture de glace; l'ajout d'une courbe de cotation; variation horizontale de n ou k -valeurs; et variation verticale de n valeurs.

Une fois les données géométriques saisies, elles doivent être enregistrées dans un fichier sur le disque dur. Pour ce faire, sélectionnez l'option Enregistrer les données géométriques sous dans le menu Fichier de l'éditeur de données géométriques. Cette option permet à l'utilisateur de saisir un titre pour les données géométriques. Un nom de fichier est automatiquement établi pour les données géométriques, puis enregistré sur le disque. Une fois qu'un titre est établi, les données géométriques peuvent être enregistrées périodiquement en sélectionnant Enregistrer les données géométriques dans le menu Fichier de l'éditeur de données géométriques.

III.5.3.3 Débit et conditions aux limites :

Une fois les données géométriques entrées, le modélisateur peut alors entrer des données de flux régulier ou instable. Le type de données de flux saisies dépend du type d'analyses à effectuer. On suppose qu'une analyse hydraulique à débit constant sera effectuée. Le formulaire de saisie des données pour les données de flux régulier est disponible sous l'option Modifier la barre de menu dans la fenêtre principale HEC-RAS.

Des conditions aux limites sont requises pour effectuer les calculs. Si une analyse d'écoulement sous-critique doit être effectuée, seules les conditions aux limites en aval sont requises. Si une analyse d'écoulement supercritique doit être effectuée, seules les conditions aux limites en amont sont requises. Si le modélisateur doit effectuer un calcul de régime d'écoulement mixte, les conditions

limites en amont et en aval sont requises. Le formulaire de saisie des données sur les conditions limites peut être affiché en appuyant sur le bouton Atteindre les conditions limites du formulaire de saisie des données sur le débit régulier.

On choisit une pente normale de 0.0457, est la pente moyenne de dernier tronçon de canal.

Le dernier paramètre nécessaire est le débit en entrée pour la crue centennale :

$$Q=160.66 \text{ m}^3/\text{s}$$

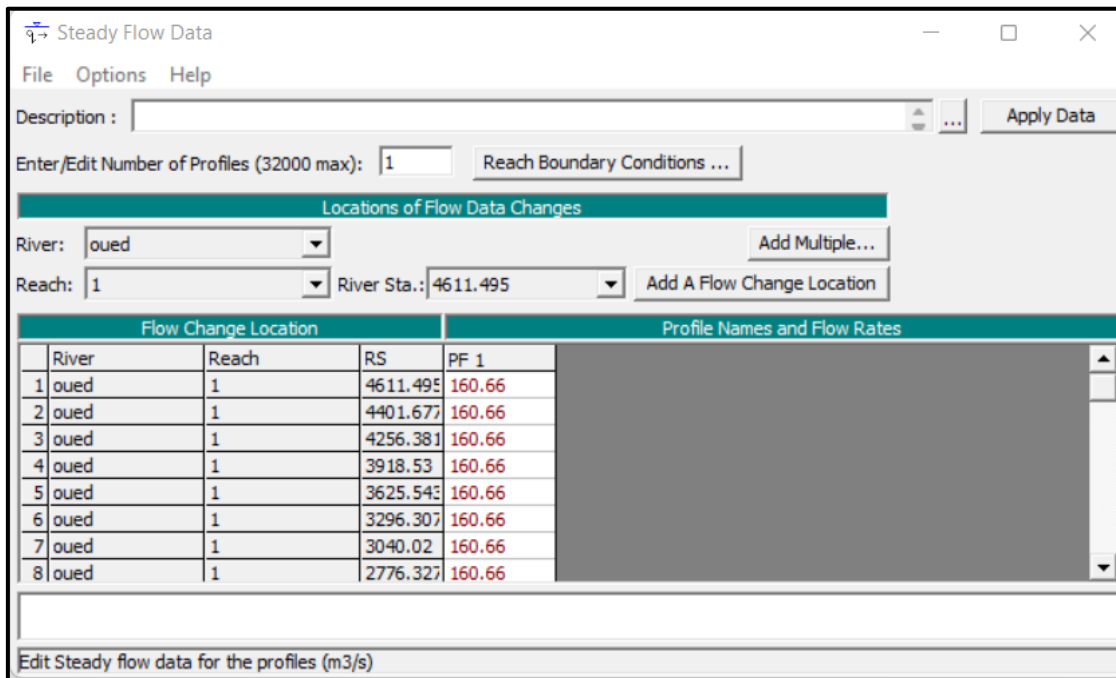


Figure III.12: Fenêtre Steady Flow Data.

III.5.3.4 Simulation hydraulique :

Une fois toutes les données géométriques et les données de flux entrées, le modélisateur peut commencer à effectuer les calculs hydrauliques.

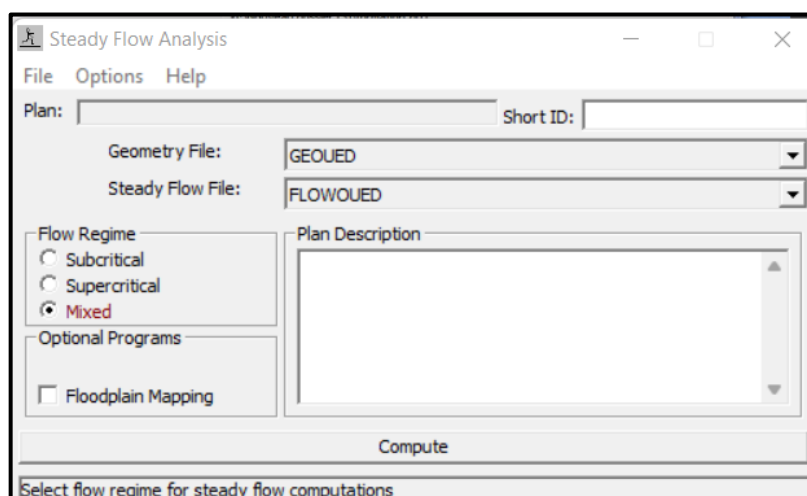


Figure III.13: Fenêtre Steady Flow Analysis.

Une fois que le modélisateur a sélectionné un plan et défini toutes les options de calcul, les calculs du débit régulier peuvent être effectués en appuyant sur le bouton Calculer au bas de la fenêtre Analyse du débit régulier. Lorsque ce bouton est enfoncé, le système HEC-RAS regroupe toutes les données du plan sélectionné et les écrits dans un fichier d'analyse. Le système exécute ensuite le modèle de flux régulier et lui transmet le nom du fichier d'analyse.

Ce processus est exécuté dans une fenêtre distincte. Par conséquent, le modéleur peut travailler sur d'autres tâches pendant son exécution.

III.5.3.5 Visualisation des résultats :

Une fois que le modèle a terminé tous les calculs, le modélisateur peut commencer à visualiser les résultats. Plusieurs fonctions de sortie sont disponibles sous l'option Affichage de la fenêtre principale. Ces options comprennent les tracés de coupe transversale; les tracés de profil de surface de l'eau; les tracés de profil général; les tracés de courbe d'évaluation; les tracés de perspective 3D; les tracés hydrographiques et les tableaux de propriétés hydrauliques (si une simulation d'écoulement instable a été effectuée); les résultats tabulaires à des endroits spécifiques (Tableaux de sortie détaillés); résultats tabulaires pour de nombreux emplacements (Tableaux récapitulatifs de profil); résumé des erreurs, avertissements et notes; et visualisation des données contenues dans HEC-DSS.

- **Le profil en long :**

La ligne d'eau représente une vue en profil du tronçon d'étude avec le niveau et la surface d'eau de l'Oued et le niveau d'eau de période de retour centennale. Dans le cas de cette étude le comportement de la crue est sensible aux irrégularités de la topographie.

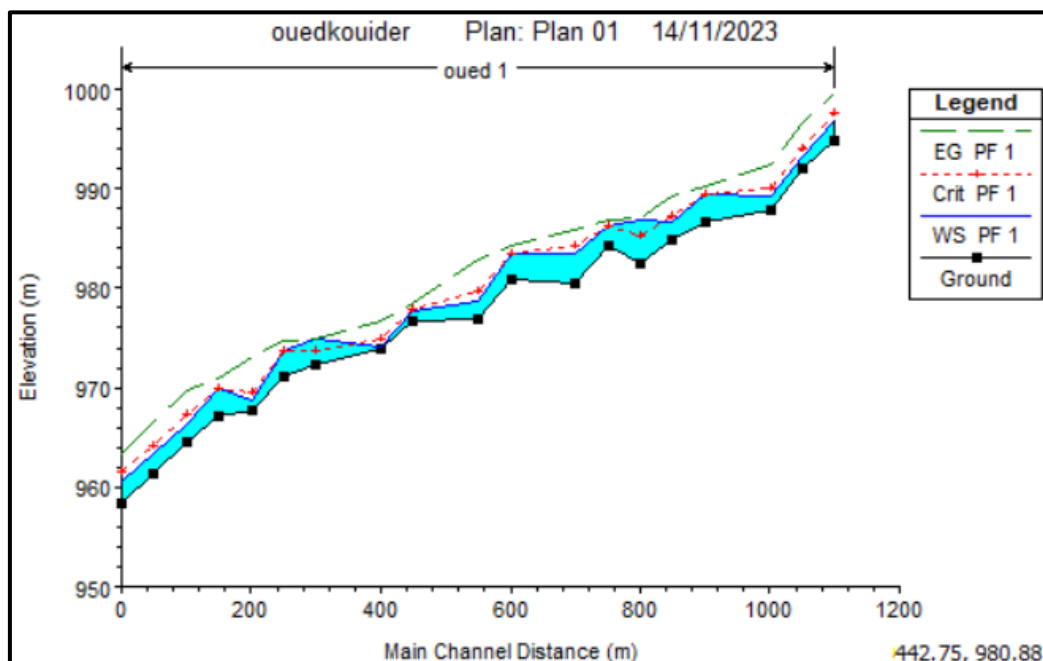


Figure III.14: Profil en long du cours d'eau à l'état naturel pour une crue centennale

- **Vue en trois dimensions du tronçon modélisé :**

HEC-RAS fournit une vue tridimensionnelle qui facilite la surveillance du comportement des crues pendant la période de retour. La figure IV.8 montre que le débordement se produit tout le long du tronçon.

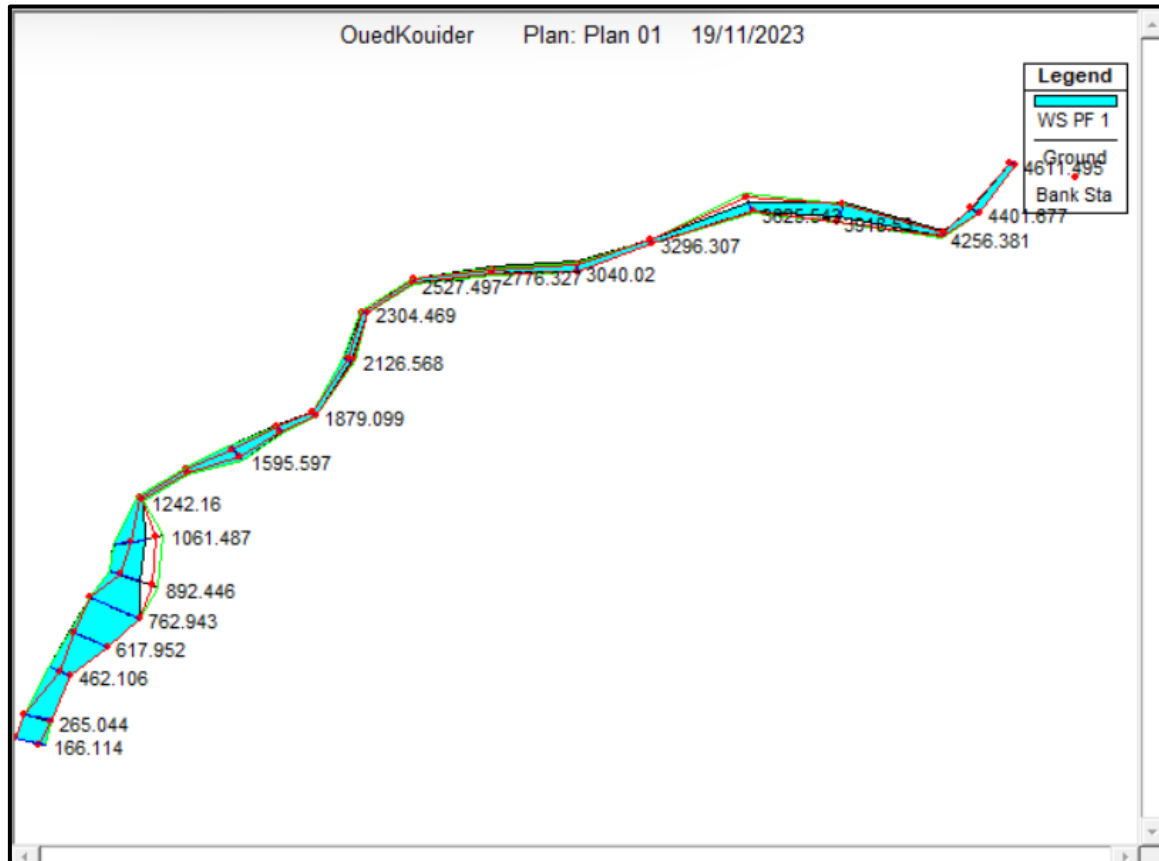


Figure III.15: Vue en Plan en 3D de l'Oued

- **Restitution de la courbe de tarage :**

Avec HEC-RAS, il est désormais possible d'exprimer l'évolution de la hauteur d'eau en (m) en fonction du débit en m³/s.

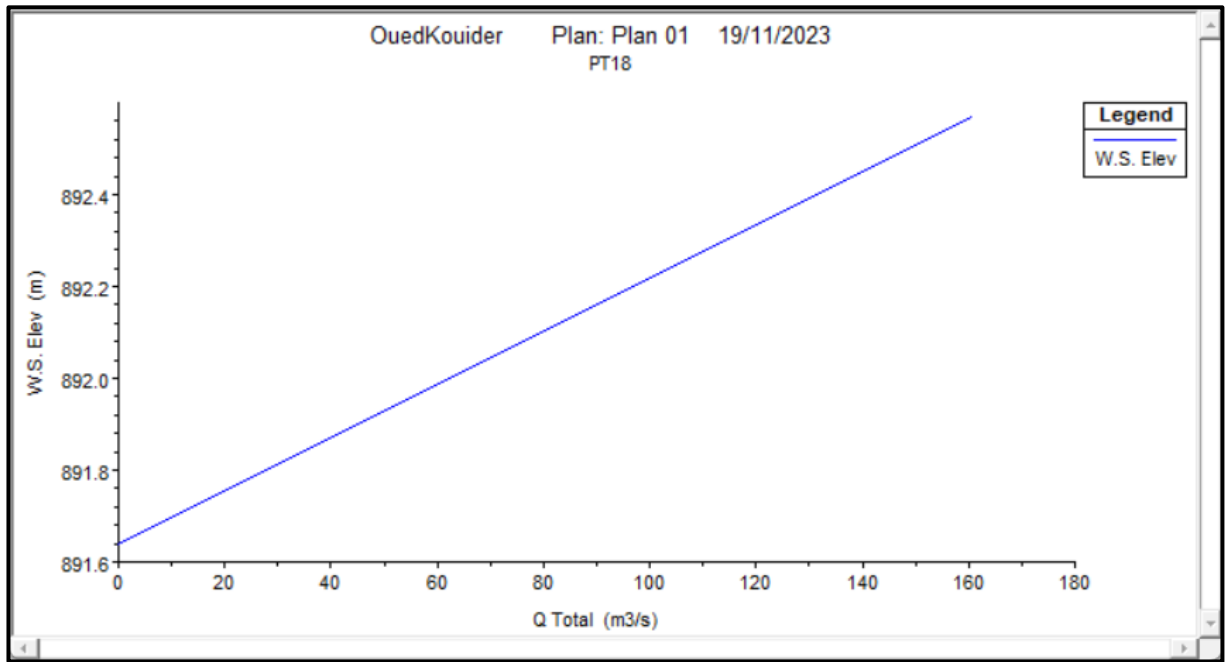
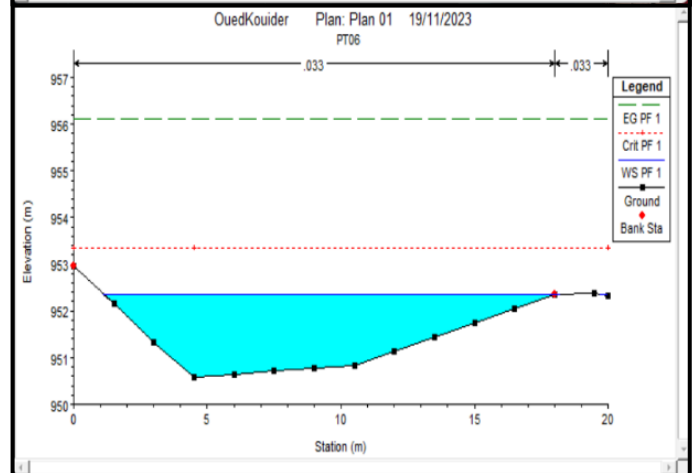
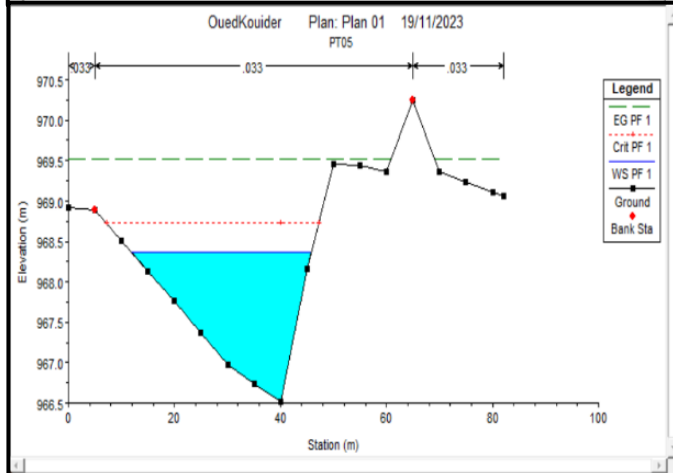
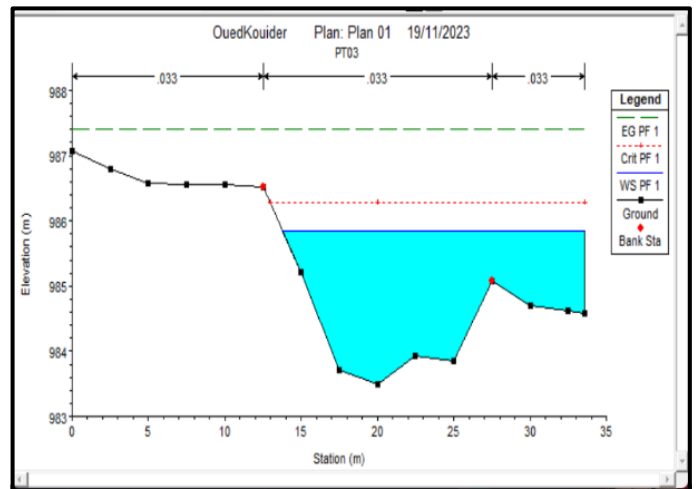
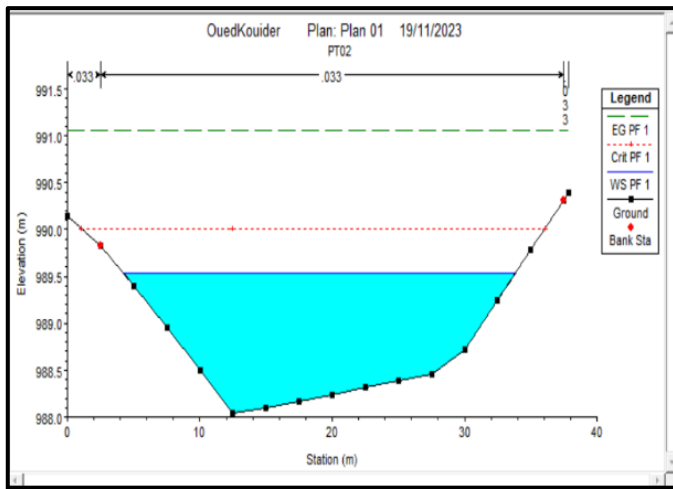


Figure III.16 : Courbe de tarage du tronçon modélisé d’Oued Kouider pour le régime

Cette possibilité de visualiser les résultats par profil transversal nous permet de capturer un maximum de détails à chaque point sélectionné le long du tracé du cours d’eau.



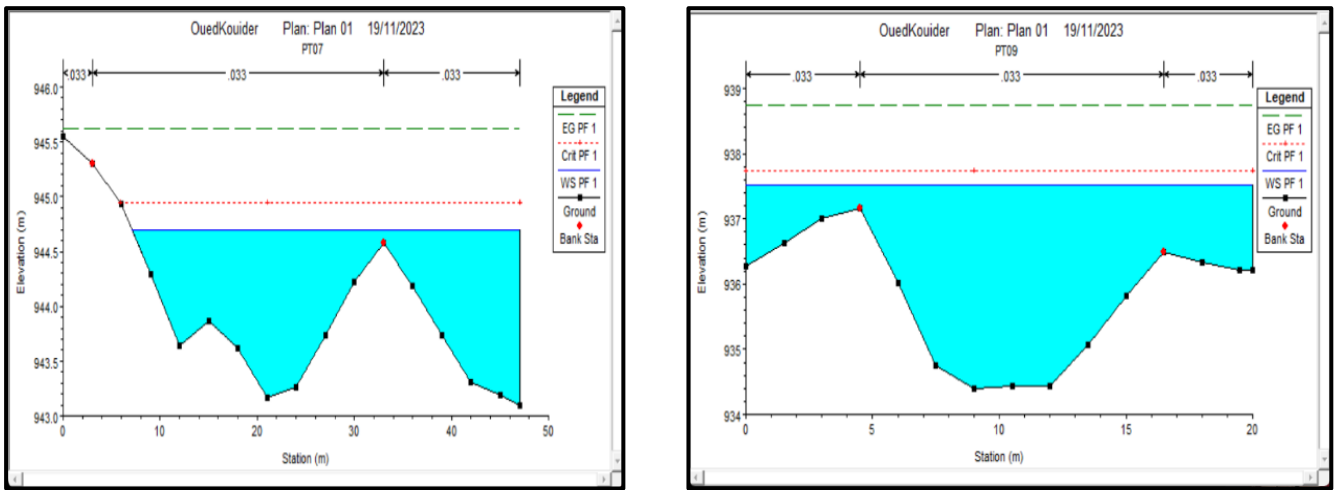


Figure III.17 : Résultats de simulation pour quelques stations.

- **Vitesse d'écoulement :**

La Figure IV.11 représente la variation de la vitesse totale d'écoulement des eaux en fonction de la distance.

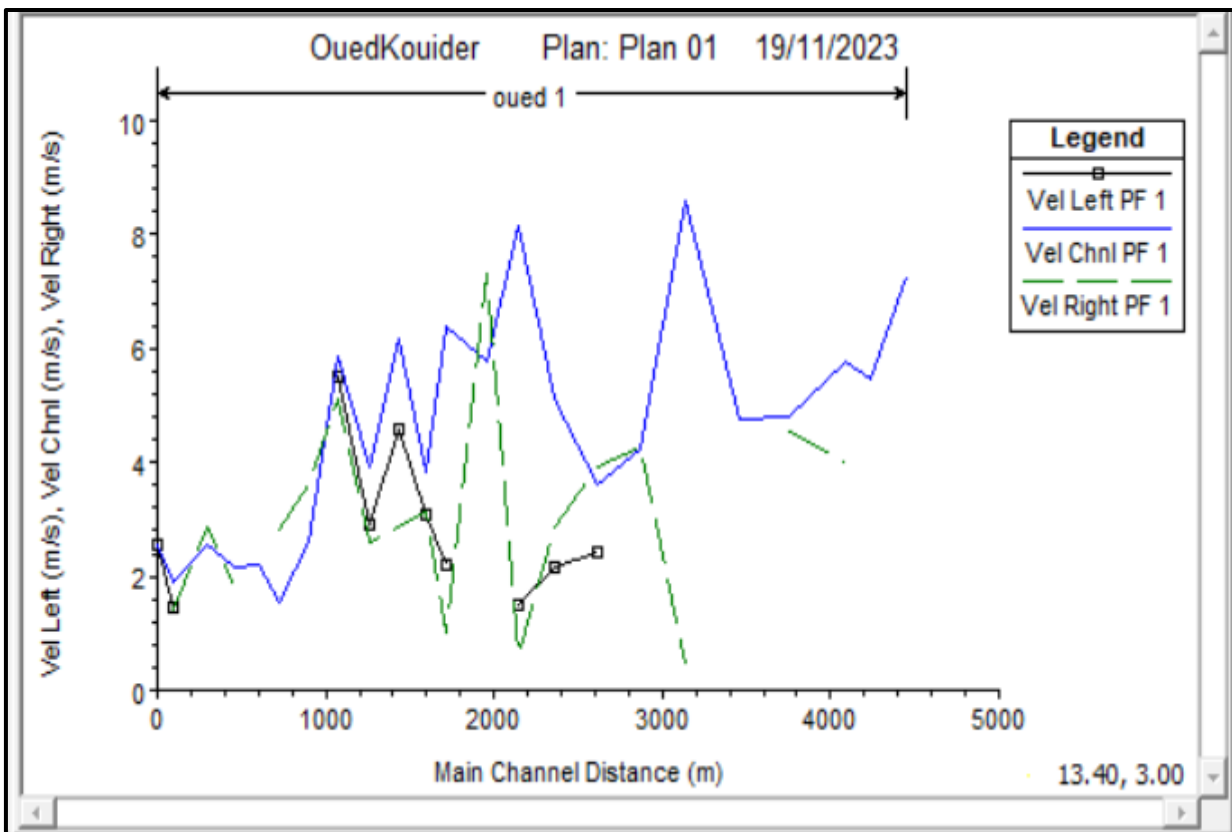


Figure III.18: Variation de la vitesse totale d'écoulement en fonction de la distance

- **Le nombre de Froude :**

La Figure III.17 représente la variation du nombre de Froude en fonction de la distance.

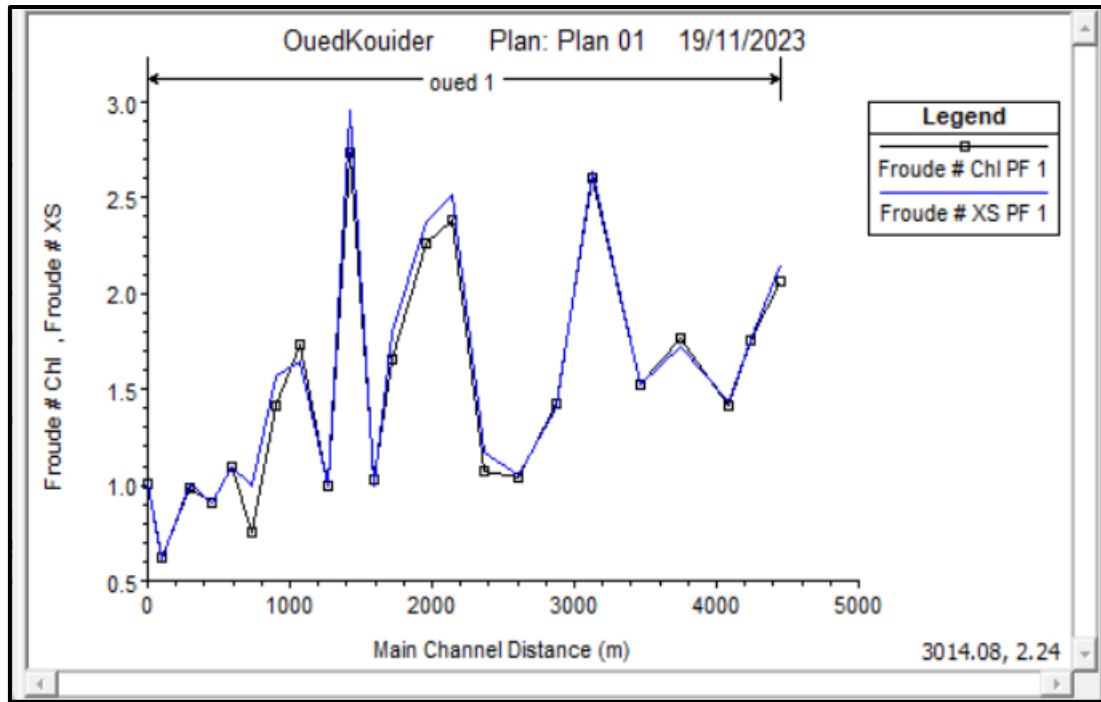


Figure III.19: Variation du nombre de Froude en fonction de la distance

Le logiciel permet aussi de créer des tableaux récapitulatifs de l'ensemble des paramètres hydrauliques pour un barrage ou autre ouvrage, pour une surface de stockage, pour chaque station (profil en travers), ou de toutes les stations simultanément.

Tableau III.4: Principaux paramètres hydrauliques pour l'ensemble des stations

River Sta	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude #Chl
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
4611.495	994.80	996.87	997.66	999.55	0.045755	7.27	22.28	19.13	2.07
4401.677	988.05	989.53	990.01	991.06	0.033368	5.48	29.34	29.59	1.76
4256.381	983.50	985.85	986.28	987.40	0.019650	5.77	29.90	19.80	1.42
3918.53	975.85	977.23	977.59	978.39	0.037150	4.81	33.70	43.37	1.77
3625.543	966.52	968.36	968.72	969.52	0.025135	4.77	33.71	33.76	1.52
3296.307	950.59	952.36	953.34	956.11	0.073050	8.58	18.73	17.42	2.60
3040.02	943.16	944.70	944.94	945.63	0.022859	4.25	37.67	40.00	1.43

2776.327	939.06	940.83	940.89	941.50	0.011021	3.60	45.60	37.29	1.04
2527.497	934.40	937.52	937.73	938.74	0.010746	5.11	35.21	20.00	1.07
2304.469	928.17	930.41	931.32	933.79	0.059826	8.15	19.80	18.51	2.38
2126.568	919.12	920.09	920.74	922.46	0.064236	5.76	23.98	28.48	2.26
1879.099	908.03	910.35	910.98	912.42	0.027525	6.39	25.62	20.00	1.66
1755.893	908.23	909.84	909.84	910.48	0.010001	3.83	45.96	35.22	1.02
1595.597	904.11	904.93	905.34	906.67	0.099246	6.18	28.85	72.31	2.73
1426.795	899.81	902.11	902.11	902.81	0.009178	3.93	44.49	31.14	0.99
1242.16	897.14	898.32	898.77	899.89	0.030722	5.85	29.07	25.21	1.74
1061.487	892.85	893.49	893.66	894.08	0.030313	2.62	48.78	102.18	1.41
892.446	891.64	892.57	892.57	892.90	0.008121	1.56	69.94	105.20	0.76
762.943	890.41	891.15	891.17	891.39	0.017284	2.19	73.25	178.27	1.09
617.952	888.72	889.51	889.47	889.74	0.010680	2.14	76.21	137.27	0.91
462.106	886.88	887.59	887.59	887.96	0.011915	2.54	59.43	79.36	0.98
265.044	884.88	885.90	885.64	886.08	0.004147	1.89	86.30	91.68	0.62
166.114	884.39	885.07	885.07	885.40	0.012699	2.53	63.37	97.79	1.01

- ✓ **Min Ch. El** : Altitude du radier du canal
- ✓ **Vel chnl** : Vitesse d'écoulement
- ✓ **W.S Elev** : Altitude du plan d'eau calculé
- ✓ **Flow area** : Section mouillée
- ✓ **Top Width** : Largeur au miroir
- ✓ **E.G Elev** : Altitudes de la ligne d'énergie
- ✓ **Froude # chl** : Nombre de Froude
- ✓ **E.G slope** : Pente de la ligne d'énergie

• **Interprétation**

On constate que les niveaux d'eau dans la plupart des sections de l'oued naturel sont inondés sur la majeure partie de leur longueur, ceci est observé par la variation des paramètres suivants :

- La vitesse d'écoulement varie entre 1.56 et 8.15 m/s
- La variation du régime d'écoulement le long de l'Oued. Cette constatation Confirmée par les valeurs du nombre de Froude qui varient entre 0.62 et 2.73.

III.6 Conclusion :

Sur la base du profil en long de l'oued, nous pouvons constater que des très fortes inondations se produisent. Cela signifie que la commune d'Oum El Bouaghi est une zone inondable. Pour y remédier, nous menons une étude détaillée visant à protéger la ville d'Oum El Bouaghi contre les inondations.

CHAPITRE. IV

ETUDE DES VARIANTES

D'AMENAGEMENT

CHAPITRE IV. Etude des variantes d'aménagement

IV.1 Introduction :

Nous proposons comme solution dans cette étape de l'étude, des variantes comme les ouvrages suivants : des canaux, mur de soutènement en béton armée, Ces ouvrages qui doivent être adaptés aux terrains souvent difficiles, ainsi pour protéger non seulement leur voisinage, mais aussi la totalité de la ville.

IV.2 Principe d'aménagement :

IV.2.1 Les différents types d'aménagements envisageables :

IV.2.1.1 Curage :

Le but de cette approche est d'améliorer significativement les conditions d'écoulement en supprimant tous les obstacles et débris qui entravent l'écoulement de l'eau au sein d'un plan d'eau. L'objectif est de réduire la rugosité et d'augmenter le débit.

IV.2.1.2 Recalibrage :

Le but de cette démarche est d'élargir ou d'approfondir des sections de plans d'eau afin d'augmenter leur capacité de drainage et d'assurer des sections humides répondant aux critères de protection souhaités.

IV.2.1.3 Réalisation des canaux :

Cette approche vise à restaurer le cours d'eau à son tracé initial. Elle est essentielle lorsque le lit de la rivière et sa zone hydraulique ont été entièrement occupés par des bâtiments ou des infrastructures routières.

IV.2.1.4 Protection des berges :

Ce type d'aménagement comprend toutes les structures visant à maintenir la stabilité du sol malgré l'influence de l'eau. Les berges des rivières sont vulnérables aux turbulences dues aux inondations et, une fois les eaux de crue retirées, l'intrusion de l'eau peut provoquer un glissement du sol. La protection des berges est particulièrement importante à proximité de certaines infrastructures.

IV.2.1.5 Création des canaux de dérivation :

L'eau de la rivière est dirigée vers d'autres oueds et détournée de la zone protégée. Cette dérivation peut affecter tout ou partie des eaux de l'oued et vise à réduire les risques d'inondation dans les zones vulnérables.

IV.2.2 Choix de la forme de la section :

Des variations sur la forme de la section du canal ont été développées pour optimiser la solution.

Les sections les plus courantes sont :

- Section trapézoïdale.
- Section rectangulaire

IV.2.2.1 Section trapézoïdale :

La première variante proposée consiste à projeter un canal trapézoïdal en béton armé.

Pour le fruit de talus, nous choisissons $m = 1$ pour la facilité technique de réalisation d'un angle de 45° sur le terrain. Cette forme est choisie car elle représente le profil le plus rentable hydrauliquement, pour sa grande capacité de transit des eaux.

✓ Avantage :

- Faible coût, le revêtement est en béton mince et armé de treillis soudé (du fait de la pente, le remblai est auto-stabilisant).
- Entretien facile (moins de profondeur grâce à la section trapézoïdale).

✓ Inconvénient :

- L'inconvénient majeur de cette section est la largeur des berges qui peut constituer une contrainte de passage à proximité des habitations.

IV.2.2.2 Section Rectangulaire :

La deuxième variante proposée consiste à projeter un canal rectangulaire en béton armé, plus précisément deux murs de soutènement au long du canal.

✓ Avantages :

- En raison de sa faible largeur, il convient aux allées étroites.
- Pose simple de tuiles ou de grilles de toit.
- En traversant la route, le tronçon ne change pas.

✓ Inconvénients :

- Plus couteuse, en outre les ouvrages en béton armé ont besoin de main d'œuvre et d'engins spéciaux.
- Mauvaise stabilité des pentes.

IV.3 Choix de la variante d'aménagement :

IV.3.1 Critère d'évolution :

Les variantes sont sélectionnées en fonction de plusieurs critères :

Efficacité hydraulique : Cela correspond à l'augmentation potentielle de la capacité hydraulique qui peut être obtenue grâce aux mesures.

La difficulté de réalisation : Défini comme la gravité des performances techniques.

La durabilité : est la durée de vie de l'aménagement.

L'entretien : correspond à l'étendue et à la fréquence des entretiens nécessaires.

Le coût : Il s'agit d'une estimation des coûts de construction.

Alors on propose trois variantes :

Variantes 01 :

La première variante consiste en un canal de ceinture trapézoïdal, entouré d'un mur de protection en béton armé avec des gouttières de passage.

La section trapézoïdale est réalisée en béton de 350 kg/m³ et a une épaisseur de 40 cm.

Variantes 02 :

La deuxième variante consiste à construire un canal rectangulaire en béton armé jusqu'à l'exutoire (terrain naturel).

La section rectangulaire est réalisée en béton de 350 kg/m³ et a une épaisseur de 40 cm.

Variantes 03 :

Les canaux de gabions sont principalement utilisés pour créer une couverture et protéger contre l'affouillement. Ils existent dans une variété de dimensions, les plus courantes étant 2,0×1,0×0,5 et 2,0×1,0×1,0. Les gouttières pour gabions sont posées d'une manière particulière. Les sacs sont disposés en escalier pour assurer la stabilité de la banque.

IV.4 Conclusion :

D'après la description de chaque variante nous concluons que les deux variantes peuvent protéger la ville contre les crues de l'oued Kouider A donc l'aspect technique est vérifié pour les deux variantes, à cet effet, notre choix dépend de l'aspect économique et environnementale.

Alors la variante sélectionnée pour protéger la ville contre l'inondation de l'oued Kouider c'est la deuxième variante : un canal trapézoïdal en béton armé.

CHAPITRE. V

CALCUL

HYDRAULIQUE

CHAPITRE V. Calcul hydraulique

V.1 Introduction :

Comme solutions aux aléas présentés dans cette phase de l'étude, nous proposons les variantes suivantes : canaux réguliers, digue de protection en gabions, etc.

V.2 Variantes proposées :

Le but de cette étude est de protéger la commune d'Oum El Bouaghi des inondations. Cette protection passe par la sélection des meilleures solutions d'aménagement en tenant compte des conditions naturelles.

Il faut aussi que les solutions proposées soient réalisables de point de vue technique et économique et qu'elles soient, bien adaptée avec le terrain.

On propose les variantes suivantes :

Pour protéger l'ensemble de la ville de la menace d'inondation du oued, nous recommandons la conception d'un canal ouvert trapézoïdal répond non seulement aux besoins de collecte des eaux de pluie de surface en haute montagne, mais répond également aux besoins d'empêcher les inondations de s'infiltrer dans les basses terres.

Selon l'étude hydrologique les débits calculés de crue sont présentés dans le tableau V.1.

Tableau V.1: Débits calculés de crue.

Sous bassins	Débits (m ³ /s)
SB 3	160.66

Le débit de la crue centennal avec la période de retour 1 fois par 100 années. On a pris pour les calculs hydrauliques le débit de la crue de notre sous bassin.

V.2.1 Les dimensionnement des canaux :

La formule utilisée pour le dimensionnement est celle de Manning Strickler, elle donnée par la relation suivante :

$$Q = \frac{1}{n} R^{2/3} \cdot S_m \cdot I^{1/2} \dots (V.1)$$

- Q : débit de dimensionnement (m³/s).
- n : rugosité du canal.
- S_m : section mouillée du canal en (m²).

- I : pente du tronçon de cours d'eau (pente du fond) en (m/m).
- Rh : rayon hydraulique en (m) tel que :

$$R_h = \frac{S_m}{P_m} \dots (V.2)$$

Tableau V.2: Caractéristiques géométrique et hydraulique de différent forme de canaux

	Rectangle	Trapeze	Triangle	Cercle	Parabole
Largeur, B	b	b + 2 × mh	2 × mh	$(\sin \frac{\theta}{2}) \cdot D$ ou $\frac{3S}{2h}$	$\frac{3S}{2h}$
Surface, S	b × h	(b + mh) · h	m × h ²	$2\sqrt{h \cdot (D - h)}$	$\frac{2}{3} Bh$
Périmètre mouillé, P	b + 2h	b + 2 · h · √(1 + m ²)	2h · √(1 + m ²)	$\frac{1}{8} (\theta - \sin \theta) \cdot D^2$	$B + \frac{8h^2}{3B}$
Rayon hydraulique, R _h	$\frac{bh}{b + 2h}$	$\frac{(b + mh) \cdot h}{b + 2h \cdot \sqrt{1 + m^2}}$	$\frac{mh}{2 \cdot \sqrt{1 + m^2}}$	$\frac{1}{4} \left[1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right] D$	$\frac{2B^2 h^3}{3B^2 + 8h^2}$
Profondeur hydraulique, D _h	h	$\frac{(b + mh)h}{b + 2 \times mh}$	$\frac{1}{2} h$	$\left[\frac{\theta - \sin \theta}{\sin \frac{\theta}{2}} \right] \frac{D}{8}$	$\frac{2}{3} h$

V.2.2 Choix des paramètres de dimensionnement :

V.2.2.1 La pente du projet :

Avant de procéder aux calculs hydrauliques, le choix de la pente du projet est très important. Dans notre cas nous avons fixé la pente le long du cours d'eau.

V.2.2.2 Le coefficient de rugosité :

La rugosité des canaux dépend du type de revêtement. Des exemples de valeurs de rugosité pour des revêtements spécifiques sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau V.3: Coefficient de rugosité.

Caractéristiques du lit ou du revêtement	Valeur de la rugosité n
Canal avec revêtement en béton	0.015
Canal en terre	0.022
Canal en pierre	0.025
Canal en Gabion	0.030

V.2.2.3 Vitesse d'érosion :

Afin d'éviter la destruction du fond du canal et des berges due aux effets dynamiques de l'écoulement de l'eau, la vitesse d'écoulement de l'eau ne doit pas dépasser la vitesse maximale autorisée. Les valeurs moyennes des vitesses critiques d'érosion pour les lits consolidés sont présentées dans le tableau en annexe.

Tableau V.4: Vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolidés.

Lit	Vitesse (m/s)
Pavage de pierre à une couche	2.5 - 4.0
Gabions	4.0 - 6.0
Revêtement en béton	6.0 - 10
Béton amélioré	>10

V.2.3 Revanche des canaux :

Dans les canaux d'eau libre, il doit toujours y avoir un espace sûr au-dessus de la ligne de l'eau, calculé pour tenir compte de l'accumulation de débris solides, de la croissance de la végétation, des vagues de vent, etc. Pour dimensionner les canaux.

$$R = 0.6m + 0.05\sqrt[3]{h} \dots (V.3)$$

On opte pour la valeur de revanche égale à 0.55m

V.3 Calcul hydraulique :

V.3.1 Première variante : Canal trapézoïdal en béton armé :

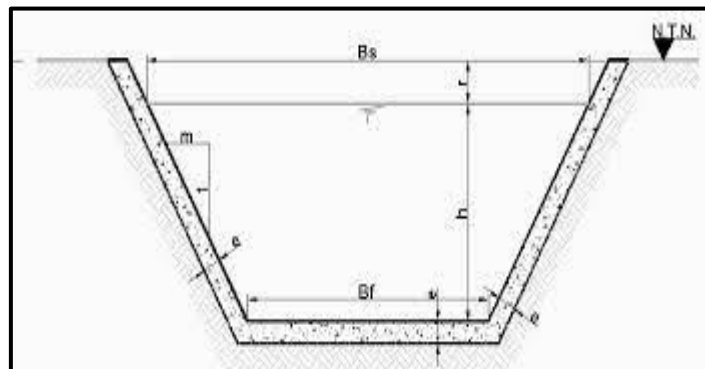


Figure V.1: Un canal trapézoïdal

V.3.1.1 Dimensionnement :

Les résultats de calcul sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau V.5: Dimensions de l'aménagement d'Oued Kouider (Canal trapézoïdale en béton armé).

Tronçons	Section départ	Section arrivée	Longueur (m)	Pente projet (%)	Fruit de talus	Largeur du fond b (m)	Hauteur du canal H (m)
1	22	23	209.818	0.005	1	12	2.5
2	21	22	145.296	0.005	1	12	2.5
3	20	21	337.851	0.005	1	12	2.5
4	19	20	292.987	0.005	1	12	2.5
5	18	19	329.236	0.005	1	12	2.3
6	17	18	256.287	0.005	1	12	2.5
7	16	17	263.693	0.005	1	12	2.5
8	15	16	248.83	0.005	1	12	2.5
9	14	15	223.028	0.005	1	12	2.4
10	13	14	177.901	0.005	1	12	2.4
11	12	13	247.469	0.005	1	12	2.4
12	11	12	123.206	0.005	1	12	2.6
13	10	11	160.296	0.005	1	12	2.6
14	09	10	168.802	0.005	1	12	2.6
15	08	09	184.635	0.005	1	12	2.5
16	07	08	180.673	0.005	1	12	2.6
17	06	07	169.041	0.005	1	12	2.6
18	05	06	129.503	0.005	1	12	2.3
19	04	05	144.991	0.005	1	12	2.3
20	03	04	155.846	0.005	1	12	2.5
21	02	03	197.062	0.005	1	12	2.6
22	01	02	98.93	0.005	1	12	2.6
23	00	01	166.114	0.005	1	12	2.5

V.3.1.2 Les paramètres d'écoulement :

Les résultats de la simulation seront représentés dans le tableau suivant :

Tableau V.6: Paramètres d'écoulement de la variante canal trapézoïdale

Profils	Débit (m³/s)	Vitesse (m/s)	Froude	Tirant d'eau (m)	Section Mouillée (m²)	Périmètre mouillé (m)	Rayon Hydraulique (m)	Régime
1	160.66	7.35	1.96	1.61	21.85	16.54	1.32	R. Torrentiel
2	160.66	4.95	1.11	2.32	32.45	18.15	1.79	R. Torrentiel
3	160.66	11.46	3.95	0.99	12.89	14.81	0.87	R. Torrentiel
4	160.66	4.90	1.1111	2.29	32.76	18.48	1.77	R. Torrentiel
5	160.66	10.90	3.88	1.03	13.50	14.93	0.90	R. Torrentiel
6	160.66	5.51	1.31	2.07	29.17	17.86	1.63	R. Torrentiel
7	160.66	7.46	2.00	1.58	21.55	16.49	1.31	R. Torrentiel
8	160.66	4.84	1.08	2.37	33.18	18.24	1.82	R. Torrentiel
9	160.66	10.01	3.03	1.21	16.04	15.43	1.04	R. Torrentiel
10	160.66	5.70	1.37	2.02	28.20	17.69	1.59	R. Torrentiel
11	160.66	9.83	2.95	1.24	16.35	15.49	1.06	R. Torrentiel
12	160.66	4.64	1.00	2.48	34.63	18.33	1.89	R. Torrentiel
13	160.66	8.97	2.55	1.36	17.91	15.51	1.15	R. Torrentiel
14	160.66	5.14	1.17	2.25	31.24	17.87	1.75	R. Torrentiel
15	160.66	7.88	2.11	1.55	20.39	15.92	1.28	R. Torrentiel
16	160.66	7.46	2.00	1.59	21.55	16.49	1.31	R. Torrentiel
17	160.66	4.66	1.00	2.48	34.46	18.20	1.89	R. Torrentiel
18	160.66	6.52	1.61	1.83	24.65	16.63	1.48	R. Torrentiel
19	160.66	7.29	1.88	1.67	22.03	16.14	1.37	R. Torrentiel
20	160.66	7.56	1.99	1.61	21.25	16.02	1.33	R. Torrentiel
21	160.66	7.07	1.79	1.72	22.73	16.19	1.40	R. Torrentiel
22	160.66	4.75	1.01	2.52	33.81	17.78	1.90	R. Torrentiel
23	160.66	5.50	1.29	2.11	29.20	17.61	1.66	R. Torrentiel

- **Interprétation des résultats :**

Les résultats de simulations ont montré un régime torrentiel le long d’oued Kouider, et une vitesse varie de 4 m/s à 11 m/s et hauteur du canal varie de 2.3 m à 2.6 m, cette valeur de vitesse reste admissible pour un béton armé.

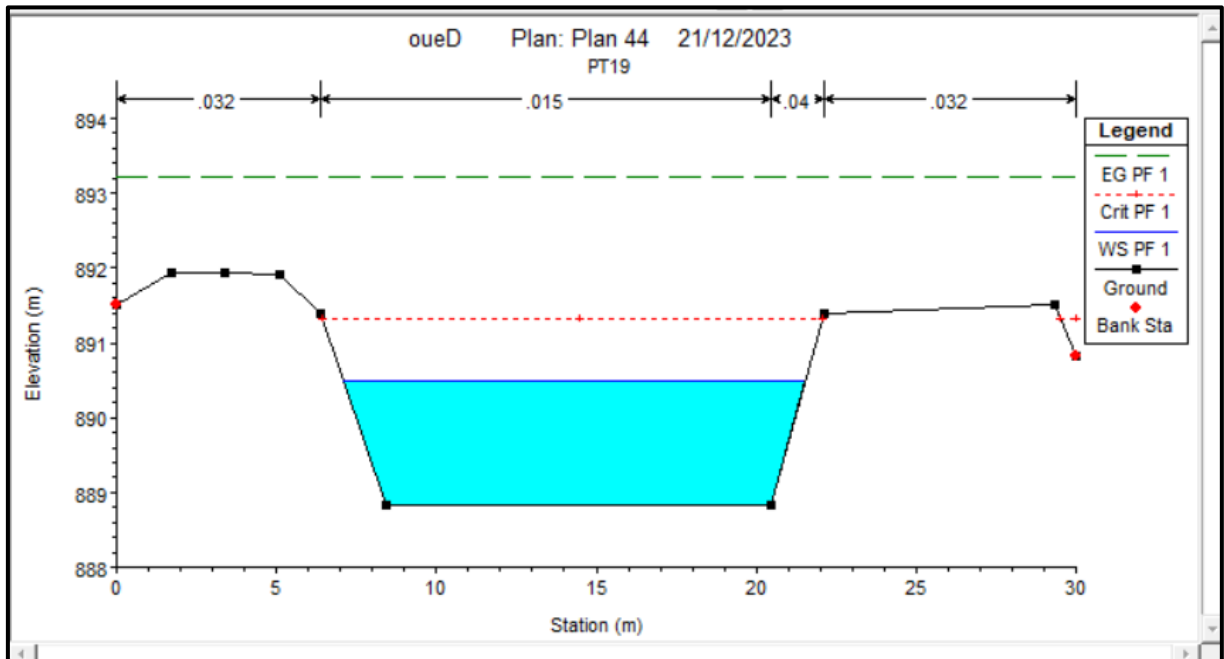


Figure V.2: Profil en travers d’Oued Kouider aménagé avec un canal trapézoïdal en béton armé.

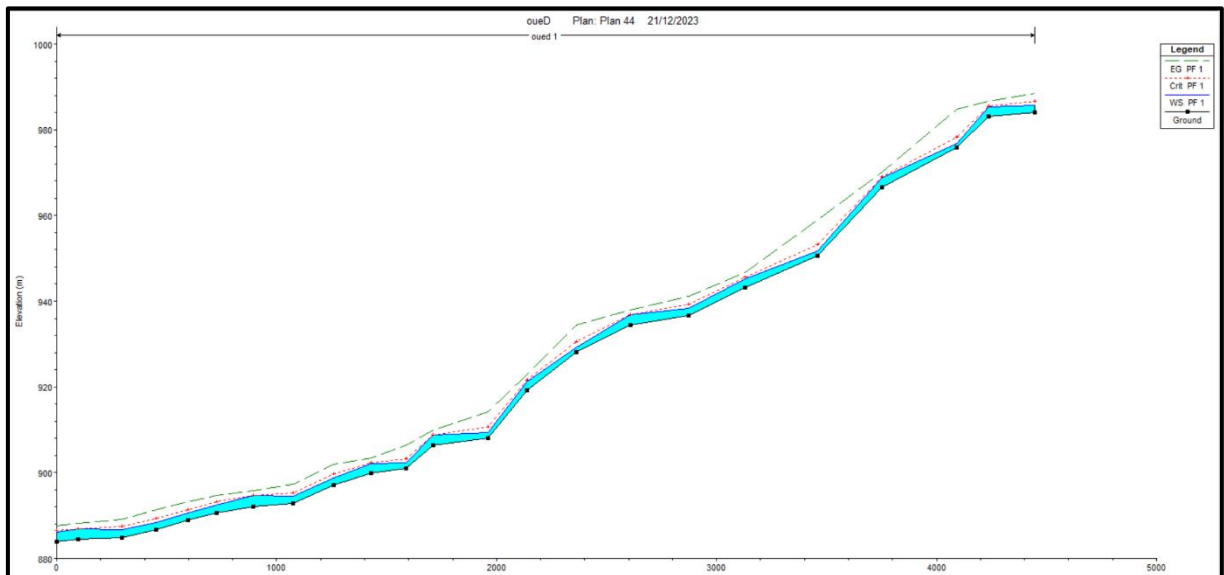


Figure V.3: Profil en long de l’oued Kouider aménagé avec un canal trapézoïdal en béton armé.

V.3.2 Deuxième variante : Canal rectangulaire (murs de soutènement) :

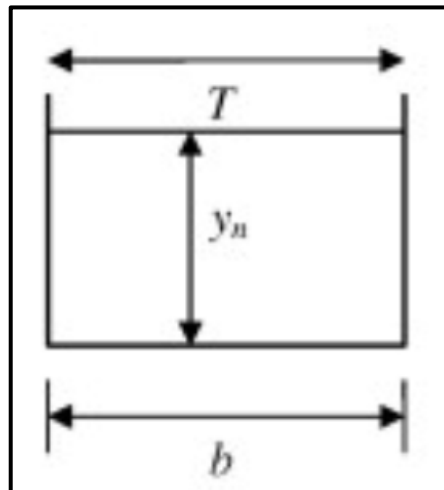


Figure V.4: Un canal rectangulaire

V.3.2.1 Dimensionnement :

Les résultats de calcul sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau V.7: Dimensions de l'aménagement d'Oued Kouider (canal rectangulaire en béton armé).

Tronçons	Section départ	Section arrivée	Longueur (m)	Pente projet (%)	Largeur du fond b (m)	Hauteur du canal H (m)
1	22	23	209.818	0.005	12	3
2	21	22	145.296	0.005	12	3
3	20	21	337.851	0.005	12	3
4	19	20	292.987	0.005	12	2.8
5	18	19	329.236	0.005	12	2.8
6	17	18	256.287	0.005	12	3
7	16	17	263.693	0.005	12	2.8
8	15	16	248.83	0.005	12	3
9	14	15	223.028	0.005	12	3
10	13	14	177.901	0.005	12	3.1
11	12	13	247.469	0.005	12	3.1

12	11	12	123.206	0.005	12	3
13	10	11	160.296	0.005	12	3.1
14	09	10	168.802	0.005	12	3
15	08	09	184.635	0.005	12	3
16	07	08	180.673	0.005	12	3
17	06	07	169.041	0.005	12	2.8
18	05	06	129.503	0.005	12	3
19	04	05	144.991	0.005	12	3.1
20	03	04	155.846	0.005	12	3.1
21	02	03	197.062	0.005	12	3
21	01	02	98.93	0.005	12	3
23	00	01	166.114	0.005	12	3

V.3.2.2 Les paramètres d'écoulement :

Les résultats de la simulation seront représentés dans le tableau suivant :

Tableau V.6: Paramètres d'écoulement de la variante canal rectangulaire

Profils	Débit (m³/s)	Vitesse (m/s)	Froude	Tirant d'eau (m)	Section Mouillée (m²)	Périmètre mouillé (m)	Rayon Hydraulique (m)	Régime
1	160.66	8.34	2.10	1.6	19.26	15.21	1.10	R. Torrentiel
2	160.66	5.37	1.09	2.49	29.93	16.99	0.98	R. Torrentiel
3	160.66	11.55	3.88	1.07	12.80	14.13	1.36	R. Torrentiel
4	160.66	5.57	1.15	2.4	28.86	16.81	0.74	R. Torrentiel
5	160.66	11.60	3.89	1.03	12.45	14.08	0.99	R. Torrentiel
6	160.66	5.58	1.15	2.4	29.00	19.51	1.05	R. Torrentiel
7	160.66	7.75	1.88	1.73	20.74	15.46	0.90	R. Torrentiel
8	160.66	6.22	1.35	2.16	25.83	16.30	1.11	R. Torrentiel
9	160.66	10.30	2.88	1.3	15.61	14.60	1.46	R. Torrentiel

10	160.66	6.57	1.47	2.04	24.46	16.08	1.04	R. Torrentiel
11	160.66	10.29	2.88	1.31	15.62	14.60	0.79	R. Torrentiel
12	160.66	6.14	1.33	2.19	26.17	16.36	1.23	R. Torrentiel
13	160.66	11.16	3.25	1.2	14.40	14.40	1.21	R. Torrentiel
14	160.66	7.24	1.70	1.85	22.18	15.70	0.40	R. Torrentiel
15	160.66	8.77	2.41	1.52	18.33	16.68	1.31	R. Torrentiel
16	160.66	10.12	2.81	1.32	15.87	14.65	1.07	R. Torrentiel
17	160.66	7.11	1.65	1.88	22.61	15.77	0.47	R. Torrentiel
18	160.66	7.45	1.78	1.79	21.55	15.59	0.65	R. Torrentiel
19	160.66	8.32	2.10	1.61	19.30	15.22	0.45	R. Torrentiel
20	160.66	8.74	2.25	1.54	18.39	15.07	0.55	R. Torrentiel
21	160.66	8.46	2.15	1.58	18.98	15.16	0.73	R. Torrentiel
22	160.66	5.44	1.11	2.46	29.54	16.92	0.93	R. Torrentiel
23	160.66	6.01	1.29	2.22	26.72	16.45	0.64	R. Torrentiel

- **Interprétation des résultats :**

Les résultats de simulations ont montré un régime Torrentiel le long d'oued Kouider, et une vitesse varie de 5 m/s à 11 m/s et hauteur du mur varie de 2.8 m à 3.1 m, cette valeur de vitesse reste admissible pour un béton armé.

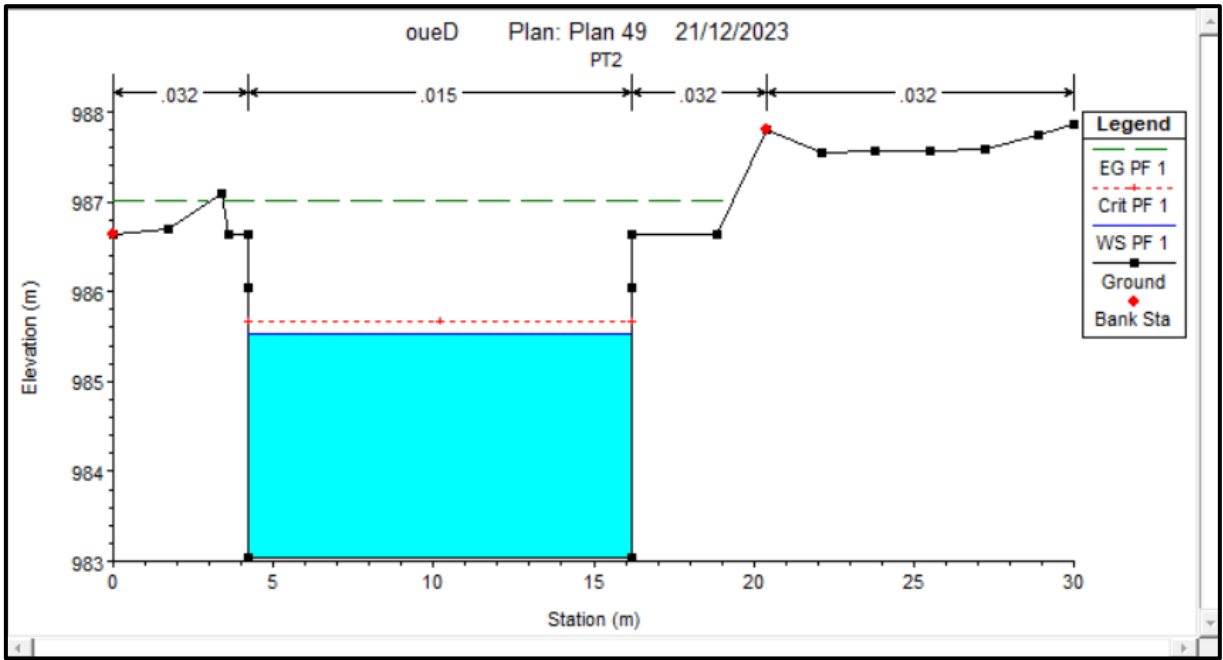


Figure V.5: Profil en travers d'Oued Kouider aménagé avec un canal rectangulaire en béton armé.

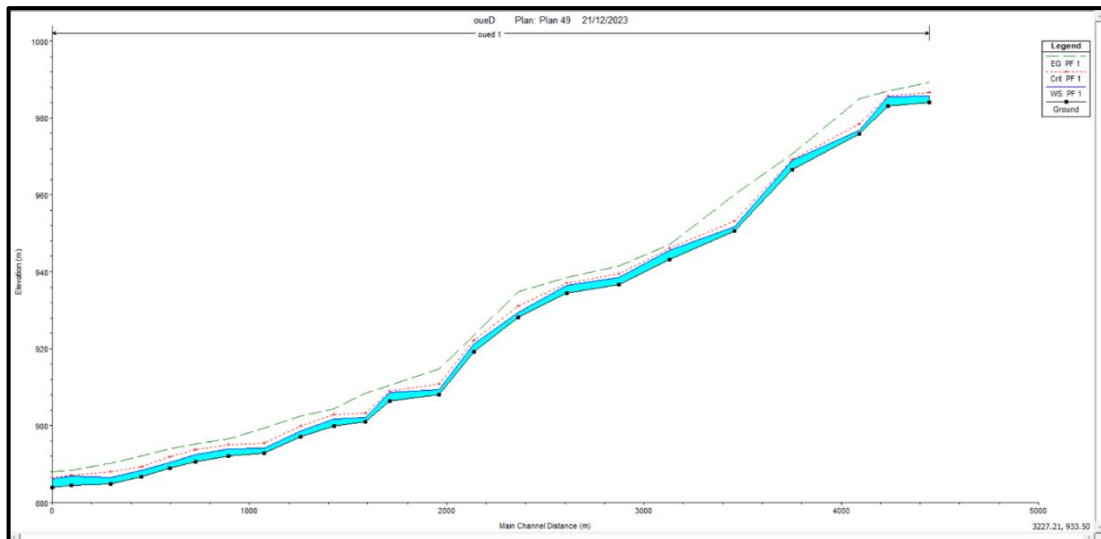


Figure V.6: Profil en long de l'oued Kouider aménagé avec un canal rectangulaire en béton armé.

V.3.3 Troisième variante : Canal en gabion :

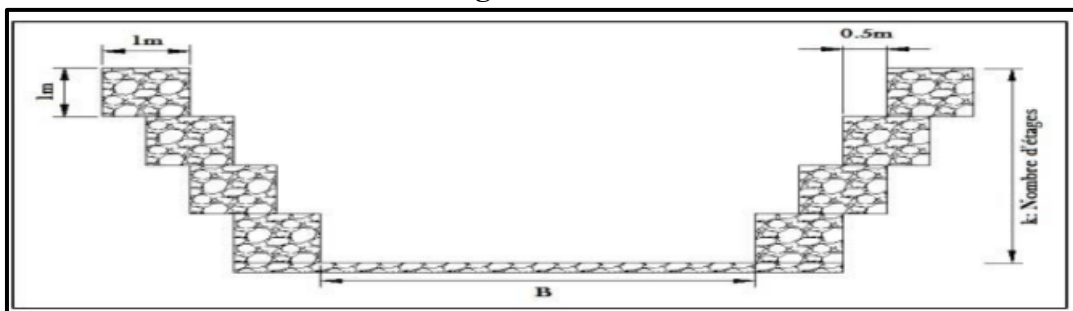


Figure V.7: Coupe en travers d'un canal en gabion

Tableau V.8: Caractéristiques géométriques de la section gabionnée.

Caractéristique	Section S_m (m^2)	$P_m(m)$	Rayon hydraulique
relations	$\frac{1}{2}k(k-1) + bk$	$b+3k-1$	$\frac{0.5k(k-1) + bk}{b + 3k - 1}$

K : nombre d'étages ; **b** : base canal.

On fixe la largeur de la base puis on calcule le nombre d'étage qui puisse évacuer le débit de crue.

V.3.3.1 Dimensionnement :

Les dimensions de l'aménagement sont résumées dans le tableau ci-après :

Tableau V.9: Dimensions de l'aménagement d'Oued Kouider (canal en gabion).

Tronçons	Section Départ	Section Arrivée	Longueur (m)	Pente Projet (%)	Largeur du fond b (m)	Hauteur du canal H (m)
1	22	23	209.818	0.005	10	4.1
2	21	22	145.296	0.005	10	4.1
3	20	21	337.851	0.005	10	4
4	19	20	292.987	0.005	10	4.1
5	18	19	329.236	0.005	10	4
6	17	18	256.287	0.005	10	4
7	16	17	263.693	0.005	10	3.9
8	15	16	248.83	0.005	10	3.9
9	14	15	223.028	0.005	10	4
10	13	14	177.901	0.005	10	4
11	12	13	247.469	0.005	10	3.9
12	11	12	123.206	0.005	10	4
13	10	11	160.296	0.005	10	4
14	09	10	168.802	0.005	10	4
15	08	09	184.635	0.005	10	4.1
16	07	08	180.673	0.005	10	4
17	06	07	169.041	0.005	10	4.1

18	05	06	129.503	0.005	10	4.1
19	04	05	144.991	0.005	10	4.1
20	03	04	155.846	0.005	10	4
21	02	03	197.062	0.005	10	4
21	01	02	98.93	0.005	10	3.9
23	00	01	166.114	0.005	10	3.9

V.3.3.2 Les paramètres d'écoulement :

Les résultats de la simulation seront représentés dans le tableau suivant :

Tableau V.10: Paramètres d'écoulement de la variante canal rectangulaire

Profils	Débit (m ³ /s)	Vitesse (m/s)	Froude	Tirant d'eau (m)	Section Mouillée (m ²)	Périmètre mouillé (m)	Rayon hydraulique (m)	Régime
1	160.66	6.27	1.3	1.79	19.43	15.57	1.25	R. Torrentiel
2	160.66	4.87	1.01	2.79	33.02	19.57	1.69	R. Torrentiel
3	160.66	7.21	1.49	1.34	15.74	15.93	0.99	R. Torrentiel
4	160.66	5.05	1.07	2.7	31.84	19.41	1.64	R. Torrentiel
5	160.66	7.32	1.6	1.17	12.06	14.34	0.84	R. Torrentiel
6	160.66	5.31	1.15	2.59	30.24	19.18	1.58	R. Torrentiel
7	160.66	6.58	1.36	1.93	21.20	15.87	1.34	R. Torrentiel
8	160.66	4.83	1.00	2.81	33.24	19.61	1.70	R. Torrentiel
9	160.66	7.32	1.51	1.78	19.31	15.55	1.24	R. Torrentiel
10	160.66	5.68	1.30	2.36	28.27	19.26	1.47	R. Torrentiel
11	160.66	7.63	1.90	1.8	21.06	16.44	1.28	R. Torrentiel
12	160.66	4.85	1.01	2.8	33.11	19.59	1.69	R. Torrentiel
13	160.66	6.69	1.38	1.54	16.58	15.10	1.10	R. Torrentiel

14	160.66	4.85	1.01	2.8	33.14	19.59	1.69	R. Torrentiel
15	160.66	6.19	1.34	2.33	25.96	16.66	1.56	R. Torrentiel
16	160.66	3.39	0.63	3.71	47.35	23.42	2.02	R. Fluvial
17	160.66	4.23	0.82	3.14	38.00	20.29	1.87	R. Fluvial
18	160.66	4.96	1.00	2.79	32.39	18.60	1.74	R. Torrentiel
19	160.66	5.76	1.21	2.49	27.91	16.98	1.64	R. Torrentiel
20	160.66	5.49	1.12	2.61	29.24	17.21	1.70	R. Torrentiel
21	160.66	3.10	0.51	4.13	51.86	22.27	2.33	R. Fluvial
22	160.66	4.12	0.73	3.42	38.99	18.83	2.07	R. Fluvial
23	160.66	4.83	1.00	2.8	33.27	19.61	1.70	R. Torrentiel

• **Interprétation des résultats :**

Les résultats de simulations ont montré un régime torrentiel le long d’oued Kouider, et une vitesse varie de 3.10 m/s à 7.32 m/s, cette valeur de vitesse reste admissible pour un gabion.

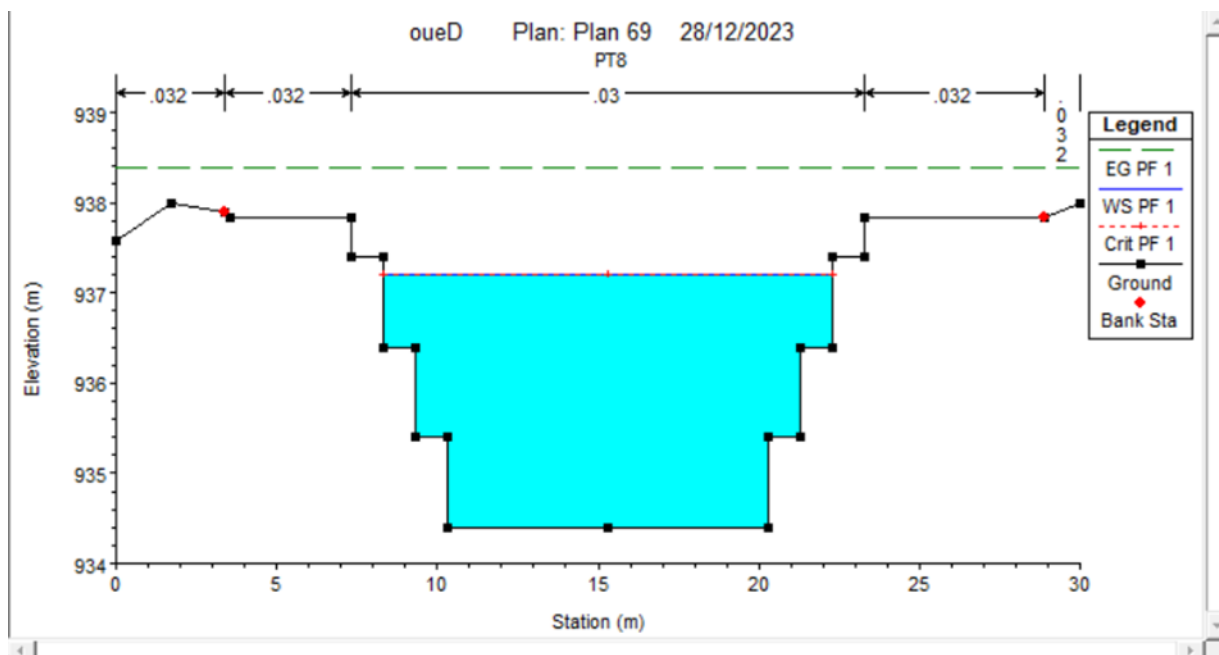
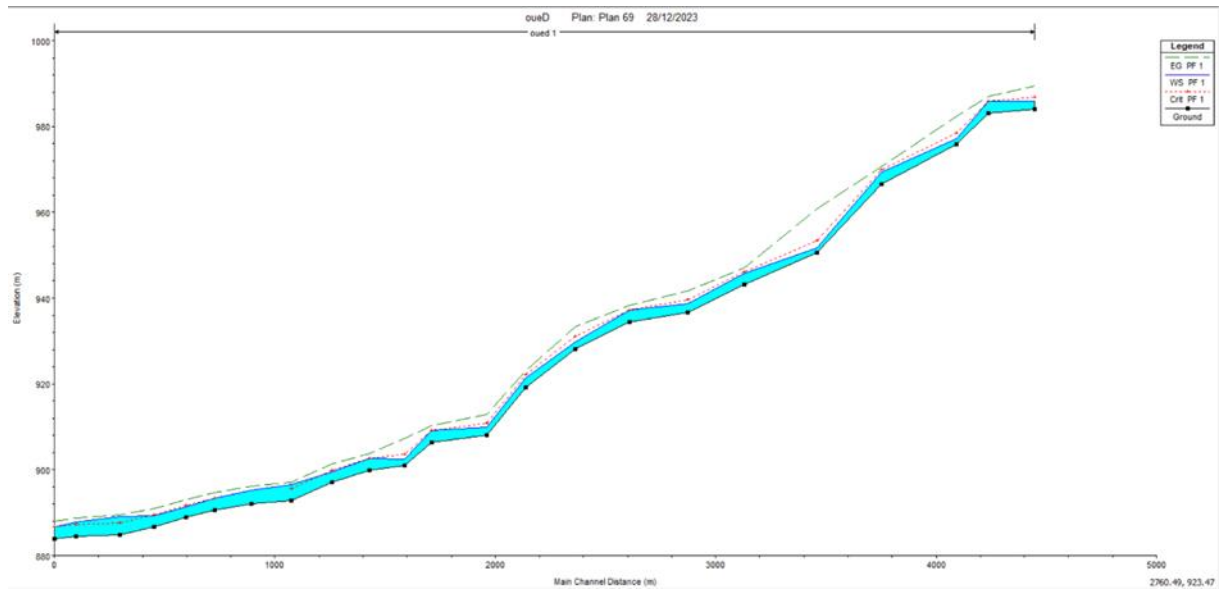


Figure V.8: Profil en travers d’Oued Kouider aménagé avec un canal en gabion.



- **Comparaison :**

Le régime d'écoulement pour le revêtement en béton est torrentiel sur toutes longueurs de l'oued par contre le régime change fréquemment du torrentiel au fluvial ou l'inverse pour le gabion.

On constate que les deux types d'aménagement ont pu contenir une crue centennale en termes de vitesse et hauteur de l'eau mais le revêtement en béton est plus efficace en temps d'évacuation de la crue.

V.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, on a présenté et calculé 3 variantes pour l'aménagement d'oued Kouider et vérifié leur capacité hydraulique pendant une crue.

On a remarqué à la fin que les 3 variantes ont la capacité de retenir une crue centenaire sans danger de débordement ou d'érosion.

CHAPITRE. VI
CALCUL DE
FERRAILLAGE

CHAPITRE VI. Calcul de ferrailage

VI.1 Introduction :

VI.1.1 Définition d'un Mur de soutènement :

Il existe une différence de niveaux entre deux points a et b d'un terrain, la ligne de raccordement ab n'est généralement pas verticale ; cette ligne ab fait, avec l'horizontale, un angle φ appelé angle du talus naturel des terres.

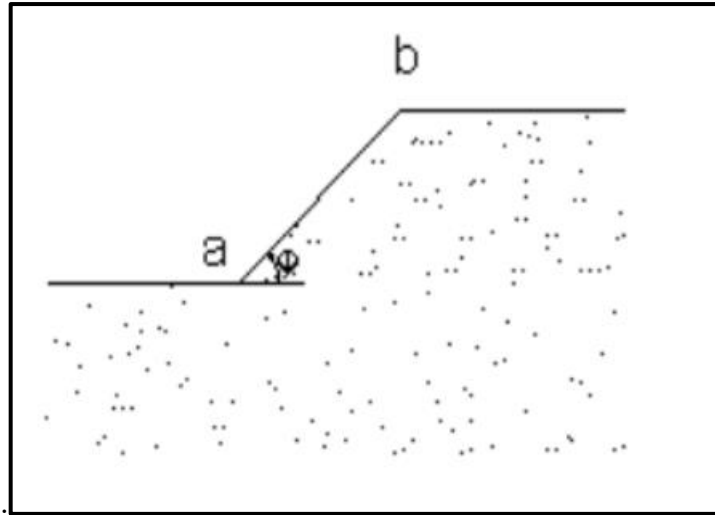


Figure VI.1: Mur de soutènement

Cet ouvrage porte le nom de mur de soutènement, il peut être en maçonnerie ou en béton (armé ou non).

VI.1.2 Constitution des Mur de soutènement :

Un mur de soutènement en béton armé se compose habituellement des éléments suivants :

Le rideau Ri absorbe la poussée terrestre et est fermé en haut par des nervures de renfort n. Ce rideau est soutenu par des contreforts C, qui sont généralement équipés de barbacanes Ba tous les 2 à 3 m pour éviter que l'eau ne s'accumule derrière le mur, ce qui aurait un impact supplémentaire.

Une semelle S qui sert de fondation à l'ouvrage et qui débordent en avant du rideau, jusqu'au point A, de manière à assurer une meilleure répartition des pressions sur le sol. Du côté des terres, la semelle est généralement terminée par une nervure B, appelée bêche, qui, par l'ancrage qu'elle réalise dans le sol, s'oppose au glissement de l'ouvrage, glissement provoqué par la composante horizontale Q de la poussée des terres.

Des contreforts C, régulièrement espacés, qui sont destinés à solidariser le rideau et la semelle et à maintenir ainsi les positions relatives de ces éléments.

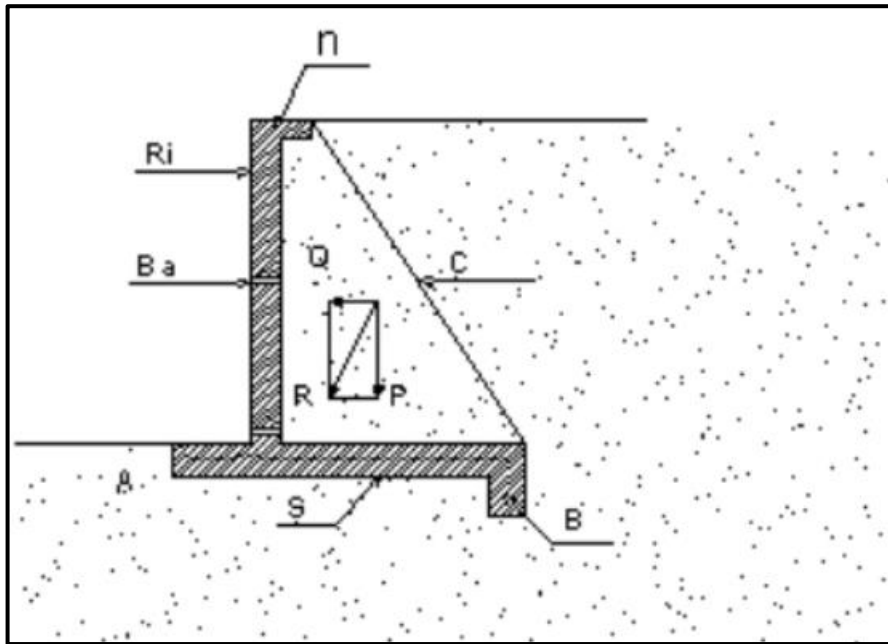


Figure VI.2: Un mur de soutènement en béton armé

VI.2 Actions à prendre en compte :

Les actions à prendre en compte comprennent :

VI.2.1 Les actions permanentes :

- Ces actions à prendre en compte incluent :
- Le poids propre de la structure.
- Le poids des superstructures.
- Le poids des équipements fixes.
- Éventuellement, les poids et les poussées exercées par les terres.
- Les déformations imposées, notamment les tassements différentiels et les retraits.

VI.2.2 Les actions variables :

- D'autres mesures à envisager comprennent :
- Le poids et la poussée du fluide impliqué, en tenant compte de la situation lorsque la structure est vide.
- Les charges climatiques, telles que le vent et la neige.
- Les charges sur le terrain environnant.
- Les effets thermiques.
- Les dépressions et surpressions.

VI.2.3 Les événements accidentels :

Les tremblements de terre, inondations, secousses, etc. sont généralement détaillés dans des documents spécifiques. Cela inclut la prise en compte de la poussée exercée par la masse terrestre.

VI.2.4 Les forces exercées sur le canal :

Dans ce contexte, outre le poids du canal lui-même, les facteurs suivants doivent être pris en compte :

- La pression de l'eau agit de l'intérieur vers l'extérieur.
- Pression de l'eau de l'extérieur vers l'intérieur.
- Pression de la masse de sol externe agissant de l'extérieur vers l'intérieur.

Dans notre analyse, tous les calculs sont effectués en considérant le scénario le plus restrictif, c'est-à-dire la section efficace maximale du canal.

VI.3 Etude de stabilité du canal :

La stabilité d'un canal est déterminée par plusieurs facteurs tels que la forme du canal, le type de matériau utilisé pour le revêtement du canal, la vitesse de l'eau et d'autres conditions environnementales.

Les étapes générales pour vérifier la stabilité du canal sont :

VI.3.1 Calcul des forces :

➤ Les forces motrices :

Poussée des terres, les forces extérieures (surcharges), la force de l'eau.

➤ Les forces résistantes :

Poids du canal, poids du terrain mort

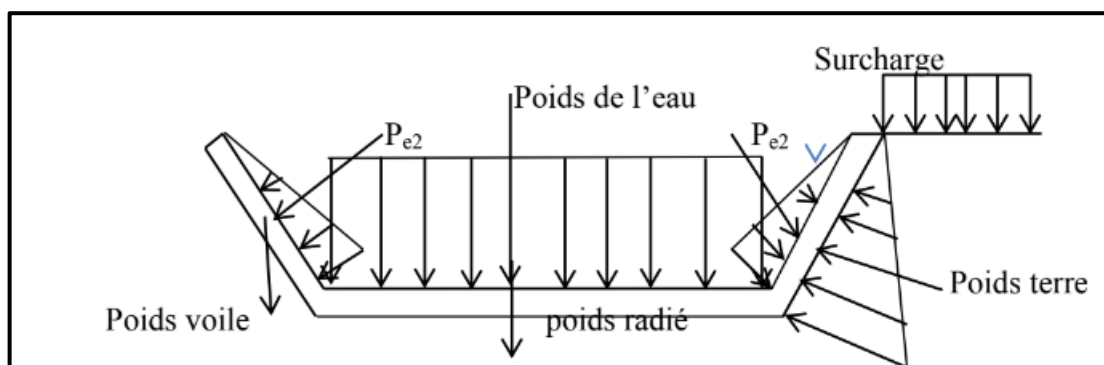


Figure VI.3: schéma statique des efforts

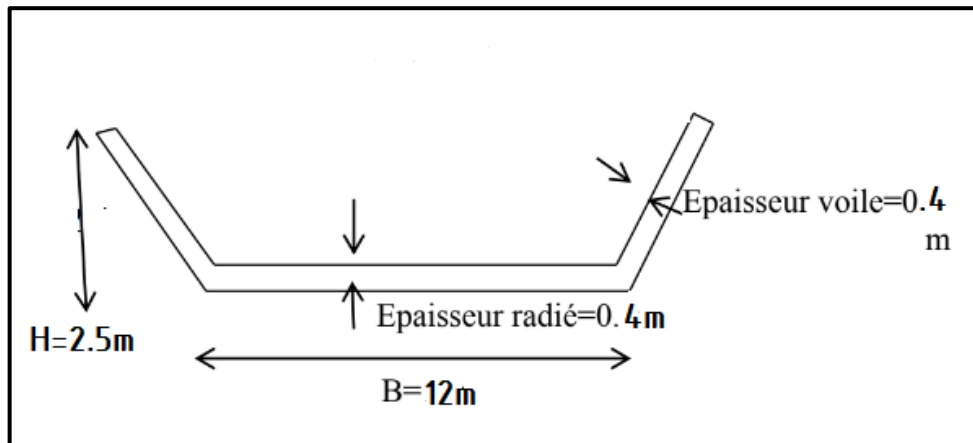


Figure VI.4: La géométrie du canal

Les valeurs du calcul sont présentées dans le tableau ci-après :

Tableau VI.1: Caractéristiques mécaniques

Notation	Désignation	Valeur
Poids des terres	γ_t	18 KN/m ³
La cohésion	C	0
L'angle de frottement	Φ	30°
La surcharge	S	10KN/m ²
Poids du béton	γ_b	25KN/m ³
Poids de l'eau	γ_w	10KN/m ³

Le tableau suivant représenter les poids calculés :

Tableau VI.2: Les charges et les surcharges

Notation	Effort en KN
Poids radié	98.1KN
Poids voûte	16.27KN
$P_{\text{eau 1}}$	312.01 KN
$P_{\text{eau 2}}$	52.91KN
Poids des terres	35.27 KN
Poids des terres selon l'axe X	19.73 KN
Poids des terres selon l'axe Y	28.71 KN
P_{e1} selon X	29.28 K N
P_{e2} selon Y	44.07 KN

Le tableau suivant représenter le calcul les moments de stabilisation et de

Renversement dans l'ELU et l'ELS :

Tableau VI.3: les moments à l'ELU et l'ELS

L'ELU	Moment stabilisatrice	4003.84KN.m
	Moment de renversement	642.60KN.m
L'ELS	Moment stabilisatrice	244.80KN.m
	Moment de renversement	454.90KN.m

Le tableau suivant représente les lois de calcul :

Tableau VI.4: les lois de calcul des charges

La charge	La loi de calcul
Poids de radier	$\gamma_b \cdot S_{\text{radier}} \cdot 1$
Poids du voile	$\gamma_b \cdot V_{\text{voile}}$
Poids d'eau	$\gamma_w \cdot h_e$
Poids des terres	$\frac{1}{2} \gamma_t + 1^2 \cdot K_a$
Poids des terres selon l'axe X	$P_t \cdot \sin(\alpha)$
Poids des terres selon l'axe Y	$P_t \cdot \cos(\alpha)$
Poids d'eau selon l'axe X	$P_e \cdot \sin(\alpha)$
Poids d'eau selon l'axe Y	$P_e \cdot \cos(\alpha)$

VI.3.1.1 La stabilité au glissement :

La stabilité au glissement par la méthode classique :

$$F_G = \frac{\sum \text{forces stabilisatrices}}{\sum \text{forces déstabilisatrices}} > 1.5$$

$$F_G = 12.52 > 1.5 \text{ alors vérifié}$$

Le tableau ci-après représente les lois de calcul des forces :

Tableau VI.5: les forces stabilatrices et déstabilatrices

La force	La loi de calcul
Les forces horizontales	$P_{tx1} + P_{e2x} - P_{e2x} - P_{tx2} + F_H$
Les forces verticales	$2P_{voile} + 2P_{e2y} + P_{e1} + P_{\text{radier}} - 2P_{ty1}$

VI.3.1.2 La stabilité au renversement :**La stabilité au renversement par la méthode classique :**

$$F_R = \frac{\sum \text{moments stabilisatrices}}{\sum \text{moments déstabilisatrices}} > 2$$

$F_R = 3.02 > 2$ alors vérifie

Le tableau ci- après montres les lois de calcul :

Tableau VI.6: Les moments stabilisants et déstabilisant.

L'état de calcul	Moment stabilisant	Moment déstabilisant
L'EL S	$P_{\text{radier}} \cdot \frac{10}{2} + P_{\text{el}} \cdot \frac{10}{2} + P_{\text{voile}}$ $(d \cdot 0.1 + 10) + P_{e2y}(x+10) + P_{e2x}$ $(y+0.35) + P_{t2xy} + P_{t2yx}$	$F_H \cdot 3.4/2 + P_{t1xy1} + P_{t1y}(x+10) + P_{e2x}(y+0.35) + P_{e2yx} + P_{\text{voile}}(d-0.10)$
L'EL U	$1.35 \left((P_{\text{radier}} \cdot \frac{10}{2} + P_{\text{voile}}(d-0.1+10) + P_{t2xy1} + P_{t2yx1}) + 1.5 \right.$ $\left. (P_{e2x} + (y+0.35)) + (P_{\text{el}} \cdot \frac{10}{2}) + P_{e2yx1} \right)$	$1.35 (P_{t1xy1} + P_{t1y}(x+10) + P_{\text{voile}}(d-0.1) + 1.5 (F_H \cdot \frac{3.4}{2} + P_{e2x}(y+0.35) + P_{e2yx}))$

VI.3.1.3 La stabilité au poinçonnement :**La stabilité au poinçonnement par la méthode classique :**

$$A \text{ L'ELU: } \sigma_{\text{moy}} = \frac{3\sigma_1 + \sigma_2}{4} = 50.201 \text{ Kpa} < \sigma_{\text{sol}}$$

$$A \text{ L'ELS: } \sigma_{\text{moy}} = \frac{3\sigma_1 + \sigma_2}{4} = 2.711 \text{ Kpa} < 1.5\sigma_{\text{sol}}$$

Avec $\sigma_{\text{sol}} = 200 \text{ Kpa}$

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{100B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right)$$

$$e = \frac{Mg}{N} = 0.04$$

Le tableau ci- après montres les lois de calcul :

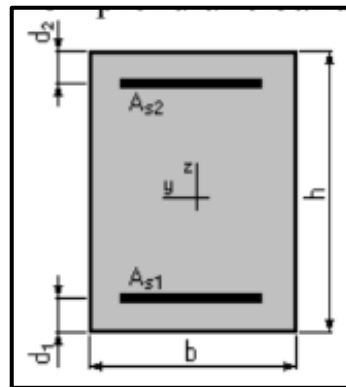
Tableau VI.7: les moments à l'ELU et L'ELS

L'état	LOI DE CALCUL
ELS	$P_{e1} + P_{radier} + 2P_{voile} - 2P_{ty1} + 2P_{e1y}$
ELU	$1.35 (P_{radier} + 2P_{voil} - 2P_{ty1}) + 1.5 (2P_{e1y} + P_{e1})$

VI.4 Le ferrailage :

VI.4.1 Ferrailage des voiles :

On prend une bande de 1m



$$b = 100.0 \text{ (cm)}$$

$$h = 40.0 \text{ (cm)}$$

$$d1 = 3.0 \text{ (cm)}$$

$$d2 = 3.0 \text{ (cm)}$$

$$M_e = 64.58 \text{ KN.m}$$

$$d = 3 \text{ cm}$$

$$\sigma_{bc} = \frac{0.85 * f_{c28}}{\gamma_b} \text{ Alors } \sigma_{bc} = 14.8 \text{ MPa}$$

$$\mu = \frac{M_e}{b^2 * d * \sigma}$$

Alors $\mu = 0.16 < 0.391$ pivot A y'a pas d'acier comprimé

$$A_s = \frac{M_e}{\beta d \delta s} \text{ alors } A_s = 1.19 \text{ cm}^2$$

$$A_{smin} = 0.23.B \text{ alors } A_{smin} = 0.23bd \cdot \frac{f_t}{f_e}$$

$$A_{smin} = 1.64 \text{ cm}^2$$

$$A_s = \max (A_s, A_{smin}) = \max (1.51; 1.19)$$

$$A_s = 1.51 \text{ cm}^2$$

Alors d'après le tableau de ferrailage on prend $A_s = 1.54$

On prend un espacement de 15 cm

D'après le tableau du ferrailage on prend 5 barres de diamètre 8mm

$$A_{\text{rep}} = \frac{A_{\text{choisi}}}{4} = 6.28 \text{ cm}^2$$

D'après tableau du ferrailage on prend 5 barres de diamètres 12 mm

VI.4.2 Ferrailage du radier :

$$M_G = 2.94 \text{ t.m}$$

$$\delta_{\text{moy}} = \frac{3\sigma_1 + \sigma_2}{4} \quad \text{alors } \sigma_{\text{moy}} = 774.329 \text{ kg/cm}$$

$$q_u = \sigma_{\text{moy}} \cdot 100 \quad \text{alors } q_u = 77432.9 \text{ Kg.cm}$$

$$M_u = \frac{q_u \cdot l}{8} \quad \text{alors } M_u = 967911.25 \text{ kg.cm}$$

$$\mu = \frac{M_e}{b^2 \times d \times \sigma} \quad \text{Alors } \mu = 0.066 < 0.392 \quad \text{pivot A y'a pas d'acier comprimé}$$

$$A_s = \frac{M_u}{\beta \times d \times \sigma} \quad \text{alors } A_s = 9.09 \text{ cm}^2 \quad \text{on prend la section } 9.82 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{smin}} = 0.23bd \cdot \frac{f_t}{f_e}$$

$$A_{\text{smin}} = 3.95 \text{ cm}^2$$

Alors $A_s = \max(A_s, A_{\text{smin}})$

$$A_s = 9.09 \text{ cm}^2$$

On prend un espacement de 15 cm

Alors on prend 7 barres de diamètres 14 mm

$$A_{\text{rep}} = \frac{A_{\text{choisis}}}{4} = 10.88 \text{ cm}^2$$

Alors on prend 5 barres de diamètres 14 mm

VI.5 Conclusion :

L'armature en acier a été dimensionnée de manière appropriée pour le canal principal de grande section transversale. Cependant, pour les autres canaux de section plus petite, nous avons décidé de minimiser la quantité d'acier utilisée en raison de leurs petites dimensions.

CHAPITRE. VII
ORGANISATION DU
CHANTIER

CHAPITRE VII. Organisation du chantier

VII.1 Introduction :

Après la phase de recherche effectuée au bureau plutôt que sur place, arrive une étape très importante dont le but est de résoudre les problèmes posés, à savoir la réalisation et la conception du projet et d'en assurer le bon déroulement. Sur chantier, une phase intermédiaire aura lieu pour donner de la flexibilité au travail, qui est l'organisation du chantier.

Pour atteindre cet objectif, il est impératif que :

- Définir précisément les méthodes d'exécution et les modes de fonctionnement Permet une mise en œuvre efficace des techniques de construction modernes.
- Déterminer la quantité et la qualité du personnel à embaucher ainsi que les coûts de main-d'œuvre
- Construire correctement des postes de travail stables, nous le faisons Une mécanisation de plus en plus avancée sera utilisée.

VII.2 Rôles et responsabilités des intervenants sur chantier :

L'équipe de réalisation d'un projet est composée principalement par :

VII.2.1 Maître de l'ouvrage :

Dans le contexte de l'organisation d'un chantier, le rôle du maître de l'ouvrage est essentiel pour garantir le bon déroulement du projet. Voici quelques aspects de l'organisation du chantier liés au maître de l'ouvrage :

- Définition des besoins et objectifs
- Gestion financière
- Planification du chantier
- Communication et coordination

VII.2.2 Maître d'œuvre :

L'organisation du chantier est l'une des responsabilités clés du maître d'œuvre dans le cadre d'un projet de construction. Voici quelques-unes des tâches liées à l'organisation du chantier qu'un maître d'œuvre peut prendre en charge :

- Gestion des ressources
- Suivi des délais
- Contrôle de la qualité

VII.2.3 L'entreprise :

Personne physique ou morale, titulaire d'un marché de travaux conclu avec le maître d'ouvrage, chargé de :

- Direction de Projet
- Gestion des Ressources Humaines
- Contrôle des Coûts

VII.3 Installations du chantier :

VII.3.1 Installations destinées au personnel :

Lorsqu'on parle d'installations de chantier destinées au personnel, on fait généralement référence aux infrastructures et aux équipements mis en place sur un site de construction pour répondre aux besoins des travailleurs

VII.3.2 Installations destinées au stockage des matériaux :

L'installation de chantier pour le stockage des matériaux est une étape importante dans la planification et la gestion de tout projet de construction

- Pour les ciments nous utilisons des silos
- Les agrégats sont stockés en plein air
- Les aciers doivent être stockés dans des endroits loin de la forte humidité

VII.3.3 Installations destinées à la réparation des engins :

L'installation de chantier pour la réparation des engins est une étape cruciale dans la gestion de tout projet de construction ou de maintenance d'équipements lourds

VII.3.4 La préfabrication :

En général, il s'agit de hangars dotés des équipements nécessaires permettant d'effectuer des éléments de travail.

VII.3.5 Succession des opérations du chantier :

➤ Travaux préparatoires :

Aménager des routes carrossables et des zones de stockage de matériaux de construction

➤ Exécution de l'ouvrage :

- Creuser des canaux
- Construction de canaux

VII.4 Technologie des principaux travaux :

Nous prévoyons de construire des routes d'accès à tous les chantiers de construction pendant le processus de construction, machines à utiliser sont :

- Pour réaliser les excavations et remblayages, nous utilisons des bulldozers
- Pour extraire les alluvions, nous utilisons une chargeuse sur pneus
- Pour le transport des terres nous utilisons des camions à benne,
- Pour compléter les travaux (nivellement et compactage), nous utilisons le niveleur et compacteur de pneus



Figure VII.1: Bulldozer



Figure VII.2: Pelles hydraulique



Figure VII.3: Camions à benne et Chargeur



Figure VII.4: Grader

VII.5 Devis quantitatif et estimatif du projet :**VII.5.1 Canal trapézoïdale en béton armé :****Tableau VII.1:** Devis de la variante d'un canal trapézoïdale

Désignation Des Travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Terrassement				
Déblais en terrain de toute nature	m ³	39603	250.00	9900750
Remblai compacté	m ³	58177	200.00	11635400
Génie civil				
Béton de propreté	m ³	5520	6 000.00	33120000
Béton armé	m ³	33120	32 000.00	1059840000
TOTAL HT				1114496150
TVA 19%				211754268.5
TOTAL TTC				1326250419.00 DZD

(Source : Algérie prix construction)

VII.5.2 Canal rectangulaire en béton armé :**Tableau VII.2:** Devis de la variante d'un canal rectangulaire

Désignation Des Travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Terrassement				
Déblais en terrain de toute nature	m ³	27661	250.00	6915250
Remblai compacté	m ³	80320	200.00	16064000
Génie civil				
Béton de propreté	m ³	5520	6 000.00	33120000
Béton armé	m ³	51851.2	32 000.00	1659238400
TOTAL HT				1715337650
TVA 19%				325914153.5
TOTAL TTC				2041251804.00 DZD

(Source : Algérie prix construction)

VII.5.3 Canal en gabion :**Tableau VII.3:** Devis de la variante d'un canal rectangulaire

Désignation Des Travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Terrassement				
Déblais en terrain de toute nature	m ³	24373	250.00	6093250
Remblai compacté	m ³	76258	200.00	15251600
Génie civil				
Gabion pour les talus	m ³	276000	7500.00	2070000000
TOTAL HT				2091344850
TVA 19%				397355521.5
TOTAL TTC				2488700372.00 DZD

(Source : Algérie prix construction)

VII.6 Planification :**VII.6.1 Définition :**

C'est une méthode dont dispose le cadre pour rendre son travail efficace, elle consiste :

- Élaboration d'un plan détaillé du chantier en collaboration avec les ingénieurs, architectes et entrepreneurs.
- Identification des tâches spécifiques à réaliser, des ressources nécessaires et des délais associés à chaque étape

VII.6.2 Techniques de la planification :

Il existe deux méthodes principales de planification :

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

VII.6.2.1 Méthodes basées sur le réseau :**a) Définition du réseau :**

Un réseau est une représentation graphique d'un projet qui permet de voir les liens entre différentes opérations, qui peuvent être séquentielles, simultanées, convergentes, ainsi que leur durée.

Il existe deux types de réseaux :

➤ **Réseau à flèches :**

L'opération est représentée par une flèche et la succession des opérations par des nœuds

L'opération A précède l'opération B

➤ **Réseau à nœuds :**

L'opération est représentée par un nœud et l'ordre des opérations est représenté par des flèches

Le processus (B) ne peut pas être démarré tant que le processus (A) n'est pas terminé.

b) Construction du réseau :

Pour construire le réseau, les six (6) opérations suivantes doivent être effectuées :

- **Définir les objectifs du projet :** Comprenez les objectifs du projet de construction, les délais, les ressources disponibles, le budget et les exigences spécifiques.
- **Identifier les tâches :** Divisez le projet en tâches spécifiques. Chaque tâche doit être clairement définie et avoir des critères d'achèvement bien définis.
- **Séquencer les tâches :** Déterminez l'ordre dans lequel les tâches doivent être réalisées. Certaines tâches peuvent être effectuées simultanément, tandis que d'autres doivent être séquentielles.
- **Estimer les durées :** Estimez la durée nécessaire pour chaque tâche. Cela peut être basé sur l'expérience passée, les données historiques ou des estimations fournies par des experts.
- **Établir les dépendances entre les tâches :** Identifiez les relations de dépendance entre les différentes tâches. Certaines tâches ne peuvent commencer que lorsque d'autres sont terminées, tandis que certaines peuvent être réalisées en parallèle.

Créer le diagramme de Gantt ou le réseau PERT : Utilisez un outil de gestion de projet pour représenter visuellement le réseau d'organisation de chantier.

c) Différentes méthodes basées sur le réseau :

➤ **Méthode C.P.M (méthode du chemin critique) :**

Est une technique de gestion de projet qui vise à identifier la séquence d'activités critiques qui détermine la durée totale du projet en tenant compte de trois phases :

1ère phase : indiquer les dates de début et de fin à côté de chaque activité.

2ème phase : pour déterminer la durée de toute la séquence, référer à la date de fin de la dernière activité de cette séquence.

3ème phase : la séquence d'activités qui dure le plus longtemps correspond au chemin critique.

➤ **Method P.E.R.T (Program Evaluation and Review Technical)**

C'est-à-dire technique d'ordonnancement des tâches et contrôle des programmes ,est une technique de gestion de projet qui a été développée dans les années 1950 par la marine américaine pour la planification et le contrôle de projets complexes tels que les projets de recherche et développement.

➤ **Method P.D.M (Procedure Diagram Method):**

C'est une méthode basée sur un réseau de nœuds qui développe trois (3) relations, à savoir :

1. Commencement de l'opération (A) et (B)
2. Finition de l'opération (A) et commencement de (B)
3. Finition de l'opération (A) et finition de l'opération (B)

VII.6.2.2 Méthodes basées sur le graphique :

a) Méthode linéaire (ligne of balance technic) :

Cette méthode est destinée à la planification de projets de construction nécessitant des travaux répétitifs.

b) Méthode à barres :

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

VII.6.2.3 Les étapes de la planification :

La planification est le processus de contrôle des travaux à réaliser et comprend les étapes suivantes :

- **Collection des informations :** Produire une analyse synthétique des informations obtenues grâce à la recherche comparative permet une utilisation correcte des plans de mise en œuvre des projets.
- **Décomposition du projet :** C'est une partie importante car chaque projet peut être analysé de différentes manières. Nous désignons une personne responsable de chaque tâche et de ses exigences matérielles.
- **Relations entre les tâches :** Il existe deux relations principales entre les tâches une fois terminées. L'un fait référence à l'ordre logique et l'autre à l'ordre préférentiel.

VII.6.2.4 Choix de la méthode de calcul :

Le choix de la méthode de calcul dépend essentiellement du type de structure à construire. Si les opérations se succèdent, comme dans notre cas, nous recommandons de choisir la méthode C.P.M.

➤ **Les paramètres de la méthode C.P.M :**

Les paramètres requis lors de l'exécution de cette méthode sont :

DCP **TR**

DFP **DCPP**

DFPP **MT**

Avec :

TR : temps de réalisation.

DCP : date de commencement au plus tôt.

DCPP : date de commencement au plus tard.

DFP : date de finition au plus tôt.

DFPP : date de finition au plus tard.

MT : marge totale.

Avec :

- **DFP = DCP + TR**
- **DCPP = DFPP - TR**
- **VII.5.4.2. Chemin critique (C.C) :**

C'est le chemin qui indique la durée totale (DTR) du projet et relie les tâches avec une durée totale de 0.

Donc, pour retrouver un chemin critique il suffit de vérifier la double condition suivante :

$$C.C \Leftrightarrow \begin{cases} MT = 0 \\ \sum TR_{C.C} = D.T.P \end{cases}$$

VII.6.2.5 Elaboration du réseau selon la méthode CPM :

La méthode CPM est une méthode de planification qui vise à réduire le temps et le coût d'exécution d'un projet et à améliorer les performances du travail. Pour construire un réseau, vous devez d'abord définir les différentes tâches de votre travail. Ceux-ci sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VII.4: Elaboration d'un réseau selon la méthode CPM

Les travaux	Opération	Durée
Décapage de la terre végétale et ouverture de piste	A	15 jours
Excavation de la tranchée	B	60 jours
Remblai	C	20 jours
Compactage	D	10 jours
Lit de béton	E	25 jours
Mise en œuvre de gabion	G	60 jours
Le bétonnage	H	90 jours
Travaux de finition	I	10 jours

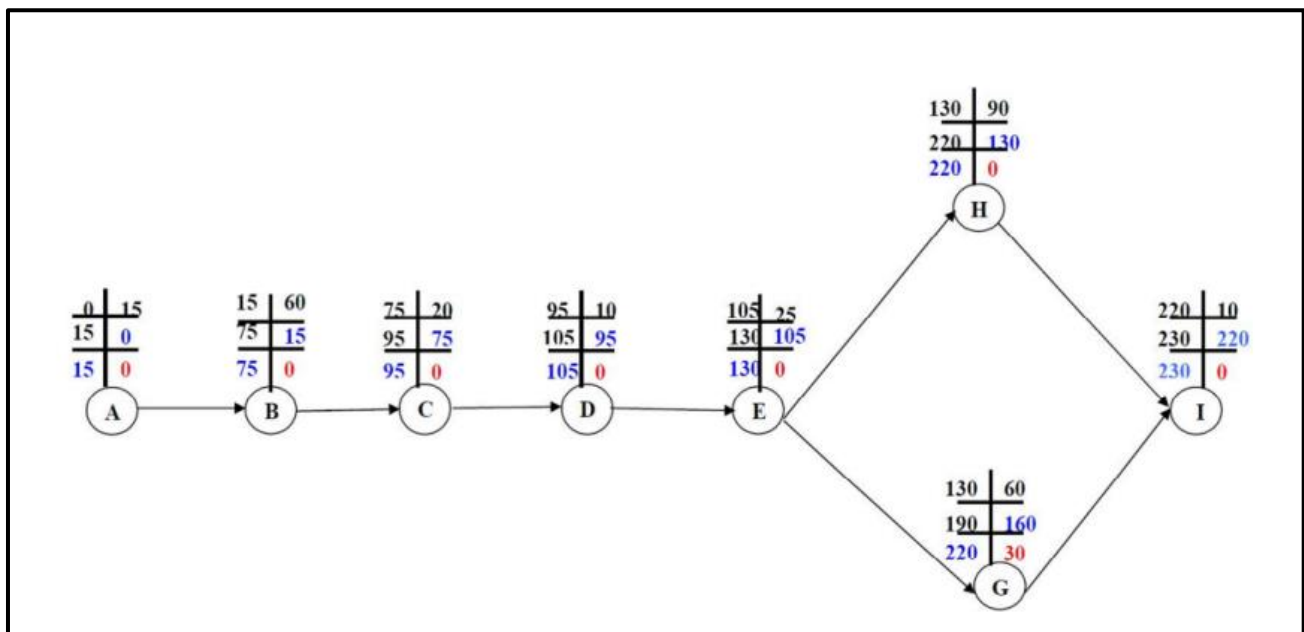


Figure VII.5: Réseau à nœuds

VII.7 Détermination des chemins critiques :

Il s'agit d'un chemin qui représente la durée totale (DTR) du projet et relie les tâches d'une durée totale de 0.

Ainsi on obtient les résultats consignés dans le tableau suivant :

Tableau VII.5: Détermination des chemins critiques.

Opération	TR	D.P		D.F.P		M.T
		D.C.P	D.F.P	D.C.P.P	D.F.P.P	
A	15	0	15	0	15	0
B	60	15	75	15	75	0
C	20	75	95	75	95	0
D	10	95	105	95	105	0
E	25	105	130	105	130	0
G	60	130	190	160	220	30
H	90	130	220	130	220	0
I	10	220	230	220	230	0

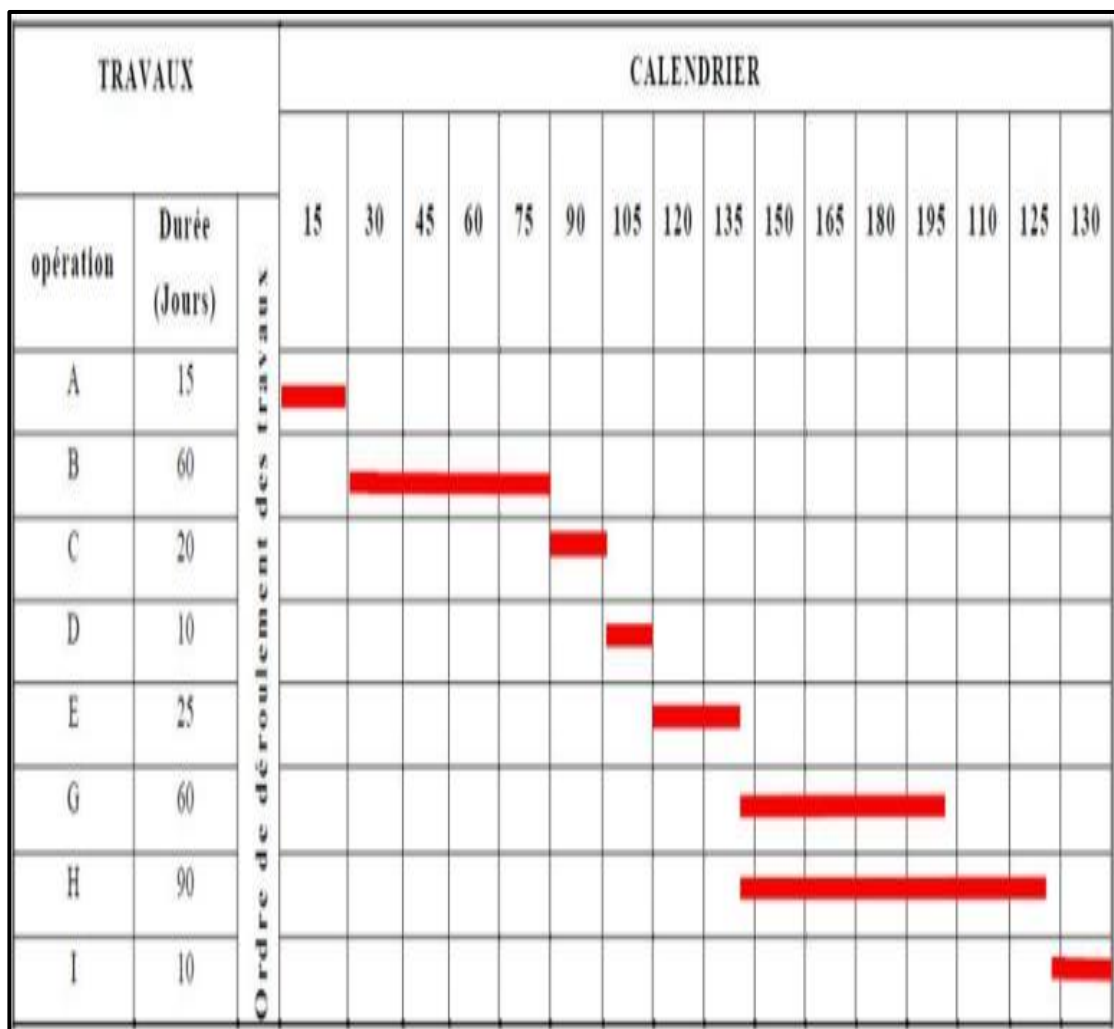


Figure VII.6: Diagramme de GANTT

VII.8 Conclusion :

Pouvoir définir l'ampleur de tous les travaux nécessaires à l'aménagement du site permet de conclure que le chantier doit être organisé avant de commencer les travaux. D'un autre côté, on peut obtenir des informations sur le temps de réalisation. L'organisation du chantier définit également toutes les machines disponibles sur le site, et la sélection finale des machines repose sur des études économiques.

Conclusion Générale :

Cette étude a reconnu l'importance d'assurer l'entretien de l'Oued-Kouider, qui traverse la ville d'Oum El Bouaghi, afin de prévenir les risques d'inondation et de protéger les biens des habitants. Nous avons couvert tous les aspects liés à la réalisation de ce projet.

Après avoir présenté la zone d'étude, Nous avons calculé le débit de crue maximum que ce cours d'eau devrait évacuer estimant l'hydro gramme de crues.

Ensuite, nous avons identifié les zones à risque d'inondation en simulant l'écoulement dans les cours d'eau non aménagés à l'aide du logiciel HEC-RAS, en utilisant le modèle de Saint-Venant monodimensionnel, et en employant également le logiciel AutoCAD. L'entretien de l'aménagement s'effectue de l'amont à l'aval de la ville avec trois types de canaux qui tiennent compte des facteurs influençant un écoulement torrentiel.

Enfin, après avoir effectué l'analyse technico-économique, nous avons sélectionné la solution d'aménagement appropriée pour atteindre les objectifs de recherche. La variante retenue consiste en un aménagement avec des canaux trapézoïdaux en béton s'étendant sur toute la longueur des différents oueds. Ce projet a un coût estimé en **1326250419.00** DA, et comme tout projet il nécessite un entretien et un suivi réguliers pour assurer un service optimal et une durée de vie satisfaisante.

Références Bibliographique

1. **B.Benlaoukli.** 2020. La planification des travaux par les M.M.O. Blida : ENSH, 2020.

2. **BELHAMEL ABDELLAH.** Protection Contre les inondations de la ville de BIR CHOUHADA (W. OUM EL BOUAGHI), Blida : ENSH, 2014.

3. **CHARON, PIERRE.** Calcul des ouvrages en béton suivant les règles B.A.E.L.83. Paris, 1986.

4. **Degoutte, G.,** 2006. Aide-mémoire d'hydraulique à surface libre, Edition ENGREF

5. **DRE :** «Etude de la protection de la ville d'Oum El Bouaghi contre les inondations ; Etude de l'aménagement d'oued Kouider- Wilaya d'Oum El Bouaghi (2015).

6. **Mahdi Katia.** L'étude d'aménagement d'Oued Soummam pour la protection de la ville Akbou contre les inondations (w. Béjaïa). MFE, Blida: ENSH, 2022.

7. **TOUABIA.B.** Manuel Pratique d'Hydrologie. Blida : ENSH, 2004.