



MEMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

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

Option: OUVRAGES HYDROTECHNIQUES

THEME :

**Etude d'un aménagement de protection contre les inondation
de oued Chaaba commune oued Chaaba (W.Batna)**

Présenté par :

BOUMAR Ahmed Elhachemi

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
A.HADJ SADOUK	M.C.A	Président
A.ZAROUAL	M.C.A	Examineur
E.OSMANI	M.A.A	Examineur
N.SAIL	M.A.A	Examineur
M.K.MIHOUBI	Professeur	Promoteur

Session Septembre 2019

∞ Dédicace ∞

Du fond du cœur, je dédie cette thèse en signe d'amour, de respect et de reconnaissance :

A mes chers parents :

Brahim et Zakia Pour leur soutien, patience et leurs sacrifices durant mes études et durant ce projet. Je vous dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferais toujours de mon mieux pour rester votre fierté et ne jamais vous décevoir que dieu le tout puissant, vous préserve, vous accorde santé, bonheur et vous protège de tout mal.

A mes chers frères et sœurs :

Asma, Abderrahim, et Nour.

A ma grande famille :

Boumar et Salhi pour leur soutien.

A mes amis de toujours :

La liste est longue et je ne peux pas citer tous mais au fond de mon cœur je voudrai dire merci d'être dans ma vie pour l'amour et le soutien je vous aime tous également !

Remerciement

Au terme de cette étude, fruit de mes années de labeur, je tiens à remercier en premier lieu dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage, les moyens et les personnes qui m'ont aidé à l'élaboration de ce modeste travail.

*Je tiens à présenter ma reconnaissance et mes remerciements à mon promoteur Mr. **MIHOUBI Mustapha Kamel**, pour le temps consacré à la lecture, les conseils et l'orientation qui ont rythmé les différentes étapes de mon mémoire. Je le remercie aussi pour sa sympathie et sa disponibilité à encadrer ce travail à travers ses critiques et ses propositions.*

Je tiens à remercier du fond du cœur aussi :

L'ensemble du personnel et enseignants de l'Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique (ENSH), qui ont veillé à ma formation.

Je remercie le personnel de l'Office National d'Irrigation et de Drainage unité d'Oran pour sa disponibilité et ses encouragements, et de m'avoir bénéficié des données pour ce mémoire.

Je remercie toutes les personnes du département de l'Irrigation et Drainage, qui m'ont aidé durant cette année d'étude.

J'adresse également mes sincères remerciements et mon profond respect aux membres de jury, qui m'on fera l'honneur d'apprécier mon travail.

ملخص

يعتبر واد شعبة الذي يتوسط مدينة شعبة بولاية باتنة، مصدرا للفيضانات الناجمة عن الأمطار الغزيرة التي تعرفها المنطقة سنويا. وعليه تطلب وضع دراسة فعالة للوادي للحد من خطر الفيضانات وحماية المدينة. وفي هذا الإطار تضمنت الدراسة المحاور التالية: وصف مفصل للمنطقة من أجل تحديد مصدر التدفق وانتقاله الى المنفذ، وضع خريطة للمناطق المضرورة عبر النمذجة الهيدروليكية، وفي الأخير تم مناقشة الحلول المختلفة واختيار الحل الأنسب من الناحية التقنية والاقتصادية.

الكلمات المفتاحية: فيضان، هطول، تدفق، النمذجة الهيدروليكية، حماية، شعبة

Résumé

Chaque année les fortes précipitations dans la région de Chaaba wilaya de Batna causes des débordements au niveau de l'oued Chaaba. Ce phénomène engendre des dégâts humains et matériels, il devient nécessaire de proposer un système d'aménagement efficace du cours d'eau. Notre étude vise à estimer le niveau d'eau des inondations de la rivière en adoptant la méthode Gradex, ainsi que la modélisation du cours d'eau naturel et de produire la carte des zones inondables par logiciels HEC-RAS. Afin de choisir la meilleure solution technico-économique.

Mots clés: Inondation, Précipitation, Protection, Crue, Modélisation, oued Chaaba

Abstract

Each year the heavy rainfall in the region of Chaaba wilaya Batna causes overflows at Oued Chaaba. It becomes a necessity to sort out an effective management of the watercourse as for this phenomenon is the reason for a massive human and material damage. The objective of our study is to estimate the water level of the river's flooding by adopting the Gradex method, as well as modeling the natural watercourses and make a map for the flood zones by HEC-RAS software. To come up with a best technico-economic solution.

Keywords: Flood, Precipitation, Protection, Flood, Modeling, Oued Chaaba

TABLE DE MATIERES

Table des matières.....	i
Liste des figures	vi
Liste des tableaux	vii.
Liste des planches	xii
Liste des abréviations	xiii
INTRODUCTION GENERALE	7
Chapitre I : Les inondations en Algérie	
Introduction.....	8
I. Généralité.....	8
II.1. Définition:	8
II.2. Les causes des crues en Algérie:	8
II.3. Les types:.....	9
II.4. L’historique des inondations catastrophiques en Algérie (1990 - 2010)(ANRH):	10
II. Conclusion.....	14
Chapitre II : Description du site d’étude	
Introduction:.....	15
II.1 Les données naturelle de la zone d’étude.....	15
II.1.1 La situation géographique :	15
II.1.3. Caractéristiques climatiques.....	17
II.2 Présentation du bassin versant d’Oued CHAABA.....	21
II.2.1 Etude hydromorphologique du bassin versant	22
II.2.1.1 Paramètres morphométriques	22
II.2.1.2 Paramètres des reliefs.....	25
II.2.2 Réseau hydrographique	32
II.2.2.1 Ordre du bassin versant	33
Conclusion	38
II.3. Etude géologique et géotechnique :	39
Introduction.....	39

II.3.1 La sismicité :	39
II.3.2 La situation géologique :	40
II.3.3 Aperçu hydrogéologique du bassin versant :	41
II.3.4 Etude géotechnique :	42
II.3.4.1 Prospection géotechnique de laboratoire :	42
II.3.4.2. Résultats géotechniques de terrain et de laboratoire:	43
II.3.4.3. Interprétation des résultats des essais géotechniques effectués sur les sols	44
Conclusion	45

Chapitre III : Etude hydrologique

Introduction.....	46
III.1 Précipitation	46
III.1.1 Présentation de la station pluviométrique	46
III.1.2 Echelle spatio-temporelle de l'étude hydrologique :	48
III.2 Etude des précipitations maximales journalières	48
III.2.1 Choix de la loi d'ajustement	49
III.2.2 Test de validité d'un ajustement	57
III.2.3 Pluies de courte durée :	58
III.3 Etude des crues	62
III.3.1 Le modèle de MEDDI et TOUMI.....	62
III.3.2 La methode de sokolovsky.....	64
III.3.2 Méthode de GRADEX (CIGB, 1994).....	65
III.3.4 Methode SCS (Soil Conservation Service of U.S.A)	68
III.3.5 Hydrogramme de crue.....	74
III.4 Etude des apports	75
III.4.1 Apport liquid.....	76
III.4.2 Apport solide.....	78
III.4.3 Caractéristiques de l'écoulement.....	79
Conclusion	80

Chapitre IV : Calcul et simulation hydraulique

Introduction.....	81
IV.1 Description de l'état actuel d' Oued Chaaba	81
IV.2 Modélisation de l'écoulement.....	83
IV.2.1 Présentation du logiciel HEC-RAS	83
IV.2.2 Etapes de simulation par HEC-RAS.....	86
a) Création un nouveau projet HEC-RAS	86
b) Préparation des données géométriques de l'Oued.....	86
c) Données hydrométriques et conditions aux limites :	87
d) Simulation hydraulique	88
IV.3 Zones inondables	92
Conclusion	93

Chapitre V : Etude des variantes d' aménagement

Introduction.....	94
V.1 Processus de l'aménagement dans le cadre de l'étude.....	94
V.1.1 Choix le type d'aménagement envisageable.....	94
V.1.2 Les formules de dimensionnement des canaux.....	95
V.1.3 Choix des paramètres de dimensionnement.....	96
V.2 Etudes des variants.....	97
V.2.1 Première variante : Recalibrage du lit naturel (cas d'une forme trapézoïdale).....	97
V.2.1.1 Dimensionnement	97
V.2.1.2 Les paramètres d'écoulement.....	98
V.2.1.3 Etude de la stabilité du canal.....	98
V.2.2 Deuxième variante : Recalibrage du lit naturel avec recouvrement des berges (cas d'une forme trapézoïdale).....	101
V.2.2.1 Dimensionnement	101
V.2.2.2 Les paramètres d'écoulement.....	102
V.2.2.3 Estimation du coût de la variante	102
V.2.3 Troisième variante: Canal en béton armé	102
V.2.3.1 Dimensionnement	103

V.2.3.2 Les paramètres d'écoulement.....	103
V.2.3.3 Estimation du coût de la variante :.....	104
V.2.4 Quatrième variante : canal en gabion.....	104
V.2.4.1 Dimensionnement :	105
V.2.4.2 Les paramètres d'écoulement :	106
V.2.4.3 Estimation du coût de la variante.....	106
V.2.5 Cinquième variante: canal mixte.....	106
V.2.5.1 Dimensionnement	106
V.2.5.2 Les paramètres d'écoulement.....	107
V.3 Choix de la variante d'aménagement :.....	107
V.3.1 Critères d'évaluation:.....	107
V.3.2 La variante choisit:.....	107
V.4 Les ouvrages annexes.....	108
V.4.1Ouvrages d'accumulation	108
V.4.2 Ouvrages de rejet	108
V.4.3 Ouvrage d`art (pont).....	108
Conclusion :	109

Chapitre VI : Organisation de chantier

Introduction :.....	110
VI.1 Organisation du chantier :.....	110
VI.1.1 Rôles et responsabilités des intervenants sur chantier.....	110
VI.1.2Exécution des travaux:.....	111
VI.1.2.1 Moyens matériels du chantier :.....	111
VI.1.3 Devis quantitatif et estimatif du projet :	113
VI.1.4 Évaluation des risques :	114
VI.1.4.1 Protection collective :	115
VI.1.4.2 Protection individuelle :.....	115
VI.2 Planification.....	117
VI.2.1 Définition.....	117

VI.2.2 Les étapes de la planification.....	117
VII.2.3 Les techniques de planification	118
VII.2.3.1 Méthodes basées sur le réseau.....	118
VII.2.4 Les paramètres de la méthode C.P.M.....	120
VII.2.5 Les principales lois de la méthode C.P.M	121
VII.2.6 La partie pratique.....	123
Conclusion :	128
CONCLUSION GENERALE	129
Références et bibliographie	130
Annexes.....	132

LISTE DES FIGURES

Chapitre II : Description du site d'étude

Figure II 1 : Situation de la commune de Batna.....	17
Figure II 2: Image satellitaire de la ville d Oued Chaaba.....	18
Figure II 3: La répartition moyenne mensuelle des Températures.	20
Figure II 4 : la répartition des précipitations moyenne mensuelle.....	21
Figure II 5 : Climagramme d'Emberger des deux stations nord et sud de la région de Batna.....	22
Figure II 7: Différents types des BV selon le coefficient de Gravelius Kc.....	26
Figure II 8: La carte hypsométrique du bassin versant d'Oued Chaaba.....	28
Figure II 9: La courbe hypsométrique du bassin versant d'Oued Chaaba Altitudes caractéristiques.....	29
Figure II 10: Réseau hydrographique du bassin versant d'Oued Chaaba.....	35
Figure II 11: Carte des zonage sismiques de l'Algérie (RPA, 2003).....	41
Figure II 12: Carte géologique de la zone centrale de Batna (Belkhiri, 2006).....	42

Chapitre III : Etude hydrologique

Figure III 1: La carte du réseau hydrographique du bassin versant d'Oued Chaaba.....	49
Figure III 2: Comportement asymptotique de la série.....	52
Figure III 3: Comportement asymptotique de la série.	52
Figure III 4: Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Gumbel.....	54
Figure III 5: Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Galton.....	56
Figure III 6: Représentation graphique de l'ajustement à la loi GEV.....	58
Figure III 7: Représentation graphique de l'ajustement des trois lois.....	60
Figure III 8: Courbes pluies-durées-fréquences (PDF).....	63
Figure III 9: Courbes intensités-durées-fréquences (IDF).....	63
Figure III 10: Carte de la situation géographique des bassins versants.....	65
Figure III 11: Graphe de la méthode de gradex.....	69

Figure III 12: Carte d'occupation du sol de bassin versant d'Oued Chaaba.....73

Figure III 13: Hydrogramme de crue du bassin de oued chaaba.....77

Figure III 14: Synthèse des résultats de calcul d'apport moyen annuel (Hm3).....79

Chapitre IV : Calcul et simulation hydraulique

Figure IV 1: L'état d'oued Chaaba apres des crues saisonnier.....81

Figure IV 2: Risque d'inondation de la route national n° 77.....82

Figure IV 3: L'état d'oued caractérise l'envasement du lit d'oued par les dépôts solides.....82

Figure IV 4: l'interface de logiciel HEC-RAS.....84

Figure IV 5: Conservation de la charge entre deux sections (HEC-RAS, 2014).....85

Figure IV 6:Description d'un élément de volume élémentaire de contrôle.....86

Figure IV 7: Le transfert d'axe et des sections transversal de Civil 3D vers HECRAS.....87

Figure IV 8:Vue en Plan en 3D du tronçon d'Oued Chaaba88

Figure IV 9: Profil en long du tronçon simulé d'Oued Chaaba avec la ligne de surface de l'eau.....89

Figure IV 10: Section en travers d'Oued Chaaba au niveau du pont de RN 77 (cross section 1090).....89

Figure IV 11: Section en travers d'Oued Chaaba (PK 220).....90

Figure IV 12: Section en travers d'Oued Chaaba (PK 140).....90

Figure IV 13:Section en travers d'Oued Chaaba (PK 1360).....90

Figure IV 14: Section en travers d'Oued Chaaba (PK620)91

Figure IV 15: Section en travers d'oued Chaaba (PK 340).....91

Figure IV 16:Les zones inondables de la ville de Chaaba centennial (Google Earth 2018).....92

Chapitre V : Etude des variantes d'aménagement

Figure V 1:Eléments géométriques pour des sections ouvertes diverses (W.H. Graf.2000)..... 95

Figure V 2: Efforts tangentiel critique pour des matériaux non cohésifs (Chaudhry, 2014).....99

Figure V 3: Schéma d'un canal trapezoidal avec recouvrement des berge 101

Figure V 4: Schéma d'un canal trapézoïdal en béton armé. 103

Figure V 5: Coupe en travers d'un canal en gabion 104

Figure V 6: Ouvrage d`art (pont) sur la route RN77 108

Figure V 7: Profil ouvrage courant (pont) 109

Chapitre VI : Organisation de chantier

Figure VI 1: Coupe type de terrassement.....113

Figure VI 1: les types des casques de chantier.....115

Figure VI 2: Réseau de planification des taches par la méthode CPM.....125

Figure VI 3: Réseau de planification des taches par la méthode CPM(diagramme de Gant).....126

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : Les inondation en Algérie

Tableau I 1: Habitations construites en zones inondables selon le Ministère de l'intérieur (2002).....	10
Tableau I 2: Les caractéristiques des crues observées sur plusieurs oueds du centre du pays.....	11
Tableau I 3: Débit max de crue de stations hydrométriques, ANRH 2004.....	12

Chapitre II : Description du site d'étude

Tableau II 1: Températures mensuelles moyennes, minimales et maximales (2004/2014).....	19
Tableau II 2: Humidités moyennes mensuelles.....	20
Tableau II 3: données de la station d'Ain yagout.	21
Tableau II 4: la répartition mensuelle moyenne interannuelle de précipitati.....	21
Tableau II 5: Récapitulatif des caractéristiques géométriques du bassin versant.....	26
Tableau II 6: Répartition en pourcentage de la surface élémentaire du BV.....	29
Tableau II 7: Calcul de l'altitude moyenne.....	30
Tableau II 8: Les différentes altitudes caractéristiques du bassin d'Oued Chaaba.....	31
Tableau II 9: Calcul de la pente de Roche.....	32
Tableau II 10: Indice de Pente moyenne du bassin versant.....	33
Tableau II 11: Les types de reliefs en fonction de Dénivelée spécifique.....	34
Tableau II 12: Les différents indices de pente.....	34
Tableau II 13: Nombre et longueur des talwegs.....	36
Tableau II 14: Les différents paramètres du réseau hydrographiques.....	38
Tableau II 15: Les différents méthode de calcule de temps de concentration (Tc).....	38
Tableau II 16: Récapitulatif des caractéristiques hydromorphologiques du BV d'Oued Chaaba.....	39
Tableau II 17: Caractéristiques géotechnique de la fondation de l'ouvrage.....	47

Chapitre III : Etude hydrologique

Tableau III 1: Caractéristiques du poste pluviométrique Ayn-yagout.....	48
Tableau III 2 : Pluies maximales journalières [1973-2013] de la Station de Ayn-yagout.....	50
Tableau III 3: Caractéristiques de la série des Pluies maximales journalières [1973-2013].....	51
Tableau III 4: Les paramètres de la loi de Gumbel.....	54
Tableau III 5: Quantiles théoriques de Gumbel.....	54
Tableau III 6: Les paramètres de la loi de Galton.....	55
Tableau III 7: Quantiles théoriques de Galton.....	56
Tableau III 8: Les paramètres de la loi GEV.	57
Tableau III 9: Quantiles théoriques de GEV.	58
Tableau III 10: Paramètres de test χ^2 pour les lois d'ajustement.....	59
Tableau III 11: Pluies et intensités maximales de durée t (h) et de période retour T.....	62
Tableau III 12: Equations du modèle pour l'estimation du Qmax (MEDDI et TOUMI, 2017).....	65
Tableau III 13: Fonction quantile q(F).....	65
Tableau III 14: Débit maximale de crue Qmax(F) (modèle MEDDI et TOUMI).....	66
Tableau III 15: Débit maximale de crue pour différentes périodes de retour (sokolovsky).....	67
Tableau III 16: Débits de pointe par la méthode Gradex.....	70
Tableau III 17: la classification de sol selon les textures.....	72
Tableau III 18: Catégories d'occupation du sol et valeurs de CN.....	74
Tableau III 19: Les résultats de la lame d'eau et le débits de pointe par la méthode SCS.....	75
Tableau III 20: Débits fréquentiels calculés par les différentes méthodes.....	75
Tableau III 21: Débits de crue pour différentes périodes de retour.....	76

Chapitre V : Etude des variantes d' aménagement

Tableau V 1: Les valeurs du coefficient de rugosité (uclouvain.be).....	96
Tableau V 2 : Revanches utilisées (Freeboard)	96
Tableau V 3: Valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolident	96
Tableau V 4: Dimensions de l'aménagement d'Oued Chaaba (recalibrage du lit naturel).	98
Tableau V 5: Paramètres d'écoulement de la variante recalibrage du lit naturel.	98
Tableau V 6: Résultats des contraintes tractrices du fond.....	99
Tableau V 7: Résultats des contraintes tractrices des berges	100
Tableau V 8: Dimensions de l'aménagement d'Oued Chaaba (recalibrage du lit naturel avec recouvrement des berge).....	101
Tableau V 9: Paramètres d'écoulement de la variante recalibrage du lit naturel avec recouvrement des berge.....	102
Tableau V 10: Devis de la variante (recalibrage du lit naturel avec recouvrement des berges).....	102
Tableau V 11: Dimensions de l'aménagement d'Oued Chaaba (canal en béton armé).....	103
Tableau V 12: Paramètres d'écoulement de la variante canal en béton armé	103
Tableau V 13: Devis de la variante (canal en béton armé).....	104
Tableau V 14: Caractéristiques géométriques de la section gabionnée.....	105
Tableau V 15: Dimensions de l'aménagement d'Oued Chaaba (canal en gabion).....	105
Tableau V 16: Paramètres d'écoulement de la variante canal en gabion	106
Tableau V 17 : Devis de la variante (canal en gabion).....	106
Tableau V 18: Paramètres d'écoulement de la variante canal en mixte.....	107

Chapitre VI : Organisation de chantier

Tableau VI 1: Engins utilisés.....	111
Tableau VI 2: Le devis des différents travaux d'Oued Chaaba.....	114
Tableau VI 3: Tableau VI 3: Les moyens de protection individuelle.....	116
Tableau VI 4: Liste des opérations avec leurs durées.....	123
Tableau VI 5: Succession des taches.....	124

Liste des planches

1. Planche n° 1 : VUE EN PLAN D'OUED CHAABA AVEC LES ZONES INONDABLES, COMMUNE DE CHAABA (W.CHAABA).

2. Planche n° 2 : PROFIL EN LONG D'OUED CHAABA DU PK 0+0.00 À PK 2+4.00, COMMUNE DE CHAABA (W.BATNA).

3. Planche n° 3 : PROFIL EN LONG DE L'OUED CHAABA (W.BATNA).

4. Planche n° 4 : COUPES TYPES DE L'AMÉNAGEMENT D'OUED CHAABA, COMMUNE CHAABA(W.BATNA).

LISTE DES ABREVIATIONS

ONM : Office national météorologique ;

ANRH : Agence national des ressources hydriques ;

SCS-CN : Soil Conservation Service- Curve Number;

HEC-RAS : Hydrologic Engineering Center's River Analysis System;

DRE : direction des ressources en eau.

PK : Point kilométrique.

RN : Route national.

MNT : Modèle numérique de terrain.

LTP : Laboratoire de travaux publique.

Channal bottom : le fond de canal

Water surface : la surface de l'eau

Energie grade line : la ligne de l'énergie

Datum : les données.



«Introduction Générale»

Introduction générale

L'Algérie est l'un des pays confrontés aux phénomènes de crues et d'inondations qui se manifestent de façon souvent catastrophique constituant ainsi une contrainte majeure pour le développement économique et social, ces inondations sont les catastrophes naturelles les plus destructives et même les plus fréquentes et provoquent d'importants dégâts humains et matériels.

Les risques d'inondations sont dus, à l'interaction complexe de plusieurs composantes, c'est le donc la concomitance de facteurs topographiques, géologiques, hydrologiques et météorologiques. Ces raisons ne sont pas toutes, car il y a aussi un effet de défaillance provoqué par l'homme. Pour faire face à ces grands risques dans le monde entier, les ingénieurs optent pour les aménagements.

Les aménagements des cours d'eau voient le jour de plus en plus en Algérie, car dernièrement l'état a donné beaucoup d'importance à ces contraintes majeures qui ralentissent le développement économique et social du pays, cet investissement qui coute cher aux autorités a un double avantage, le premier se caractérise dans le cadre de développement de l'environnement dans un aspect touristique donnant un nouveau souffle aux habitants et deuxièmement la protection des villes contre les inondations.

Oued Chaaba est parmi les grands cours d'eau en Batna et en Algérie. Il a connu ces dernières années une augmentation intense de la densité d'habitation au niveau des deux rives, ce qui a augmenté sa vulnérabilité vis-à-vis les débordements.

Dans ce mémoire, on a suivi une méthodologie de travail qui se subdivise en plusieurs parties, la première étape donne une présentation détaillée de la zone d'étude, puis on entamera une étude hydrologique qui sert à prévoir les débits des crues d'Oued Chaaba correspondants aux différentes périodes de retours. Cette étude est basée sur une analyse statistique fréquentielle des données pluviométriques disponibles. Ensuite, en deuxième étape, on a fait une étude hydraulique qui consiste à avoir les hauteurs des tirants, d'eaux correspondantes aux débits prévus précédemment. Pour cela, les résultats issus de l'étude hydrologique ont réuni avec la géométrie, la pente et la rugosité d'Oued Chaaba pour être utilisés comme données d'entrée dans le modèle hydraulique HEC-RAS afin d'avoir en sortie les lames d'eaux correspondantes et par suite présenter les résultats de la modélisation hydraulique sous forme d'une carte des zones inondables en associant les fonctionnalités des deux logiciels Autodesk

Civil 3D et HEC-RAS. Dès lors, on saura proposer des solutions sous forme de différentes variantes dont on choisira la mieux adaptée. Enfin, on fera une étude d'organisation de chantier visant à gérer le bon déroulement du projet afin d'avoir une idée sur le coût et le délai de réalisation de l'aménagement.



Chapitre I :

«Les inondations en Algérie»

Les inondations en Algérie

Introduction

L'Algérie est l'un des pays confrontés aux phénomènes de crues et d'inondations qui se manifestent de façon catastrophique constituant ainsi une contrainte majeure pour le développement économique et social, ces inondations sont les catastrophes naturelles les plus destructives et même les plus fréquentes et provoquent d'importants dégâts humains et matériels.

Les risques d'inondations sont dus, à l'interaction complexe de plusieurs composantes, c'est le donc la concomitance de facteurs topographiques, géologiques, hydrologiques et météorologiques.

I. Généralité

II.1. Définition:

Une inondation est une submersion temporaire d'une zone habituellement sèche, par des eaux douces (fortes pluies, débordements de rivières,...etc.) ou salées (submersion marine, tsunami,...etc.). Elle peut être un phénomène régulier ou catastrophique et peut se produire lentement ou très rapidement selon les conditions topographiques et météorologiques de la zone affectée.

II.2. Les causes des crues en Algérie:

D'une manière générale, les causes des inondations survenues en Algérie peuvent être classées en trois types:

- **Les inondations provoquées par des facteurs liés à l'effet de l'homme :** la défaillance des réseaux d'assainissement et de collecte des eaux pluviales, le gonflement des oueds par les décombres et les détritiques et d'autres agissements humains qui favorisent des dégâts lors des averses saisonnières ; les cas de plaine de Mزاب ou des inondations se produisant tous les 02 à 03 ans illustrent parfaitement l'influence de ces facteurs dans l'apparition du phénomène d'inondation (Yahiaoui, 2012)

- **Les inondations liées à des situations météorologiques** remarquables se traduisant par une forte pluviosité (pluies importantes, orages violents) tels que les inondations catastrophiques de Mars 1973 sur l'Est Algérien, , les inondations de Décembre 1984 sur tout l'Est Algérien .
- **Les inondations produites dans des régions présentant un environnement topographique défavorable** comme le cas des villes traversées par des oueds ou situées au pied d'une montagne (Batna, Medea). Ces agglomérations à forte concentration des populations et sous l'effet d'une urbanisation anarchique et non réglementée présentent des grands risques, des pertes humaines et des destructions de constructions sont enregistrés à chaque inondation aussi légère qu'elle soit. (Yahiaoui, 2012).

Tableau I 1: *Habitations construites en zones inondables selon le Ministère de l'intérieur (2002).*

WILAYA	NOMBRE DE CONSTRUCTIONS
Batna	16261
Tébessa	17236
Alger	14545+ quartiers Merdja et Baraki
Setif	1261
Saida	976+09 cités
Sidi Bel Abbas	576 + 04 cités en centre-ville
Annaba	30 cités et quartiers
Oran	06 cités
Ain-Temouchent	14 zones jouxtant différents lits d'oueds

II.3. Les types:

Ces inondations selon les caractéristiques des crues, leurs durées et leurs étendues sont de deux types :

- **Les inondations engendrées par des crues torrentielles** appelées aussi: crues éclair et affectant les petits bassins versants de quelques dizaines de Km² et sont le plus souvent liées à des chutes de pluies isolées et localement intenses issues de phénomènes de convection sous

forme de tempêtes orageuses. L'inondation de la ville de Oued R'hiou (le 20 octobre 1993) ou 20 minutes de pluies .

- **Les inondations des grands bassins versants;** elles résultent le plus souvent des précipitations importantes généralisées sur des grandes étendues et caractérisées par leur quantité et leur durée qui peut atteindre 10 à 15 jours. ces crues sont massives, lentes et à évolution facilement prévisibles sauf lorsqu'elles sont brutalement aggravées par des affluents aval plus courts et plus rapides.

II.4. L'historique des inondations catastrophiques en Algérie (1990 - 2010)(ANRH):

- **03 Juin 1991** Orage local et très violent à **Ghardaïa** (8 mm en 03 h)

Dégâts:

- 09 morts et pertes importantes en cheptel et de palmeraies.
- Destruction partielle de la digue d'El Atteuf.
- Ponts, chaussés et réseaux d'assainissement avoisinant oued Mzab dégradés.

- **26 - 27 Janvier 1992:** Fortes pluies généralisées du 24 au 28 janvier 1992 sur plusieurs régions du centre du pays engendrant des inondations catastrophiques aux wilayas: Alger, Blida, Tipaza, Chlef, AinDefla, Medea...

Dégâts:

- Des morts et un nombre important de blessés.
- 637 familles sinistrées (361 à Alger, 106 à Tipaza, 87 à Médéa, 36 à Ain Defla et 23 à Chlef).
- Importants dégâts aux infrastructures routières et aux exploitations agricoles:
 - Le pont reliant Bougara à Bouinan emporté.
 - Le pont reliant L'Arbaa à Bougara endommagé.

Tableau I 2: Les caractéristiques des crues observées sur plusieurs oueds du centre du pays.

Station	Oued	Hmax (m)	Qmax (m3/s)
Arbaa gorges	DJEINA	2.10	96
Rocher des piégeons	EL HAMMAM	4.40	550
Baraki	EL HARRACH	6.33	1500
Gorges Chiffa	CHIFFA	3.30	122
Attatba	BOUROUMI	5.70	297
fer à Cheval	MAZAFRAN	8.00	378
Arib Chellif	CHELLIF	9.32	472
Lakhdaria	ISSER	10.00	860

source(ANRH2004)

- **20 Octobre 1993** Pluies orageuses intenses à la ville de **Oued R·hiou** causant crues violentes de Oued Grigra, petit cours d'eau situé en amont de la ville de Oued R·hiou.

Dégâts:

- 22 morts, 20 blessées et plusieurs disparus.
- Des dizaines de familles sinistrées et d'importants dégâts matériels.

Les débits de crues de l'oued R·hiou mesurés aux deux stations hydrométriques sont:

Tableau I 3: Débit max de crue de stations hydrométriques, ANRH 2004.

Station	Oued	Qmax (m ³ /s)
Ammi Moussa	R hiou	296
Djidiouia RN 04	R hiou	164

- **23 Septembre 1994** Inondations catastrophiques dans plusieurs régions du pays; les régions les plus touchées sont: Bordj Bou Arréridj, Msila, Djelfa, Medea, Bouira, Ain Defla et Tiaret.

Dégâts:

- 27 morts, 84 blessés et 941 familles sinistrées.

- **29 Septembre au 02 Octobre 1994:** Inondations catastrophiques dans plusieurs régions du pays (Ghardaia, Laghouat, Biskra, Mascara, Tissemsilt, Sidi Bel Abbés).

Dégâts:

- Ghardaia: Dégâts matériels évalués à 270 millions DA.
- Laghouat: Dégâts matériels évalués à 05 millions DA dans le secteur de l'hydraulique.
- Biskra: 08 morts, 22 familles sinistrées et routes endommagées.
- Mascara: 02 morts et importants dégâts matériels.
- Tissemsilt: 09 morts
- Sidi Bel Abbés: 02 morts.

- **04 Avril 1996:** Inondations catastrophiques dans les wilayas d'Annaba et El Tarf.

Dégâts:

- Annaba : 05 morts et 10 blessés
- El Tarf : 04 ouvrages endommagés et pertes agricoles aux plaines de Bouteldja et El Iam.

- **06 Octobre 1998:** Pluies diluviennes et inondations catastrophiques à la wilaya de **DJELFA**

Dégâts:

- 200 hectares de récoltes inondées et pertes importantes en cheptel.
- Un petit barrage détruit à Thadmint et 20 puits d'irrigation éboulés.

- **14 Janvier 1999:** Fortes chutes de pluies (74 mm à Adrar) à l'ouest du Sahara provoquant de graves inondations a **Adrar**.

Dégâts:

- 12 morts et plusieurs disparus.
- 174 habitations en tout détruites dans les localités de: Reggane, Timmimoun et Adrar.

- **14 Octobre 2000:** Fortes pluies (56 mm en l'espace de 04 h) dans la wilaya de **AIN TEMOCHENT** et crues catastrophiques de l'oued El Maleh

Dégâts:

- 04 morts et plusieurs disparus.
- plusieurs habitations démolies et immenses dégâts matériels

- **23 Octobre 2000:** Pluies torrentielles à la wilaya de **NAAMA** engendrant des inondations catastrophiques aux régions de: **Ain Sefra et Mechria.**

Dégâts:

- 05 morts et une douzaine portée disparus.
- Pertes importantes en cheptel.
- La voie ferrée reliant Ain Sefra - Beni ounif endommagée.

- **9 et 10 novembre 2001 :** L'inondation spectaculaire et catastrophique sur l'Algérois à Bab El Oued (Bassin versant de l'oued Koriche).

Dégâts:

- fit plus de 750 morts, 115 disparus
- 30 millions de dinars de pertes matériels.

- **1 et 2 octobre 2008 :** Les pluies torrentielles, inhabituelles et incessantes, pendant 48h sur la région semi-désertique de Ghardaïa, ont fait monter les eaux des différents cours d' eau (oued M'Zab dont le débit atteint 900 m³/s)

Dégâts:

- Le décès d'au moins 34 personnes et fait des dizaines de blessés et de sinistrés
- Des centaines de maisons ont été détruites.
- Les dégâts matériels ont été estimés à environ 2500 millions de dinars.
- Dont 2000 millions dinars pour les infrastructures.

- **01 octobre 2011 :** Plusieurs inondations catastrophiques sont enregistrées à ElBayadh, M'sila, Djelfa, Biskra, Laghouat et une partie d'El Oued.

Dégâts:

Les inondations ont causé le décès d' au moins 08 personnes et 3 disparus et fait des dizaines de blessés et de sinistrés, des centaines de maisons ont été détruites, de nombreuses routes ont été coupées.

- **23 aout 2015 :**les fortes pluies qui sont abattus on causé l'inondation de nombreuse habitations a travers plusieurs communes ,Tagha,Fesdis,Halka1,Halka3,Ain djasser, et bien d'autres localité le plupart des zones touchés sont des constructions délabré ou les services de la protection civile sont intervenus toute la nuit pour pomper les eaux pluviales.

- **9 aout 2017** : Plusieurs inondations catastrophiques sont enregistrées à Tamanrasset, Bordj bassi mokhtar, Ain gezam, , .

Dégâts:

le décès d' au moins 04 personnes et 8 disparus et fait des dizaines de blessés et de sinistrés, des centaines de maisons ont été détruites, de nombreuses routes ont été coupées.

- **26 Avril 2018:** Des voitures ont été complètement submergées par les eaux et d'autres ont été charriées par la crue à travers les rues du chef-lieu de la wilaya Tiaret.

Dégâts:

Les inondations ont provoqué le décès de deux personnes à Tiaret et de lourds dégâts matériels

- **5 août 2018:** Les pluies diluviennes qui se sont abattues sur la wilaya de Tamanrasset

Dégâts:

trois décès alors qu'une quatrième personne est portée disparue.

- **15 juin 2019** : La wilaya d' Illizi a connu depuis le 30 mai dernier, de fortes précipitations de pluies ayant causé des inondations au niveau de plusieurs localités, particulièrement, le chef-lieu d' Illizi et la ville de Djanet.

Dégâts:

Routes complètement dégradées, infrastructures endommagées, maisons écroulées, le réseau d' assainissement fortement touché.

- **13 septembre 2019:** Les pluies torrentielles qui se sont abattues, à Alger, ont entraîné une élévation du niveau d'eau dans les routes et les rues de plusieurs communes ainsi qu'une paralysie du trafic routier, a-t-on constaté.

Dégâts:

Routes et infrastructures ont été submerge,le décès,de la jeune fille de 21 ans.

II. Conclusion

Ce premier travail traitant l'une des catastrophes naturelles les plus fréquentes et les plus dévastatrices de notre pays présente une tentative d'identification des zones à haut risque d'inondations.

L'approche méthodologique à définir de la cartographie des zones inondables repose essentiellement sur la démarche suivante :

- Répertorier les zones inondables par des investigations sur terrain, l'utilisation de la photographie aérienne et des enquêtes auprès des riverains.
- Reconstituer les données historiques relatives aux crues et évaluer les fréquences d'occurrence de ces événements.
- Etudier les caractéristiques hydro climatologiques et topographiques des bassins versants sujets à des inondations.

Utiliser les outils de cartographie automatique pour superposer l'ensemble de couches et élaborer des cartes définissant les degrés du risque pour chaque région



Chapitre II :

«Description du site d'étude»

Description du site d'étude

Introduction:

La présentation du site d'étude est une phase très importante avant tout projet d'aménagement d'un Oued, pour cela la collecte des données doit être menée correctement, ainsi que l'ensemble des facteurs déclenchant les inondations afin de l'élaboration de notre étude et de protéger contre les risques de ce phénomène et prévoir ces catastrophes.

II.1 Les données naturelles de la zone d'étude

II.1.1 La situation géographique :

La commune est d'Oued Chaaba est situé à l'Ouest et à 16km de de chef-lieu de la wilaya de BATNA au nord est d'Algérie. Elle délimitée administrativement par les communes de (Figure II.1):

- ❖ Au Nord : OUED ELMA
- ❖ Al' Est : HIDOUSSA
- ❖ A l'Ouest : BATNA - TAZOULT
- ❖ Au sud : AIN TOUTA – BENI FOUHDALA

sous les coordonnées suivantes :

X=799.500,00 m

Y=251.500,00 m

Z =1170,00 m

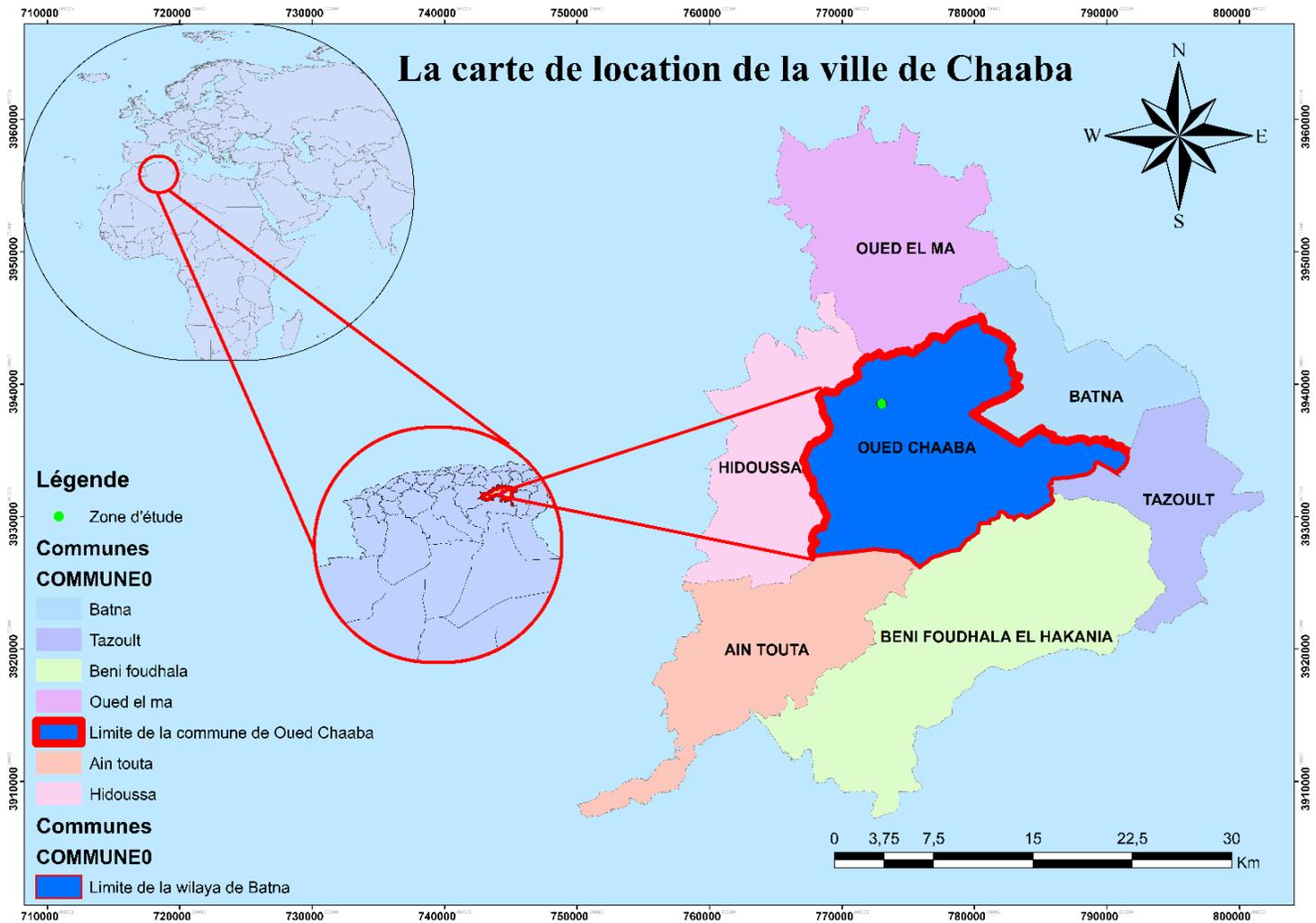


Figure II 1 : Situation de la commune de Batna

La ville Oued Chaaba est situé au Bord de la RN77 et elle c'est traversé par un oued de Chaaba (figure II.2).



Figure II 2: Image satellitaire de la ville d Oued Chaaba

Source (google earth 2018)

II.1.2. Caractéristiques climatiques

Cette zone est également caractérisée par la variabilité interannuelle des précipitations, ou l'on remarque qu'une grande partie des pluies tombe sur cette zone en quelques semaines sous forme d'averses, et puis de grandes sécheresses s'annoncent après ces averses.

1. Température:

Le climat de la région Batna de station météorologique de Batna est de type continental, caractérisé par un hiver relativement tempéré et un été chaud et sec. Cette zone est également caractérisée par une saison pluvieuse, qui s'étale du mois de septembre qui annonce l'arrivée des premières pluies de l'automne jusqu'au mois d'avril ou parfois Mai, qui annonce la fin de la saison humide et le début de la saison sèche.

Tableau II 1: Températures mensuelles moyennes, minimales et maximales (2004/2014).

Mois	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Tem Max(°C)	19.3	20.5	25.8	29.2	33.3	39.03	41.4	40.9	36.5	29.4	25.5	20.5
Tem Min(°C)	-2.4	-3.2	-3	-0.4	3.1	6.6	11.6	12.3	8.09	2.7	-1.4	-3.1
Tem Moy (°C)	8.45	8.65	11.4	14.4	18.2	22.815	26.5	26.6	22.295	16.05	12.05	8.7

Source(ONM.2014) [Batna]

• **Interprétation :** d'après le tableau précédent on constate que :

- Des minimas de température peuvent être enregistrés au mois d'hiver est de fevrier (T = -3.1 °C).
- Des maximas de température peuvent être enregistrés au mois d'été est au mois Juilliet (T = 41.4 °C).
- La température moyenne annuelle est de (16.34) °C.

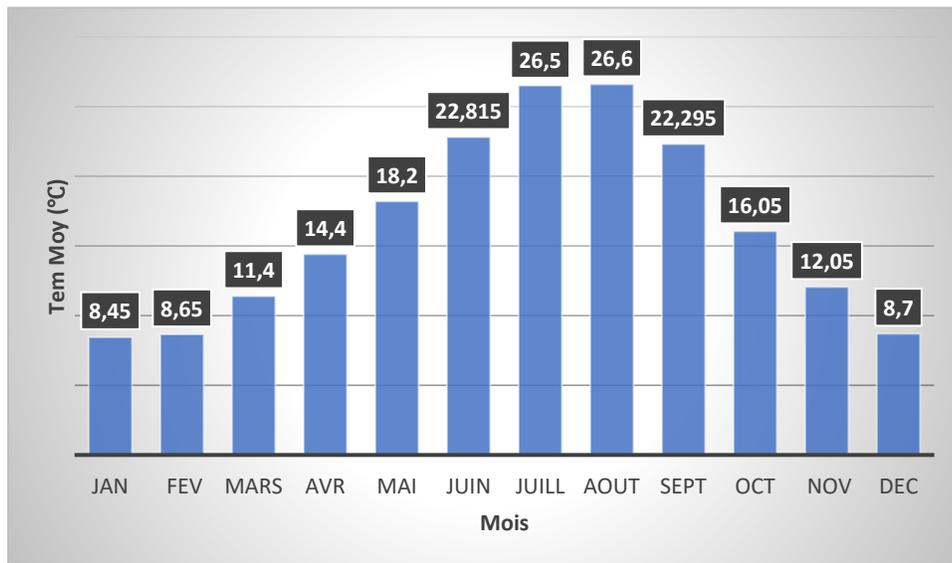


Figure II 3: La répartition moyenne mensuelle des Températures.

2. Humidité:

L'humidité relative atteint son maximum en Décembre et qui est de l'ordre de 71% et descend jusqu'à 33% en juillet au niveau de la station météorologique de Batna.

Tableau II 2: Humidités moyennes mensuelles de la station météorologique de Batna.

Moins	sept	oct	nov	déc	janv	fév	mars	avril	mai	Juin	juill	aout	Moyen annual
Humidité (%)	44.67	58.33	66.33	71	70	67	57.67	46.33	44.67	40	33	34.33	53

Source: (ONM.2014) [BATNA]

3. Pluviométrie:

L'étude des précipitations joue un rôle très important sur tout pour le choix du type du réseau d'assainissement à projeter.

La station pluviométrique utilisée est celle d'*AIN-YAGOUT* étant la plus proche de la zone considérée et qui possède une série d'observation de 40ans d'observations. Cette période d'observation assez longue nous permettra de bien caractériser le régime pluviométrique de la zone d'étude.

Tableau II 3: données de la station d'Ain yagout.

Code de la station	Nom de la station	Coordonnées Lambert (x, y)		Cv	b	Période d'observation	Nombre d'années
06-12-06	Ayn-yagout	625.06	354.72	0.37	0.27	1973/2013	40

Source : (ANRH, 2014)

Les précipitations moyenne mensuelle sur la période (1973-2013) est donnée par le tableau suivant:

Tableau II 4: la répartition mensuelle moyenne interannuelle de précipitation.

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	juill	Aout
P(mm)	44.9	31.01	35.7	34.12	33.6	30.53	39.5	38.32	45.3	23.8	7.2	19.09

Interpretation:

l'analyse des données pluviométriques montre que la hauteur maximale des précipitations est enregistrée au mois de Mai (45.3 mm), tandis que le minimum est atteint au mois de juillet (7.2mm), la pluviométrie moyenne annuelle est 31.92 mm.

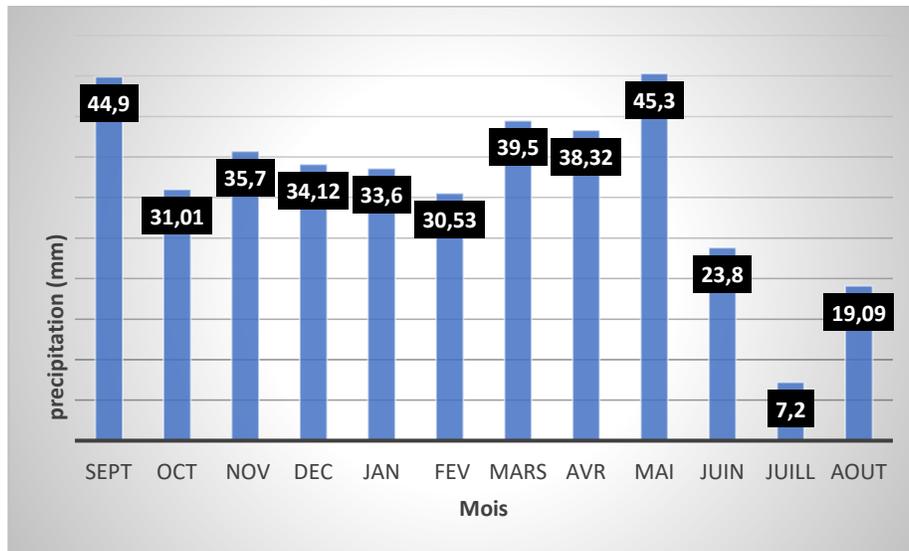


Figure II 4 :la répartition des précipitations moyenne mensuelle.

4. Quotient pluviométrique d'EMBERGER :

Cet indice à pour but la détermination de l'étage bioclimatique :

$$Q = \frac{2000P}{(M+m)(M-m)} \dots\dots\dots (II.1)$$

- ✓ Q : coefficient pluviométrique **d'EMBERGER**
- ✓ P : précipitation moyenne annuelle en (mm)
- ✓ M : moyenne des maximal du mois le plus chaud (en °K)
- ✓ m : moyenne des minimal du mois le plus froid (en °K)

Pour : P=367 mm ; M = 37.1 °C ; m = 0.8 °C

D'où $Q = 34.25$

En portant la valeur de (Q) dans le diagramme bioclimatique d'EMBERGER, (fig.5), et en fonction de la température moyenne minimale du mois le plus froid, on peut confirmer que notre région se situe dans :

- L'étage bioclimatique : Semi Aride
- Sous étage: Hiver frais.

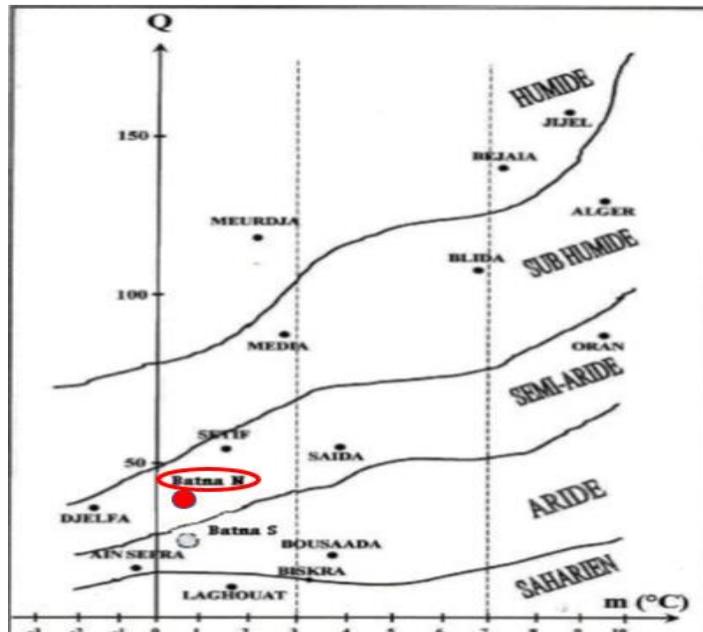


Figure II 5 : Climagramme d'Emberger des deux stations nord et sud de la région de Batna.

II.2 Présentation du bassin versant d'Oued CHAABA

Le **bassin versant** est une surface élémentaire en théorie hydrologiquement close, c'est-à-dire qu'aucun écoulement n'y pénètre de l'extérieur et que tous les excédents de précipitations s'évaporent ou s'écoulent par une seule section à l'exutoire.

On définit aisément le bassin versant topographique limité par une ligne de partage des eaux, mais celui-ci peut différer du bassin versant réel à cause des circulations souterraines ou à cause d'effets anthropiques.

Le Bassin versant d' Oued Chaaba est situé dans la limite est de Le Bassin du Constantinois au Nord et Nord Est qui s'étend sur une superficie de 4 037km² dans le territoire de la Wilaya de Batna (DREB, 2012).

II.2.1 Etude hydromorphologique du bassin versant

Les caractéristiques morphométriques et hydrographiques ont été calculées à partir de la carte d'élévation (modèle numérique du terrain-MNT) avec une résolution de 30 m et par l'utilisation du logiciel Arcgis V 10.4.1.

II.2.1.1 Paramètres morphométriques

a) La surface S (Km²):

La surface topographique est le paramètre le plus important. Elle est déterminée à partir de calcul via l'outil software ArcGis avec le système de coordonnées WGS 1984 UTM Zone 31.

b) Le périmètre P (Km):

Le périmètre correspond à la limite extérieure du bassin.

c) Rectangle équivalent

C'est une transformation purement géométrique en un rectangle de même surface. Il permet de comparer les bassins versants entre eux du point de vue d'écoulement. Les dimensions du rectangle équivalent sont déterminées par les formules suivantes (ROCHE,1963) :

- *Longueur L*

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

- *Largeur l*

$$l = \frac{Kc\sqrt{S}}{1.12} + \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)^2} \right] \dots\dots\dots (II.3)$$

Avec :

L : longueur du rectangle (Km).

l : largeur du rectangle (Km).

K_c : indice de compacité de Gravelius.

S : la surface du bassin versant (Km^2).

d) Indice de compacité de Gravelius K_c

Indice de Gravelius appelé aussi indice de forme. Cet indice caractérise la forme du bassin et exprime l'allongement des bassins versants. Il égale le rapport entre le périmètre du bassin P et le périmètre du cercle de surface équivalente :

$$K_c = \frac{P}{2P\sqrt{\frac{S}{P}}} \approx 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}} \dots\dots\dots (II.4)$$

Avec : P : périmètre du bassin versant en (km).

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

Plus ce coefficient s'approche de 1, plus la forme du bassin versant sera ramassée et plus le temps de concentration de seaux seront court.

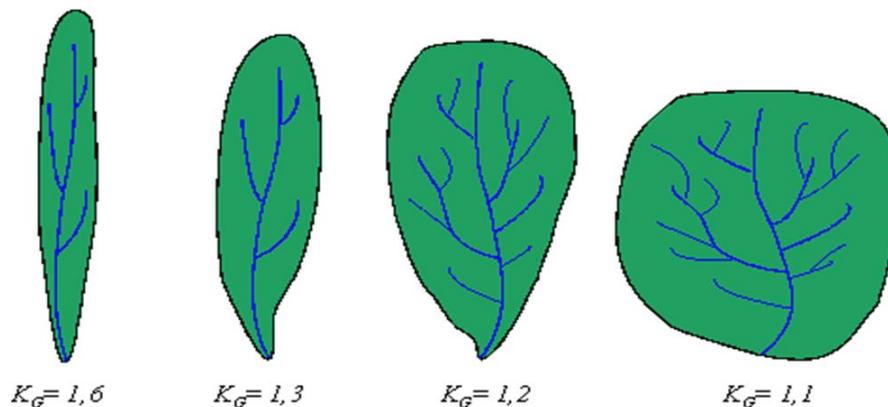


Figure II 6: Différents types des BV selon le coefficient de Gravelius K_c

Les caractéristiques géométriques du bassin versant de l'Oued Chaaba sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau II 5: Récapitulatif des caractéristiques géométriques du bassin versant.

N°	Paramètres		Symbole	Unité	Bassins
					I
1	Surface du bassin versant		S	Km ²	34.67
2	Périmètre du bassin versant		P	Km	25.8
3	Indice de compacité de GRAVELIUS		kc	/	1.23
4	<i>Rectangles</i>	Longueur équivalente	L	Km	7.88
5	<i>Equivalent</i>	Largeur équivalente	l	Km	7.05
6	Longueur de talweg principal		Lp	Km	7.89

Interprétation : pour notre bassin versant : $K_c = 1.23$ donc c'est un bassin versant de forme ramasse.

II.2.1.2 Paramètres des reliefs

L'influence du relief sur l'écoulement se conçoit aisément, car de nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude (précipitations, températures...etc.) et la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement.

Le relief a une forte influence sur la forme de l'hydrogramme de crue, une forte pente provoque un écoulement plus rapide, donc un temps de concentration plus court d'où une montée plus rapide de la crue. L'importance de son étude est caractérisée par la répartition altimétrique du terrain par une courbe appelée 'Courbe hypsométrique'.

A. La courbe hypsométrique:

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Cette courbe a été identifiée après planimétrie des surfaces partielles à partir de la carte à l'échelle (1/50 000).

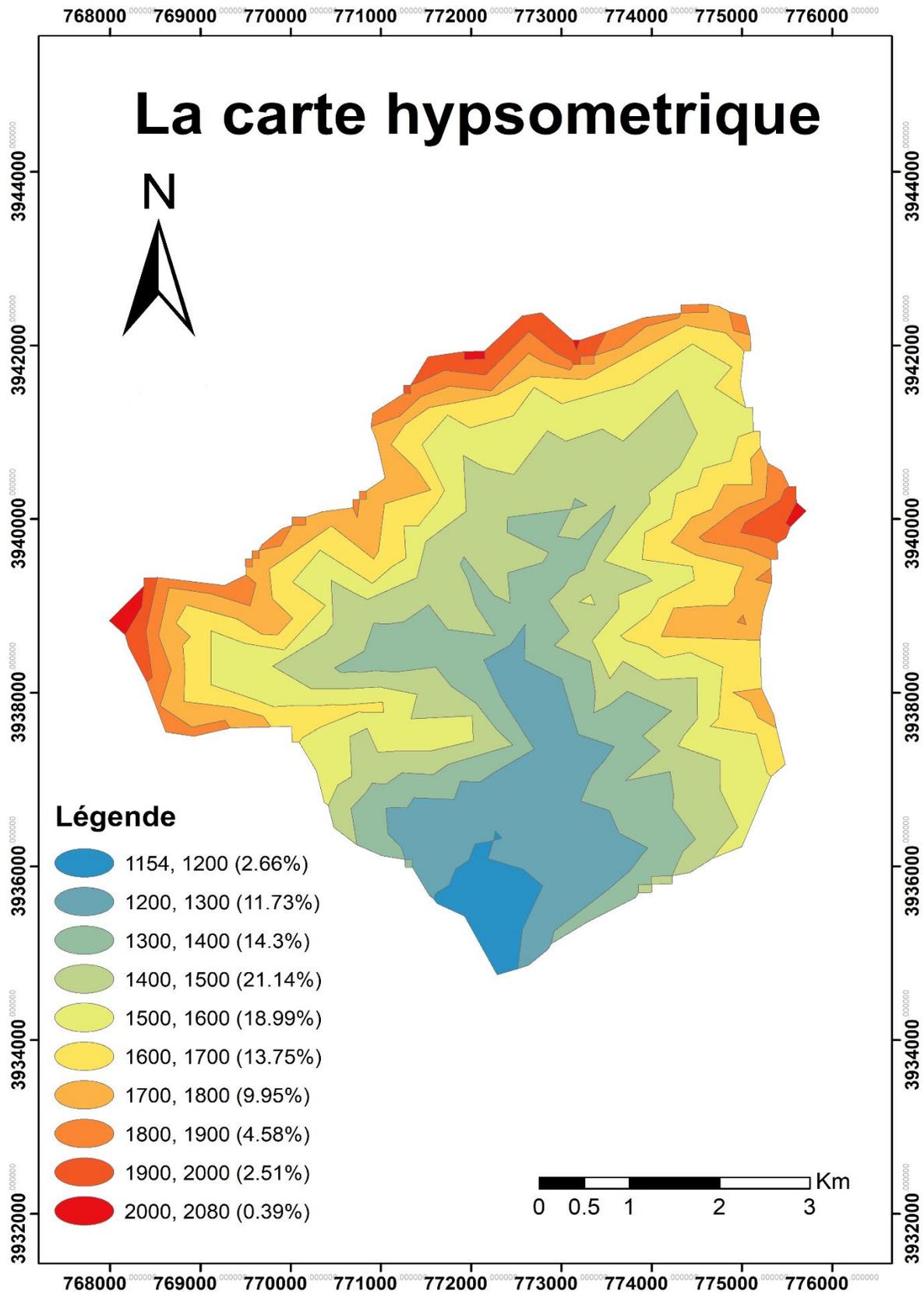


Figure II 7: La carte hypsométrique du bassin versant d'Oued Chaaba.

(Systeme de coordonnees WGS 1984 N31) .

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-après :

Tableau II 6: Répartition en pourcentage de la surface élémentaire du BV.

Altitudes (m)	Surfaces partielles (km2)	Surfaces partielles (%)	Surfaces cumulées (km2)	Surfaces cumulées (%)
1154-1200	0.918825	2.66%	0.918825	2.66%
1200-1300	4.055125	11.73%	4.97395	14.39%
1300-1400	4.943464	14.30%	9.917414	28.69%
1400-1500	7.30717	21.14%	17.224584	49.83%
1500-1600	6.563814	18.99%	23.788398	68.82%
1600-1700	4.752946	13.75%	28.541344	82.57%
1700-1800	3.439362	9.95%	31.980706	92.52%
1800-1900	1.583322	4.58%	33.564028	97.10%
1900-2000	0.867233	2.51%	34.431261	99.61%
2000-2080	0.136149	0.39%	34.56741	100.00%
Totale	34.56741	100.00%		

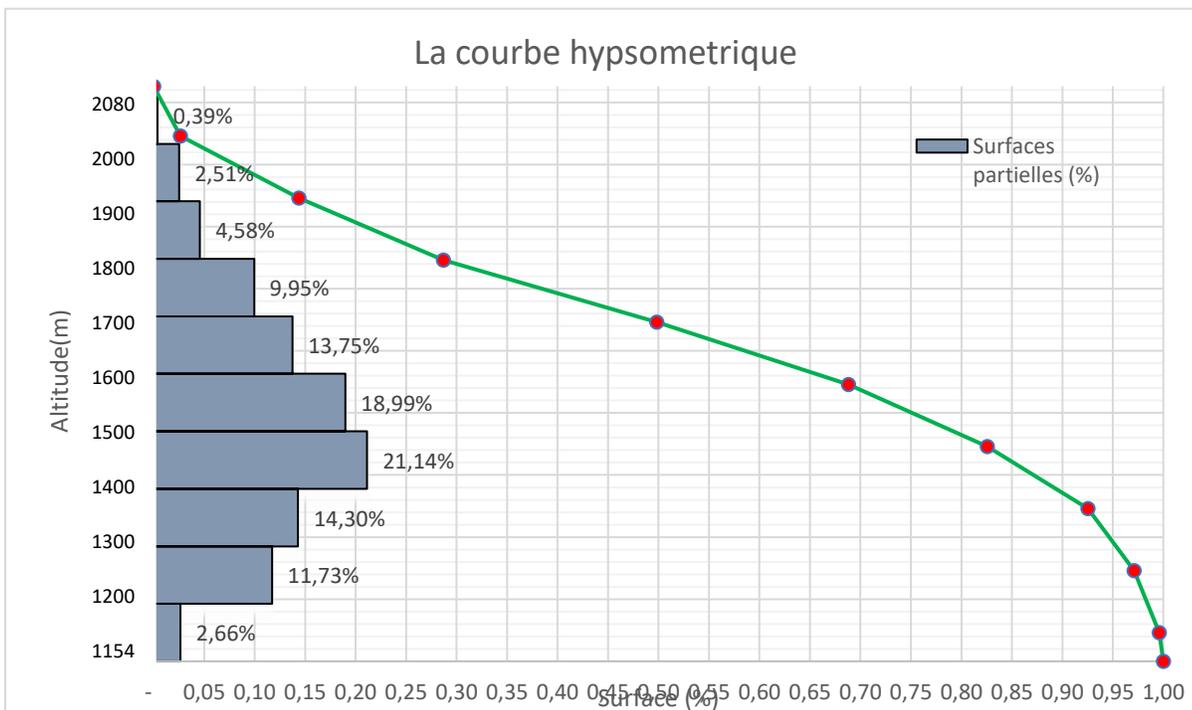


Figure II 8: La courbe hypsométrique du bassin versant d'Oued Chaaba Altitudes caractéristiques.

B. Altitudes caractéristiques :

Elles sont obtenues directement à partir de la carte hypsométrique. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale est le point le plus bas, par rapport à l'exutoire.

✚ L'altitude médiane « H50% » est déterminée sur la courbe hypsométrique.

✚ L'altitude « H5% » est déterminée sur la courbe hypsométrique.

✚ L'altitude « H95% » est déterminée sur la courbe hypsométrique.

✚ L'altitude moyenne « H_{moy} » est calculée par la formule suivante :

$$H_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i H_i}{S} [m] \dots \dots \dots (II.5)$$

$$H_i = \frac{H_{n+1} + H_n}{2} \dots \dots \dots (II.6)$$

Avec :

S_i : surface partielle entre deux courbes de niveaux successives en (Km²).

S : surface totale du bassin versant en (Km²).

H_i : altitude moyenne entre deux courbes de niveaux successives en (m).

Tableau II 7: Calcul de l'altitude moyenne.

Hi(m)	Si(km2)	Hi*Si
1177	0.918825	1081.45703
1250	4.055125	5068.90625
1350	4.943464	6673.6764
1450	7.30717	10595.3965
1550	6.563814	10173.9117
1650	4.752946	7842.3609
1750	3.439362	6018.8835
1850	1.583322	2929.1457
1950	0.867233	1691.10435
2040	0.136149	277.74396
somme	34.56741	52352.5863

Le tableau suivant récapitule les différentes altitudes déterminées de bassin versant de Oued Chaaba:

Tableau II 8: *Les différentes altitudes caractéristiques du bassin d'Oued Chaaba.*

Altitude maximale	H.max	2080 m
Altitude moyenne	H.moy	1515 m
Altitude minimale	H.min	1154 m
Altitude 95%	H.95%	1360 m
Altitude 50%	H.50%	1700 m
Altitude 5%	H.5%	1988 m

C. Indices de pente:

L'objet de ces indices est de caractériser les pentes et la classe d'un bassin versant. Aussi, on les utilise dans l'estimation des vitesses d'écoulements superficiels.

❖ Indice de pente globale I_g

L'objet de ces indices est de caractériser les pentes d'un bassin et de permettre des comparaisons et des classifications.

Les altitudes correspondantes sont lues sur la courbe hypsométrique. L'indice de pente global est donné par la formule suivante :

$$I_g = \frac{D}{L} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} [\text{m/Km}] \dots \dots \dots \text{(II.7)}$$

Avec :

D : dénivelée entre H5% et H95% (m.)

L : longueur du rectangle équivalent (Km).

D. Indice de pente de Roche I_p :

L'indice de pente de Roche est la moyenne de la racine carrée des pentes mesurées sur le rectangle équivalent, et pondérée par les surfaces comprises entre 2 courbes de niveau H_i et H_{i+1} .

I_p est donné par la formule suivante :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^n \sqrt{S_i(H_i - H_{i-1})} \dots\dots\dots (II.8)$$

$$I_p = \frac{1}{0.8} \sqrt{I_g} \dots\dots\dots (II.9)$$

Avec :

L : longueur du rectangle (Km).

S_i : surface partielle (%) comprise entre 2 courbe de niveau H_i et H_{i-1} (m).

I_g : Indice de pente globale.

Tableau II 9: *Calcul de la pente de Roche.*

Hi-Hi-1	Si	Si*(Hi-Hi-1)
46	2.660	122
100	11.730	1 173
100	14.300	1 430
100	21.140	2 114
100	18.990	1 899
100	13.750	1 375
100	9.950	995
100	4.580	458
100	2.510	251
80	0.390	31
somme	100.000	9 849

E. Indice de pente moyenne du bassin versant I_m :

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

Elle est donnée par :

$$I_m = \frac{\Delta H}{L_r} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L_r} \dots\dots\dots (III.10)$$

Avec :

H_{max} : altitude maximale (m).

H_{min} : altitude minimale (m).

ΔH : La plus grande dénivelée (m).

L_r : la longueur du rectangle équivalent (m).

Tableau II 10: *Indice de Pente moyenne du bassin versant.*

Hmin(m)	Hmax(m)	ΔH (m)	Lr(m)	I_m(%)
1154	2080	926	7890	12%

F. Dénivelée spécifique D_s :

L'indice I_g décroît pour un même bassin lorsque la surface augmente, il était donc difficile de comparer des bassins de tailles différentes.

La dénivelée spécifique « D_s » ne présente pas cet inconvénient : elle dérive de la pente globale I_g en la corrigeant de l'effet de surface admis étant inversement proportionnel à \sqrt{s} .

$$D_s = I_g * \sqrt{L_r * I_r} = D * \sqrt{\frac{I_r}{L_r}} \dots\dots\dots (II.11)$$

Avec :

D : dénivelée entre H50% et H95% (m).

lr : largeur du rectangle équivalent (Km).

Lr : longueur du rectangle équivalent (Km).

La dénivelée spécifique ne dépend donc que de l'hypsométrie (D = H50% et H95%) et de la forme du bassin (l/L).

Tableau II 11: Les types de reliefs en fonction de Dénivelée spécifique.

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

Les résultats de calcul des différents indices de pente du bassin versant d'Oued Chaaba sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau II 12: Les différents indices de pente.

Indices de pente	Im(%)	Ig(m/Km)	Ip	Ds(m)
	12	73.6	11.15	468.66

Interprétation: En conclure que le bassin versant de Oued Chaaba est caractérisé par un relief assez fort. Et nous pouvons dire que l'indice de pente moyenne est fort. Donc, on assiste à un écoulement torrentiel.

II.2.2 Réseau hydrographique

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

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

II.2.2.1 Ordre du bassin versant

Le travail consiste à classer les cours d'eau suivant la classification de Schumm, dont le principe est résumé à la manière suivante :

- Tout cours d'eau n'ayant pas d'affluent est dit d'ordre 1.
- Un cours d'eau recevant un effluent d'ordre inférieur garde son ordre.
- Au confluent de deux cours d'eau de même ordre n , le cours d'eau résultant est d'ordre $n+1$.

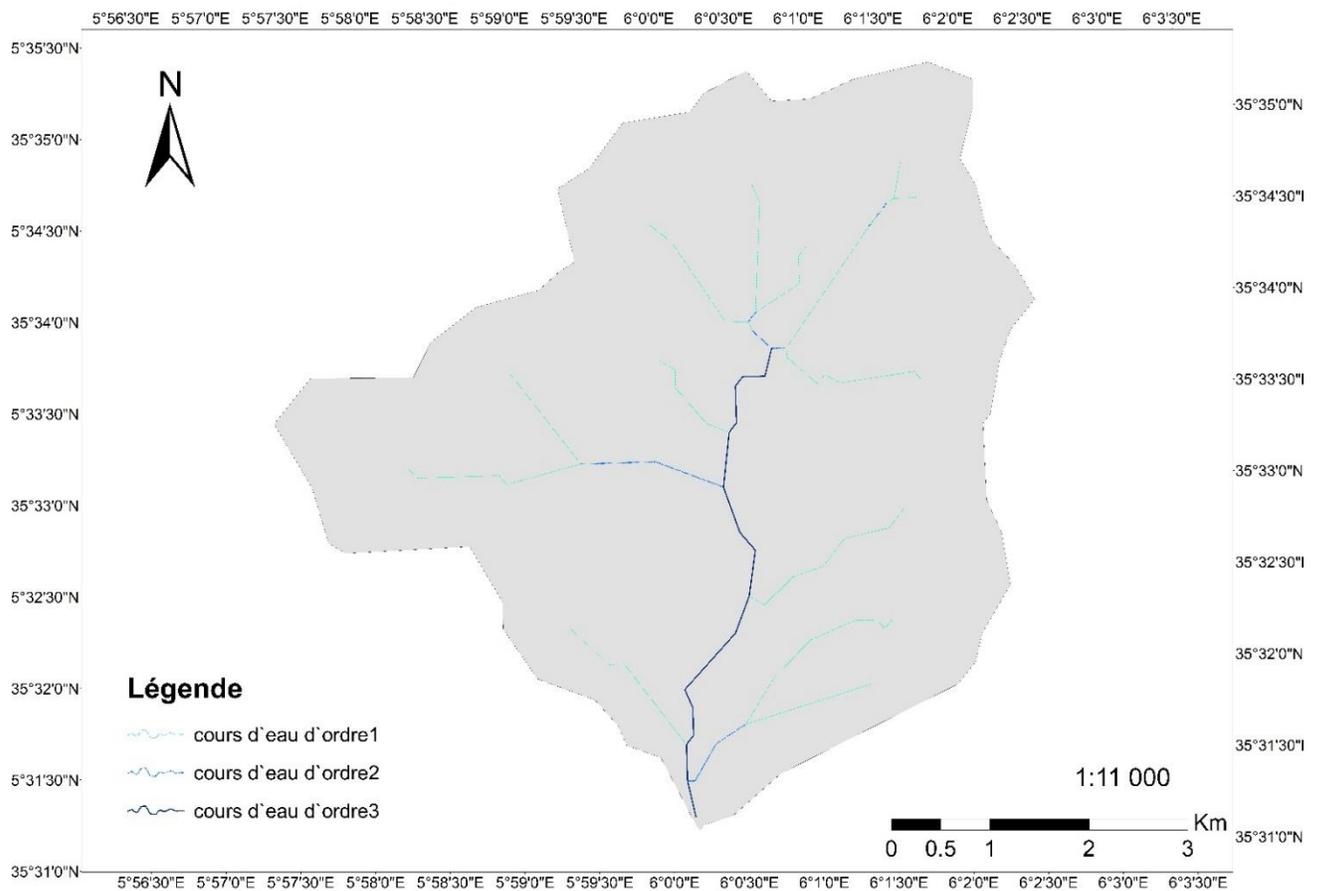


Figure II 9: Réseau hydrographique du bassin versant d'Oued Chaaba. (Système de coordonnées WGS 1984 N31)

Tableau II 13: *Nombre et longueur des talwegs.*

Ordre	Nombre de cours d'eau	Longueur
1	18	18.95
2	8	3.07
3	6	5.39
Somme	32	27.41

1) Densité de drainage D_d :

La densité de drainage a une relation directe avec la dissection des reliefs. Elle est définie comme étant le rapport entre la longueur totale de tous les talwegs du bassin versant, à la surface totale. Elle donné par la formule suivante :

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{S} \text{ [Km/Km}^2\text{]} \dots\dots\dots \text{(II.12)}$$

Avec :

$\sum_{i=1}^n L_i$: longueur des cours d'eau (Km).

S : surface du bassin versant (Km²).

2) La pente moyenne du cours d'eau principale I_c :

La pente moyenne du cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau atteint l'exutoire du bassin, donc le temps de concentration, Cette variable influe sur le débit maximal observé. Une pente abrupte favorise et accélère l'écoulement superficiel tandis qu'une pente douce ou nulle donne à l'eau le temps de s'infiltrer, entièrement ou en partie dans le sol.

$$I_c = \frac{\Delta H}{L_{ep}} [\%] \dots\dots\dots \text{(II.13)}$$

Avec :

ΔH : dénivellation maximale de la rivière (km).

L_{cp} : longueur du cours d'eau principal (km).

3) Temps de concentration T_c :

Le temps de concentration est le temps qui sépare la fin de la pluie efficace de la fin du ruissellement direct. C'est le temps que met une goutte d'eau tombée sur le point le plus éloigné en amont du bassin versant pour arriver à l'exutoire. C'est une caractéristique importante de tout bassin versant. L'estimation du temps de concentration est obtenue grâce à des formules empiriques.

❖ Formule de GIANDOTTI :

Elle est obtenue par la formule :

$$T_c = \frac{4 \times \sqrt{S} + 1.5L}{0.8 \times \sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \dots \dots \dots \text{(II.14)}$$

Avec : **S** : Surface du bassin versant en (Km²);
 L : Longueur du thalweg principal (Km).

❖ Formule de VENTURA améliorée par PASSISNI :

Elle est donnée par :

$$T_c = 0.1272 \cdot \frac{\sqrt[3]{S}}{\sqrt{I_m}} \dots \dots \dots \text{(II.15)}$$

Avec : **I_m** : Pente moyenne du cours d'eau;
 S : Surface du bassin versant (Km).

❖ la formule de Kirpich:

$$T_c = 0.000325 \frac{L_{ep}^{0.77}}{I_c^{0.385}} [h] \dots \dots \dots \text{(II.16)}$$

Avec : **L_{ep}** : longueur du cours d'eau principal (m).
 I_c : la pente moyenne du cours d'eau principale en (m/m).

❖ **Formule de SCS : (Soil Conservation Service, USA) :**

$$T_{c=} \left(0.87 \times \frac{L^3}{H} \right)^{0.387} \dots\dots\dots (II.17)$$

Avec :

L : Longueur du thalweg principal (Km);

H : Différence entre altitude max. et altitude min.

Tableau II 14: *Les différents paramètres du réseau hydrographiques.*

Densité de drainage (Km/Km2)	Longueur du cours d'eau principal (Km)	lc (%)	Tc (h)	Vr (Km/h)
0.79	7.89	11.73%	1.2	6.57

Tableau II 15: *Les différents méthode de calcule de temps de concentration (Tc).*

Metode	Tc (h)
La formule Kirpiche	3.63
La formule Ventura	1.2
La formule Giandotti	1.45
La formule SCS	0.74

D` après l`analyse des différentes formules empiriques et la diversité des résultats, nous adoptons comme relation celle de VENTURA. Donc, le temps de concentration est **Tc=1.2 h**

4) Vitesse moyenne de ruissellement Vr

La vitesse de ruissellement est calculée en utilisant le temps de concentration de la formule de kirpich. Cette vitesse est donnée par la formule :

$$V_r = \frac{L_{ep}}{T_c} [Km/h] \dots\dots\dots (II.18)$$

Avec : **L_{ep}** : longueur du cours d'eau principal (km).

T_c : temps de concentration (h).

Tableau II 16: Récapitulatif des caractéristiques hydromorphologiques du bassin versant d'Oued Chaaba.

Caractéristiques		Symboles	Unités	Valeurs
Morphométrie				
Superficie		S	Km ²	34.67
Périmètre		P	Km	25.8
Coefficient de compacité de Gravelius		K _c	-	1.23
Rectangle équivalent	Longueur	L	Km	7.88
	Largeur	l	Km	7.05
Reliefs				
Altitudes	Maximale	H _{max}	m	2080
	Moyenne	H _{moy}	m	372
	Minimale	H _{min}	m	1515
	Altitudes de fréquence 5%	H _{5%}	m	1988
	Altitudes de fréquence 95%	H _{95%}	m	1360
	Altitudes de fréquence 50%	H _{50%}	m	1700
Indice de pente globale		I _g	m/Km	73.6
Indice de pente de Roche		I _p	%	11.15
Indice de pente moyenne du bassin versant		I _m	%	12
Dénivelée spécifique		D _s	m	468.66
Réseau hydrographique				
Longueur du cours d'eau principal		L _{cp}	Km	7.89
Pente moyenne du cours d'eau		I _c	%	11.73
La somme des longueurs des talwegs		ΣL _i	km	27.41
Densité de drainage		D _d	Km/Km ²	0.79
Temps de concentration		T _c	h	1.2
Vitesse de ruissellement		V _r	Km/h	6.57

Conclusion

Avoir bien analysé et interprété les différents paramètres, dont chacun a un rôle direct sur la transformation de la pluie nette en écoulement et la manifestation de celui-ci dans le bassin versant, alors la synthèse finale sera ainsi :

Le bassin versant d'Oued Chaaba caractérisé par une surface modérée englobe toute la ville de Chaaba.

La crue est caractérisée par des vitesses élevées en amont voire la pente du cours d'eau et surtout le temps de concentration qui est dans l'ordre de 72 minutes. Selon ces paramètres on constate que les eaux de la crue s'accumulent très rapidement dans la zone et la capacité du cours d'eau sera dépassée ce qui donnera lieu à des débordements des eaux avec un débit important qui sera drainé en aval.

II.3. Etude géologique et géotechnique :

Introduction

Le traitement en détail la géologie du site de la cuvette et de la zone d'emprunt est d'une nécessité vitale pour mener convenablement le déroulement de notre projet et de cerner toutes les contraintes qui entravent la faisabilité ou non de l'ouvrage.

II.3.1 La sismicité :

Le territoire national est divisé en 05 zones de sismicité croissante, définies comme suit :

-  Zone 0 : sismicité négligeable.
-  Zone I : sismicité faible.
-  Zone II.a et II.b : sismicité moyenne.
-  Zone III : sismicité élevée.

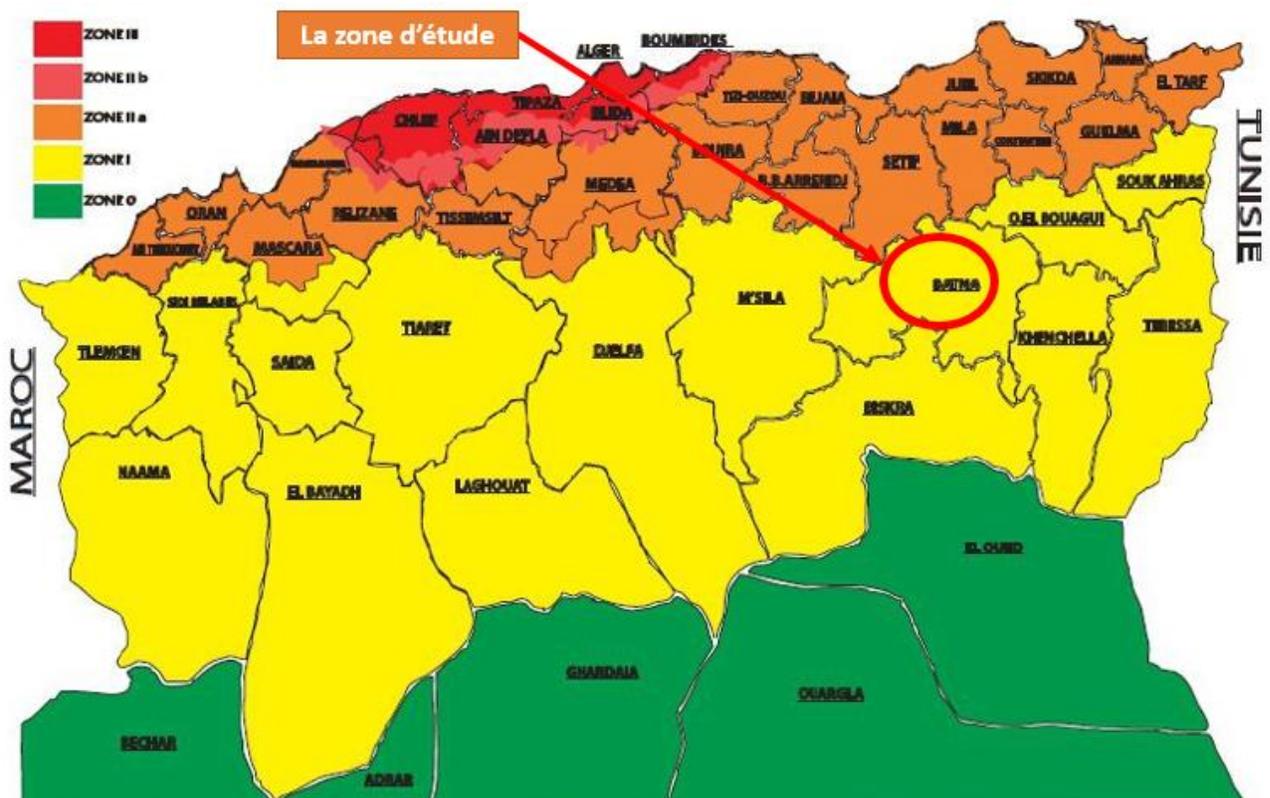


Figure II 10: Carte des zonage sismiques de l'Algérie (RPA, 2003).

Interprétation : La commune de CHAABA (Wilaya de BATNA) est classée dans la zone une (I) de la carte de zonage sismique du territoire national, où les activités sismique sont faibles et ne nécessitent pas des mesures spéciales ou antisismiques lors de la réalisation des ouvrage.

II.3.2 La situation géologique :

La reconnaissance géologique du site nous permettra de prendre les dispositions indispensables à la réalisation des tranchées, ainsi que le choix des engins de terrassement à utiliser. La lecture de la carte géologique de la zone et les analyses géologiques effectuées par l'ANRH a permis d'apporter que le périmètre de l'étude présente une pente favorisant un écoulement rapide et sans infiltration des eaux de pluies dans le sol et présente des formations essentiellement calcaires, schisteuses et argileuses.

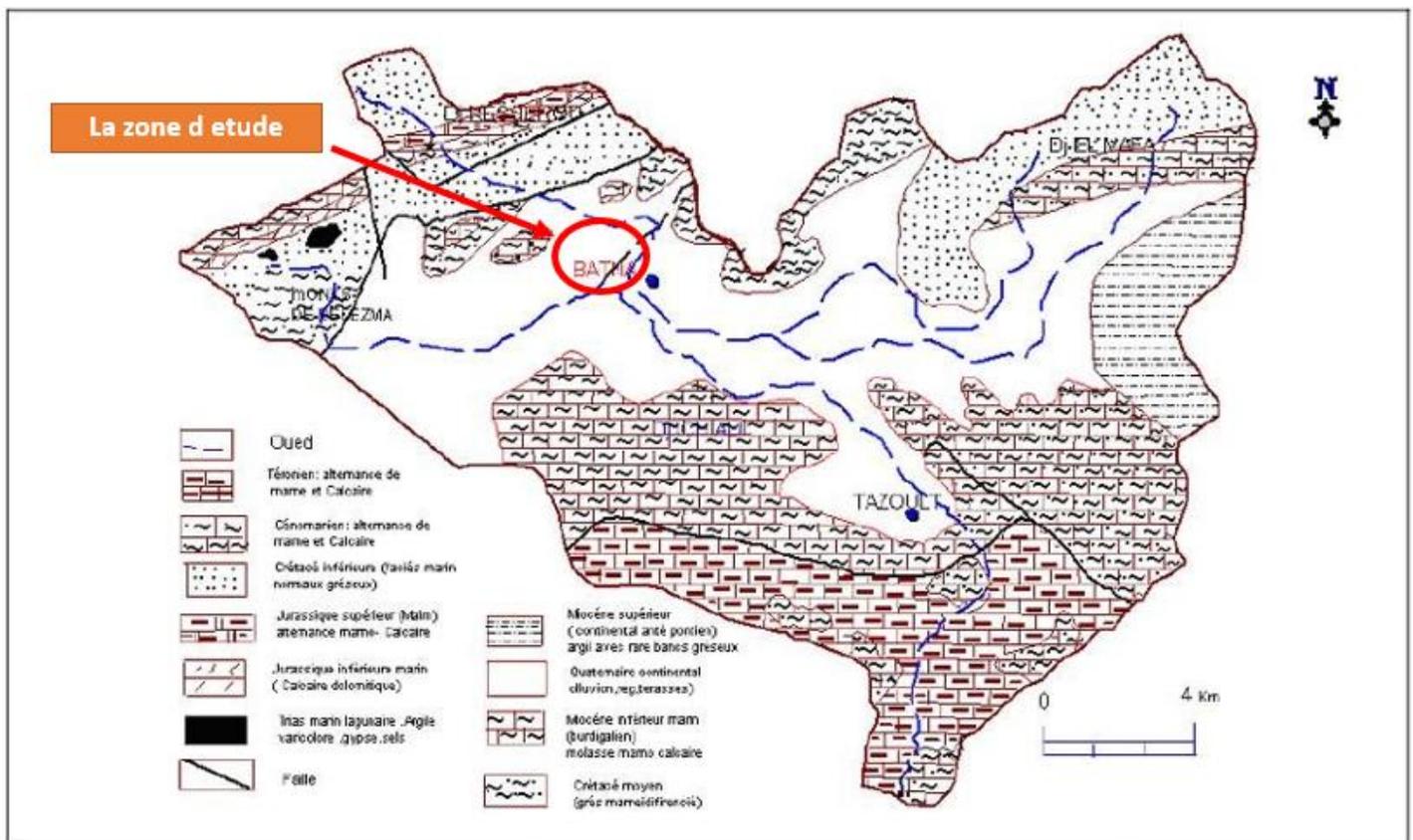


Figure II 11: Carte géologique de la zone centrale de Batna (Belkhiri, 2006).

1. Géologie du bassin versant:

Les formations géologiques qui constituent le bassin versant de Oued Chaaba appartiennent à la terminaison périclinale Nord orientale de l'anticlinal de Djebel Guetiane dont le style tectonique est généralement modéré. La structure géologique de cette partie de l'anticlinal est affectée de failles d'amplitude faible et d'orientation NW-SE. Généralement bien marquées au niveau de l'Aptien supérieur rigide, elles s'amortissent ensuite plus ou moins dans les séries souples du Cénomaniens.

2. Géomorphologie du bassin versant:

Les surfaces du bassin versant de Oued Chaaba sont moyennement importantes. Sa forme vers le Nord –Est est large et ouverte, mais vers le sud-Ouest elle est presque fermée. Il est vraisemblable que des phénomènes tectoniques sont à l'origine de cette morphologie.

Deux types de matériaux géologiques distincts ont créés deux formes de versants différents. Aussi les formations du versant gauche sont constituées de couches carbonatées épaisses, la stabilité est vraisemblablement assurée, il n'en est pas de même du versant droit dont les formations argilo –marneuses sont instables et glissantes. La partie médiane du bassin versant est occupée par une épaisse série détritique continentale, et le cours d'eau de Oued Chaaba semble rassembler un nombre important de ravins.

II.3.3 Aperçu hydrogéologique du bassin versant :

Les formations géologiques du Barrémien et de l'Aptien représentent une bonne partie des terrains du bassin versant de Oued Chaaba. Les faciès dominants sont généralement de nature carbonatée, ils sont favorables au développement des zones karstiques dans lesquelles peuvent circuler des eaux souterraines. Quelques sources d'importance moyenne sont situées au Nord, au Nord –Ouest et à l'Ouest du bassin versant, elles témoignent des capacités hydrogéologiques non négligeables des formations carbonatées du bassin versant de Oued Chaaba.

II.3.4 Etude géotechnique :

II.3.4.1 Prospection géotechnique de laboratoire :

1) Les normes et les modes opératoires

Les essais géotechniques ont été réalisés par le laboratoire des travaux publics de l'Est (L.T.P Est de Constantine), Les normes utilisés et les modes opératoires des essais sont les suivants :

- ✓ Les essais d'identification et de classification ont été réalisés selon la norme standard de l'E.T.P E découlant des normes A.S.T.M.
- ✓ Les essais de « Proctor normal » pour l'évaluation des caractéristiques géotechniques des matériaux de la digue sur la portion de particules de diamètre inférieur à 4 mm sous une énergie de compactage de 600 KN/m².
- ✓ Les essais de compressibilité à l'odomètre pour évaluer les paramètres de calcul des tassements.
- ✓ Les essais de perméabilité ont été réalisés à l'odomètre.

2) Nombre d'essai :

➤ Essais physiques:

- Teneur en eau naturelle -----7 essais
- Densité sèche -----4 essais
- Degré de saturation -----4 essais
- Densité des grains solides -----7 essais
- Granulométrie – sédimentométrie-----7 essais
- Limites d'Atterberg-----7 essais

➤ Essais mécaniques :

- Essai de compression à l'oedomètre -----1essai
- Essai de perméabilité -----1essai
- Essai « proctor normal »-----4 essais

II.3.4.2. Résultats géotechniques de terrain et de laboratoire:

a. Caractéristiques physiques :

- ✓ Les résultats de l'analyse granulométrique et sédimentométrique sont les suivants :
 - Grain de diamètre inférieur à 80μ ------(41% -95%)
 - Grain de diamètre supérieur à 2mm------(2% - 36%)
 - Grain de diamètre compris entre 2mm-0,2mm------(3% - 11%)
 - Grain de diamètre compris entre 0,2 mm – 0,02mm----- (4% - 25%)
 - Grain de diamètre compris entre 0,02mm – 0,002mm----- (14% - 49%)
 - Grain de diamètre inférieur à 2μ ------(15% - 42%)
- ✓ Les valeurs des limites d'Atterberg.
 - Limite de liquidité W_L (41,91 – 53,81)
 - Indice de plasticité I_p (20,47 – 29,52)

b. Caractéristiques mécaniques :

- ❖ Les paramètres de cisaillement :

Mis à part le sol de la fouille AF2, l'essai de cisaillement rectiligne n'a pas pu être réalisé pour des raisons d'absence de mottes ou d'impossibilité de taillage de celles –ci. Pour les sols des fouilles AF1 et AF3 les valeurs de l'angle de frottement interne et de la cohésion ont été calculées à l'aide des formules de Biarez – Simon.

Les sols de fondation de la digue présentent donc :

- Angle de frottement interne : $\varphi_{uu} = 16^\circ - 18,49^\circ$
- Cohésion : $C_{uu} = (13 - 26) \text{ KN/m}^2$

c. Analyses chimiques :

Les résultats des analyses chimiques effectuées sur les sols de fondation de la digue sont résumés comme suit :

- Teneur en insoluble: 40,10% - 42,20%
- Teneur en carbonate: 51,18% - 54,33%
- Teneur en gypse : sous forme de traces

II.3.4.3. Interprétation des résultats des essais géotechniques effectués sur les sols

Les résultats précédents peuvent être interprétés comme suit :

1. Les sols de fondation du site de l'ouvrage appartiennent selon la classification U.S.C.S au groupe des argiles minérales peu plastiques (AP)
2. Les dimensions des D_{max} sont généralement faibles, et les pourcentages granulométriques au niveau des tamis à petites mailles sont élevés. Il s'agit donc des sols fins.
3. Les valeurs de l'angle de frottement interne et de la cohésion indiquent que les sols de fondation de la digue présentent une résistance au cisaillement satisfaisante.
4. Les courbes granulométriques des sols du site de la digue présentent généralement des D_{15} de l'ordre de $0,002 \text{ mm} = 0,0002 \text{ cm}$ donc $K \approx (2 \times 10^{-4})^2 = 4 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$. (car la perméabilité d'un sol est sensiblement proportionnelle au carré du diamètre D_{15} . Du point de vue pratique)
5. On comparant la limite de liquidité des argiles non sensibles et leur indice de compression, SKEMPTON a trouvé une corrélation assez nette et proposé la formule :

$$C_C = 0,009(W_L - 10) = 0,33 \dots\dots\dots(\text{II.19})$$

avec: $W_L = 47,47$. (La valeur moyenne des limites de liquidité)

Les sols de fondation sont donc moyennement à fortement compressibles .

6. Les résultats des analyses chimiques montrent que le taux des carbonates est considérable et dépasse 50%, celui des insolubles (silicates) est appréciable (supérieur à 40%), c'est donc le caractère marneux qui prédomine. Le gypse se trouve sous forme de traces.

Les résultats de des essais géotechnique sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau II 17: *Caractéristiques géotechnique de la fondation de l'ouvrage.*

Caractéristiques géotechniques	Unité	Valeur
Angle de frottement interne (φ_{uu})	(°)	16
Cohésion(C_U)	KN/m ²	13
Angle de frottement effectif (φ')	(°)	14,5
Cohésion effective (C')	KN/m ²	5,85
Coefficient de perméabilité (K)	m/s	4×10^{-8}

Source : (L.T.P Est de Constantine)

Conclusion

Après l'analyse de toutes les données géotechniques à partir des essais in situ et au laboratoire effectuée sur les différents faciès évoqués ci-dessus. L'étude géologique et géotechnique précédente permet d'aboutir aux conclusions suivantes :

Les couches carbonatées du substratum commun sont très profondes et bien recouvertes par les formations étanches sus-jacentes. La perméabilité des terrains de l'ouvrage est bien assurée.

Pour lutter contre les éventuels tassements du sol de la fondation qui peuvent naître sous les efforts verticaux des talus. Les conditions sont favorables pour la réalisation d'un aménagement d'Oued Chaaba Wilaya de Batna.



Chapitre III :

«Etude hydrologique»

Etude hydrologique

Introduction

L'hydrologie est la science qui étudie l'eau sous ses aspects quantitatif et qualitatif durant les différentes phases de son cycle dans la nature.

Le but est donc d'analyser les données pluviométriques pour la détermination de la pluie maximale fréquentielle et les pluies de courte durée qui sont généralement génératrices des inondations et par conséquence la détermination des débits de pointes des crues d'Oued Chaaba convenants aux différentes périodes de retour.

III.1 Précipitation

III.1.1 Présentation de la station pluviométrique

Pour la détermination de la précipitation moyenne sur le bassin de la zone d'étude, nous avons utilisé la station pluviométrique de Ayn-yagout code 06-12-06 ($X = 625.0$ Km, $Y = 354.72$ Km).

La pluviométrie moyenne annuelle obtenue pour la station de Ayn-yagout est de 367 mm avec un coefficient de variation égal à 0,27.

Tableau III 1: *Caractéristiques du poste pluviométrique Ayn-yagout*

Code de la station	Nom de la station	Coordonnées Lambert		Cv	b	Période d'observation	Nombre d'années
		(x, y)					
06-12-06	Aynyagout	625.06	354.72	0.37	0.27	1973/2013	40

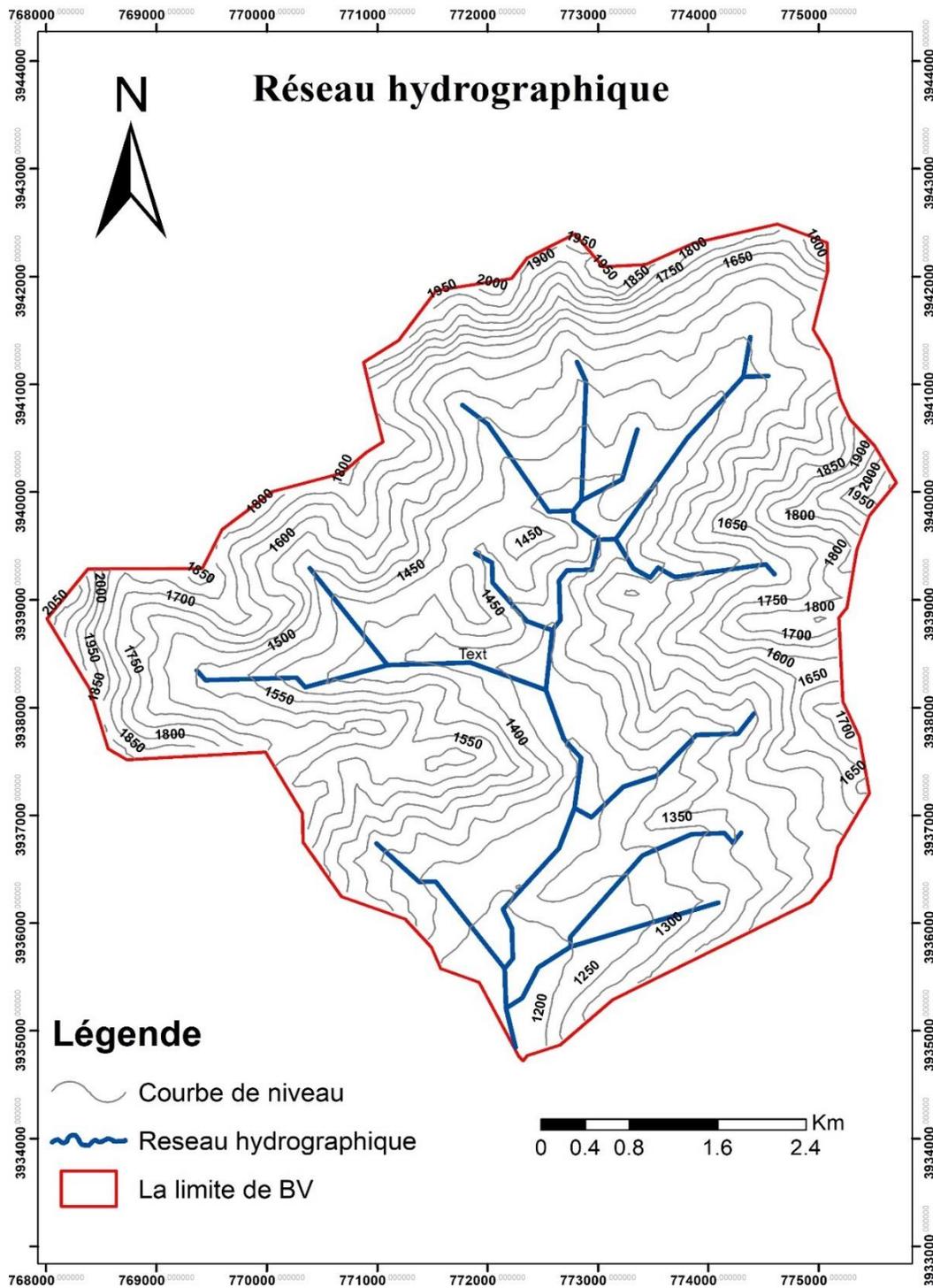


Figure III 1: La carte de réseau hydrographique du bassin versant d'Oued Chaaba.

(Systeme de coordonnees WGS 1984 N31)

III.1.2 Echelle spatio-temporelle de l'étude hydrologique :

En hydrologie, l'un des critères essentiels est certainement l'échelle spatio-temporelle.

Dans notre étude, l'analyse des pluies est basée sur les relevés pluviométriques effectués dans la station de Ayn-yagout. Les pluies maximales journalières de rares fréquences sont des pluies génératrices des crues d'importants débits, contre lesquels il faut protéger l'ouvrage ou l'agglomération.

Tableau III 2 : *Pluies maximales journalières [1973-2013] de la Station de Ayn-yagout.*

n	Année	Pmax (mm)	n	Année	Pmax (mm)	n	Année	Pmax (mm)
1	1973/74	48	15	1987/88	79.6	29	2001/02	36.5
2	1974/75	26.3	16	1988/89	56.1	30	2002/03	40.2
3	1975/76	27.4	17	1989/90	26.3	31	2003/04	66.1
4	1976/77	20.5	18	1990/91	29.4	32	2004/05	16.8
5	1977/78	35.1	19	1991/92	36.2	33	2005/06	16.5
6	1978/79	46.9	20	1992/93	29.8	34	2006/07	45.2
7	1979/80	40.5	21	1993/94	42.5	35	2007/08	42.5
8	1980/81	27.7	22	1994/95	16.7	36	2008/09	42.5
9	1981/82	47.1	23	1995/96	17	37	2009/10	20.6
10	1982/83	68.6	24	1996/97	50.2	38	2010/11	23
11	1983/84	49.5	25	1997/98	13.7	39	2011/12	24.2
12	1984/85	41.9	26	1998/99	15.7	40	2012/13	26.5
13	1985/86	36.9	27	1999/00	25.5			
14	1986/87	41.2	28	2000/01	23.7			

III.2 Etude des précipitations maximales journalières

Dans le but de l'estimation des pluies maximales fréquentielles, on a construit une série des Pluies maximales journalières. Le travail sur cette dernière se fera de la manière suivante :

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

Le calcul des paramètres de la série, l'ajustement à des lois, le calcul des quantiles et l'adéquation sont tous fait par l'utilisation du logiciel Hyfran.

Les caractéristiques de la série sont récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau III 3: *Caractéristiques de la série des Pluies maximales journalières [1973-2013].*

Paramètres	Caractéristiques de la série
Nombre de donnée	41
Minimum	13.7
Maximum	79.6
Moyenne	35.52
Mediane	35.7
Ecart-type	15.4
Coefficient de variation (Cv)	0.435
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0.82
Coefficient d'aplatissement (Ck)	3.2

III.2.1 Choix de la loi d'ajustement

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

Pour bien sélectionner le modèle adéquat, on entame la démarche de choix par des considérations théoriques à savoir :

- ❖ En hydrologie fréquentielle des valeurs extrêmes, les distributions ne sont cependant pas symétriques, ce qui constitue un obstacle à l'utilisation de la loi normale.
- ❖ Plus le nombre de paramètres d'une loi est grand, plus l'incertitude dans l'estimation est importante. Pratiquement il est par conséquent préférable d'éviter l'utilisation de lois à trois paramètres ou plus.
- ❖ La comparaison de la queue de la distribution expérimentale, avec un graphe qui donne la distribution théorique des différentes lois utilisées en hydrologie fréquentielle.

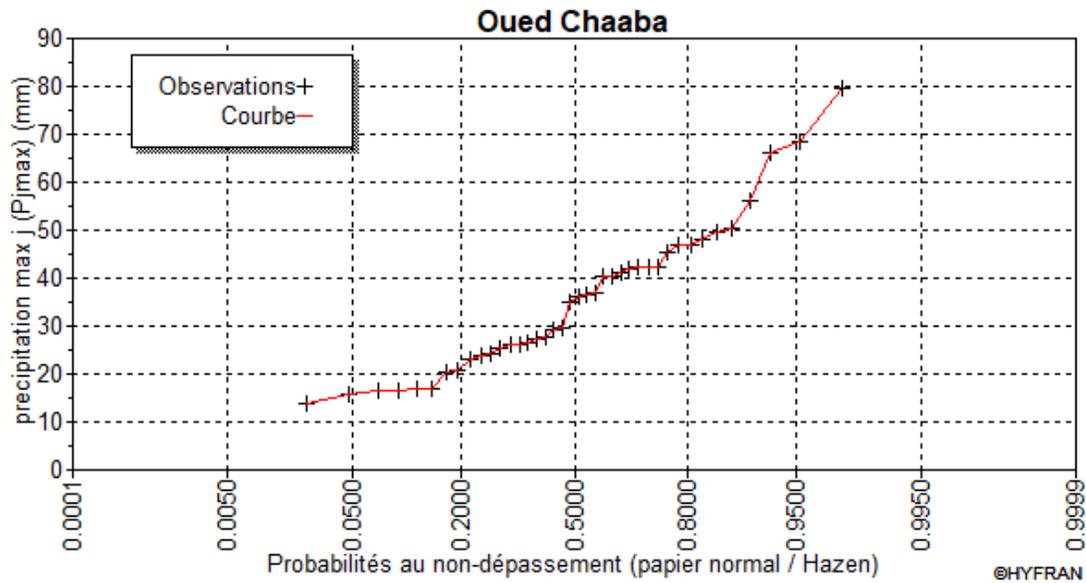
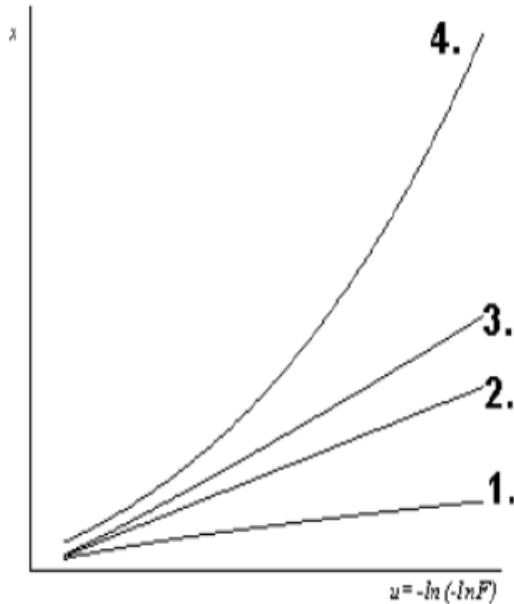


Figure III 2: Comportement asymptotique de la série.



- ❖ 1 correspond à la loi normale.
- ❖ 2 correspond à la croissance asymptotique exponentielle : loi de Gumbel, GEV.
- ❖ 3 correspond à la loi de Goodrich.
- ❖ 4 correspond à des lois de type logarithmiques : loi log-normale...

Figure III 3: Comportement asymptotique de la série.

A travers la comparaison de comportement asymptotique de la série (Figure : III.2), avec les 4 comportements asymptotiques (figure III.3), on conclut que le modèle théorique qui donne une distribution approximativement proche de la distribution expérimentale est du type N°2 qui correspond à la croissance asymptotique exponentielle : loi de Gumbel, GEV.

- ✓ **Loi de GALTON ou loi log normale.**
- ✓ **Loi de GUMBEL.**

Le choix des lois de Gumbel et GEV est pour peuvent largement surestimer les valeurs correspondant à des fréquences rares. Pour cette raison dans notre étude on fait appel à trois modèles fréquentiels.

1) Ajustement à la loi de Gumbel:

Elle est dite aussi loi doublement exponentielle ou loi des valeurs extrêmes. La fonction de répartition de la loi s'exprime de la manière suivante :

$$F(x) = e^{-e^{-x}} \dots\dots\dots (III.1)$$

$$u = \frac{x - x_0}{\alpha} \dots\dots\dots (III.2)$$

Avec :

- u : la variable réduite de Gumbel.
- x : la précipitation maximale journalière (mm)
- x₀ : le paramètre de position (ordonnée à l'origine).
- α : le paramètre d'échelle.

L'équation de la droite de Gumbel sera :

$$x = \alpha u + x_0 \dots\dots\dots (III.3)$$

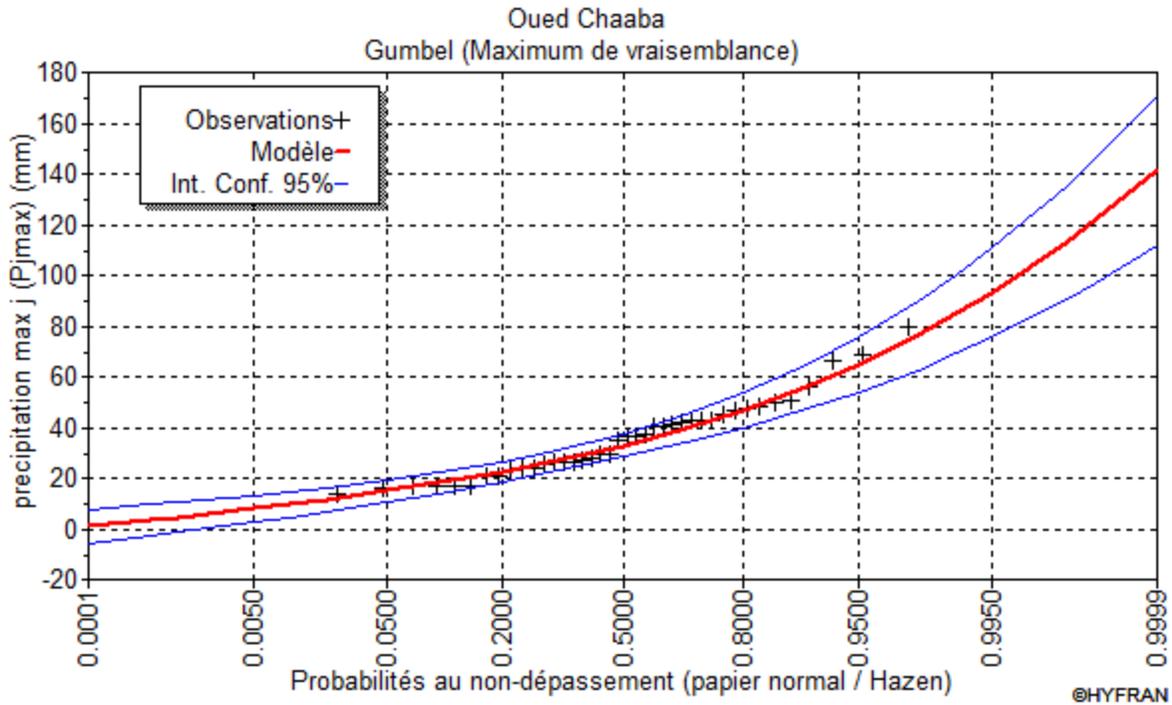


Figure III 4: Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Gumbel.

Le résultat de l'estimation des paramètres de la loi de Gumbel sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau III 4: Les paramètres de la loi de Gumbel.

X_0	28.3631
α	12.2644

Les résultats de calcul des quantiles sont exposés dans le tableau suivant :

Tableau III 5: Quantiles théoriques de Gumbel

Période de retour T (ans)	Fréquence non dépassement q	Valeurs théoriques $P_{max j XT}$ (mm)	Ecart-type σ	Intervalle de confiance (95%)
1000	0.999	113	11.4	90.7-135
100	0.99	84.8	7.95	69.2-100
50	0.98	76.2	6.91	62.7-89.8
10	0.9	56	4.52	47.1-64.8
5	0.8	46.8	3.51	39.9-53.6
2	0.5	32.9	2.27	28.4-34.3

2) Ajustement à la loi de Galton :

La loi de Galton s'appelle également loi log-normale ou loi de Gibrat-Gauss. La fonction de répartition est donnée par la représentation suivante :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} du \quad \dots\dots\dots \text{(III.4)}$$

La variable réduite est de la forme :

$$u = \frac{\ln x - \overline{\ln x}}{\sigma_{\ln x}} \dots\dots\dots \text{(III.5)}$$

Avec :

- u : la variable réduite de Galton.
- $\overline{\ln x}$: la moyenne de la série $\ln x_i$.
- $\sigma_{\ln x}$: écart type de la série $\ln x_i$

Donc l'équation de la droite présentée sur le papier Gausso-logarithmique sera :

$$\ln x = \overline{\ln x} + \sigma_{\ln x} u \quad \dots\dots\dots \text{(III.6)}$$

Le résultat de l'estimation des paramètres de la loi de Galton sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III 6: Les paramètres de la loi de Galton.

$\overline{\ln x}$	3.477857
$\sigma_{\ln x}$	0.440316

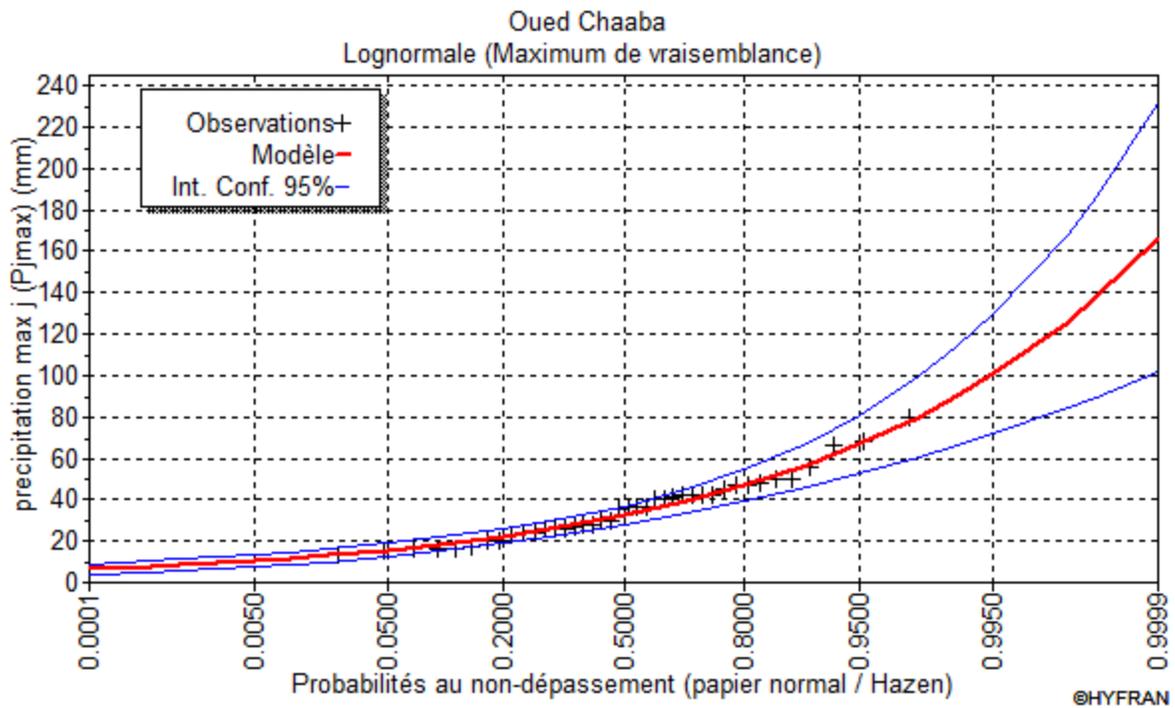


Figure III 5: Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Galton.

Les résultats de calcul des quantiles sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III 7: Quantiles théoriques de Galton.

Période de retour T (ans)	Fréquence non dépassement q	Valeurs théoriques P max j XT	Ecart-type σ	Intervalle de confiance (95%)
1000	0.999	126	21.4	84.4-168
100	0.99	90.2	12.2	66.3-114
50	0.98	80	9.91	60.6-99.5
10	0.9	57	5.38	46.4-67.5
5	0.8	46.9	3.81	39.4-54.4
2	0.5	32.4	2.26	28-36.8

III.2.2 Test de validité d'un ajustement

a) Test d'adéquation du Khi² (χ^2) :

Le test Khi² est un test non paramétrique servant à l'adéquation et par conséquence le choix du meilleur ajustement des lois statistiques. Le test prend les étapes suivant à un risque de 5% autrement dit à un seuil de signification de 95% ($\alpha=5\%$):

- On définit le nombre de classe : **$K = \text{int}(n/5)$ (III. 8)**
- Les bornes des classes équiprobables, telles que : **$\Delta F_j = 1/K$ (III. 9)**
- On calcule **n_0j** (constante) : **$n_0j = n * \Delta F_j = n/K$ (III. 10)**
- On comptabilise les effectifs réels **n_j** des **K** classes.
- On calcule la quantité : **$\chi^2_{Obs} = (K/n * \sum_{j=1}^K n_j^2) - n$ (III.11)**
- On détermine **ϑ** le nombre de degrés de liberté.
- On effectue le test avec **$\chi^2_{1-\alpha}$** .
- On procède au calcul **χ^2_{Obs}** .
- On calcule le nombre de degré de liberté : **$\vartheta = K - c - 1$ (III. 12)**

Avec : **K** : nombre de classes.

c : nombre de paramètre de modèle fréquentiel estimés à partir de l'échantillon.

Les résultats du test d'adéquation sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III 8: Paramètres de test χ^2 pour les lois d'ajustement.

Loi d'ajustement	Galton	Gumbel
Résultat de la statistique χ^2	4.4	3.6
p-value	0.4934	0.6083
Degrés de liberté	5	5
Nombre de classes	8	8

Interprétation : La vérification de la condition d'adéquation se fait de cette manière :

On a $P(\chi^2) = 49.34\%$, signifie que $P(\chi^2) > 5\%$ pour le Galton et les deux autres, donc l'ajustement des trois lois est à considérer.

b) Test visual:

Le test visuel est lié directement à l'ajustement graphique. Pour comparer les deux modèles,

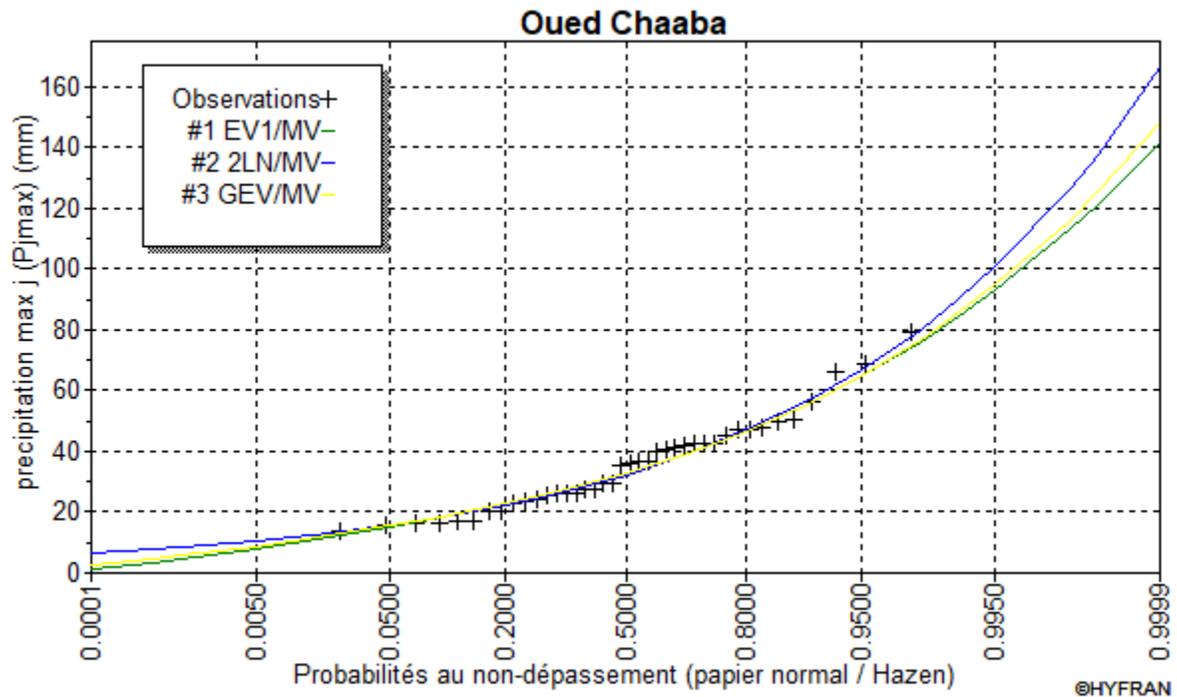


Figure III 6: Représentation graphique de l'ajustement des 2 lois.

nous devons tracer sur le même graphe les trois courbes d'ajustement.

Interprétation : Dans la figure (III.6), on remarque que l'ajustement issu de **la loi Log normal** est le meilleur, du moment que la position des données expérimentales sont plus proches de la courbe théorique et ça sa confirme la remarque précédente, donc on opte pour cette loi.

III.2.3 Pluies de courte durée :

Dans cette étape on va adopter une relation entre pluie, temps de retour et durée : celle-ci consiste à représenter, pour chaque temps de retour choisi, la pluie en fonction de la durée. C'est cette présentation que l'on nomme courbe PCD. Elle a l'avantage pratique de bien se prêter à l'interpolation pour différentes durées d.

Pour la mise en œuvre des courbes PCD, on transforme les pluies maximales journalières aux pluies de courtes durées exprimées en [mm], à l'aide de la formule de K. Body (ANRH1984) :

$$P_{ct, p\%} = P_{\max j, p\%} \left(\frac{t}{24} \right)^b \text{ [mm]} \dots\dots\dots \text{(III.13)}$$

Avec :

- $P_{ct, p\%}$: pluie de courte durée correspondante à une fréquence donnée.
- $P_{\max j, p\%}$: pluie maximale journalière correspondante à une fréquence donnée (mm).
- t : durée de l'averse ($t \leq 24h$).
- b : exposant climatique $b = 0,37$ (ANRH).

Les intensités maximales sont calculées par la relation suivante :

$$I_{ct, p\%} = \frac{P_{ct, p\%}}{t} \text{ [mm/h]} \dots\dots\dots \text{(III.14)}$$

Avec :

- $I_{ct, p\%}$: intensité maximale d'une durée t (h) correspondante à une période de retour T (ans).
- $P_{ct, p\%}$: pluie de courte durée correspondante à une fréquence donnée (mm).
- t : durée de l'averse (h).

Le tableau ci-dessous récapitule les résultats de calcul.

Tableau III 9: *Pluies et intensités maximales de durée t (h) et de période retour T.*

T (Ans)	100		50		20		10		5	
Quantiles(mm)	90.2		80		66.8		57		46.9	
Duree (h)	Pct(mm)	It(mm/h)	Pct(mm)	It(mm/h)	Pct(mm)	It(mm/h)	Pct(mm)	It(mm/h)	Pct(mm)	It(mm/h)
0.5	21.54	43.07	19.10	38.20	15.95	31.90	13.61	27.22	11.20	22.39
1	27.83	27.83	24.68	24.68	20.61	20.61	17.59	17.59	14.47	14.47
tc	29.77	24.81	26.41	22.01	22.05	18.37	18.81	15.68	15.48	12.90
2	35.97	17.98	31.90	15.95	26.64	13.32	22.73	11.36	18.70	9.35
3	41.79	13.93	37.06	12.35	30.95	10.32	26.41	8.80	21.73	7.24
4	46.48	11.62	41.23	10.31	34.42	8.61	29.37	7.34	24.17	6.04
5	50.48	10.10	44.77	8.95	37.39	7.48	31.90	6.38	26.25	5.25
6	54.01	9.00	47.90	7.98	40.00	6.67	34.13	5.69	28.08	4.68
7	57.18	8.17	50.71	7.24	42.34	6.05	36.13	5.16	29.73	4.25
8	60.07	7.51	53.28	6.66	44.49	5.56	37.96	4.75	31.23	3.90
9	62.75	6.97	55.65	6.18	46.47	5.16	39.65	4.41	32.63	3.63
10	65.24	6.52	57.86	5.79	48.32	4.83	41.23	4.12	33.92	3.39
11	67.58	6.14	59.94	5.45	50.05	4.55	42.71	3.88	35.14	3.19
12	69.80	5.82	61.90	5.16	51.69	4.31	44.11	3.68	36.29	3.02
13	71.89	5.53	63.76	4.90	53.24	4.10	45.43	3.49	37.38	2.88
14	73.89	5.28	65.54	4.68	54.72	3.91	46.69	3.34	38.42	2.74
15	75.80	5.05	67.23	4.48	56.14	3.74	47.90	3.19	39.41	2.63
16	77.63	4.85	68.86	4.30	57.49	3.59	49.06	3.07	40.37	2.52
17	79.40	4.67	70.42	4.14	58.80	3.46	50.17	2.95	41.28	2.43
18	81.09	4.51	71.92	4.00	60.05	3.34	51.24	2.85	42.16	2.34
19	82.73	4.35	73.38	3.86	61.27	3.22	52.28	2.75	43.02	2.26
20	84.32	4.22	74.78	3.74	62.44	3.12	53.28	2.66	43.84	2.19
21	85.85	4.09	76.14	3.63	63.58	3.03	54.25	2.58	44.64	2.13
22	87.34	3.97	77.47	3.52	64.68	2.94	55.19	2.51	45.41	2.06
23	88.79	3.86	78.75	3.42	65.76	2.86	56.11	2.44	46.17	2.01
24	90.20	3.76	80.00	3.33	66.80	2.78	57.00	2.38	46.90	1.95

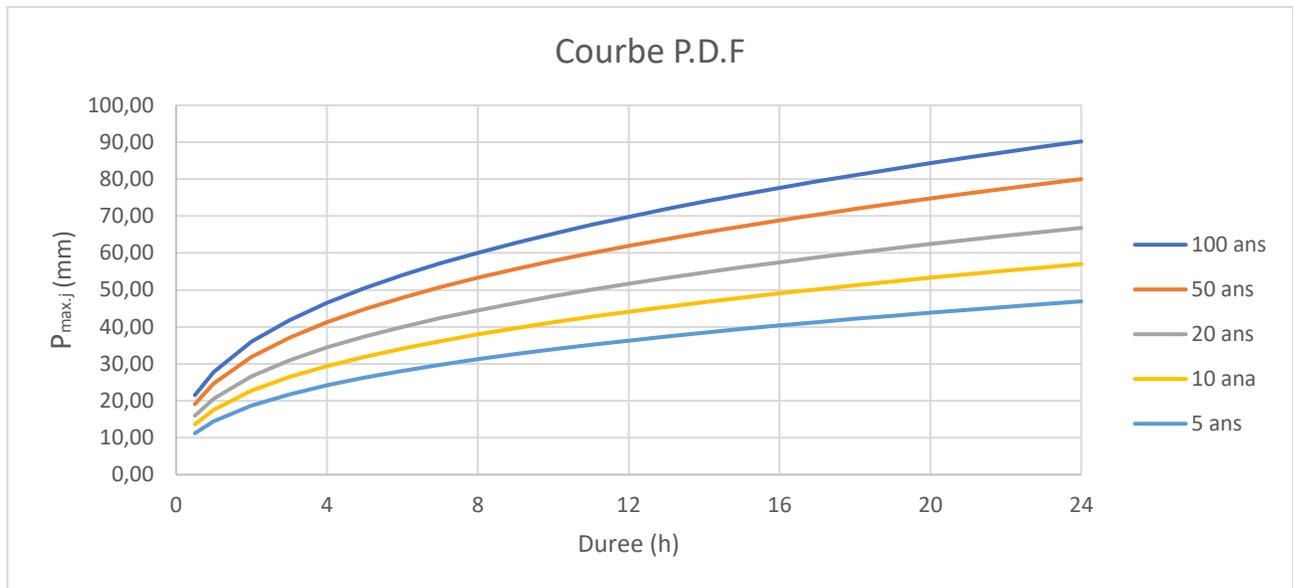


Figure III 7: Courbes pluies-durées-fréquences (PDF).

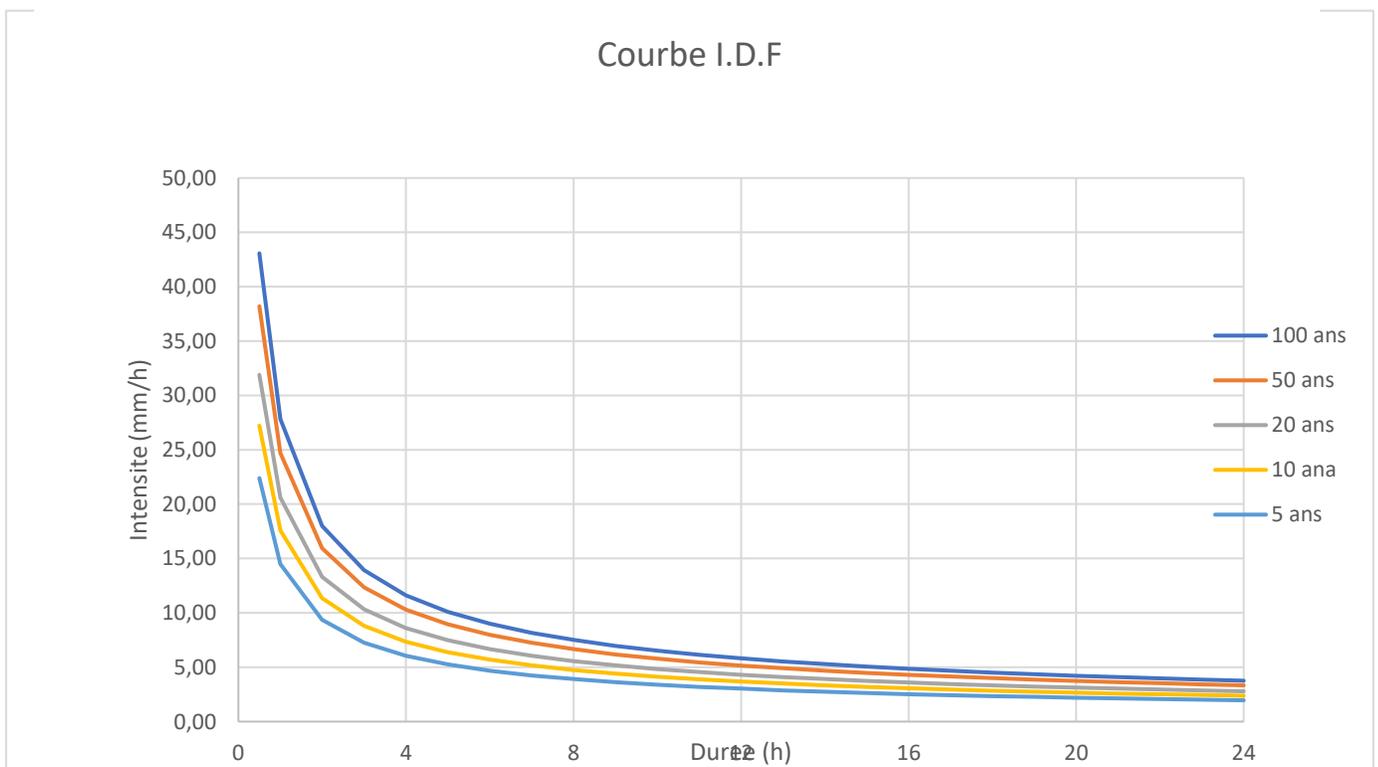


Figure III 8: Courbes intensités-durées-fréquences (IDF).

III.3 Etude des crues

Les techniques utilisées pour l'estimation des débits de crues de différents temps de retour dépendent pour une grande part des données disponibles (morphologiques, pluviométriques, occupation du sol, etc.). Dans notre travail, en recours aux formules empiriques; des modèles de calculs celles-ci sont à appliquer avec précaution.

Les méthodes utilisées sont les suivantes :

- ✓ Le modèle de MEDDI et TOUMI;
- ✓ La méthode empirique de Sokolovsky ;
- ✓ La méthode SCS-CN (Soil Conservation Service-Curve Number).

III.3.1 Le modèle de MEDDI et TOUMI

Dans notre étude en Algérie. Le Professeur M.MEDDI et le Dr. S.TOUMI ont remédié au problème de l'absence de mesures de Q_{\max} dans les bassins non jaugés et l'insuffisance des longueurs des séries de débits mesurés pour des bassins équipés de stations hydrométriques par la mise au point d'un modèle pour l'estimation des débits extrêmes de crues pour différentes périodes de retour. Ce modèle est donné par la formule suivante :

$$Q_{\max} (F) = Q_{\max} * q (F) [m^3/s] \dots\dots\dots(III.15)$$

Avec:

- **Q_{max}** : débit max calculé par le modèle correspondant à la région concernée en fonction de la surface du bassin versant (S) en km² et la pente du cours d'eau principal (Ic) sans unité.
- **q (F)** : fonction quantile correspondante.

Les équations de l'estimation du débit et les valeurs de la fonction quantile sont données dans le tableau ci-après :

Tableau III 10: Equations du modèle pour l'estimation du Q_{max} (MEDDI et TOUMI, 2017).

Région	Equations
Tous les régions	$Q_{max} = 4.99 * S^{0.64} * I^{0.16}$
Région I	$Q_{max} = 3.52 * S^{0.96} * I^{0.54}$
Région II	$Q_{max} = 2.73 * S^{0.35} * I^{0.44}$
Région III	$Q_{max} = 1.26 * S^{0.16} * I^{-1.04}$

Tableau III 11: Fonction quantile $q(F)$.

Période de retour	2	5	10	20	50	100
Région I	0.74	1.54	2.14	2.74	3.53	4.13
Région II	0.59	1.47	2.27	3.22	4.74	6.14
Région III	0.71	1.62	2.29	2.94	3.77	4.37

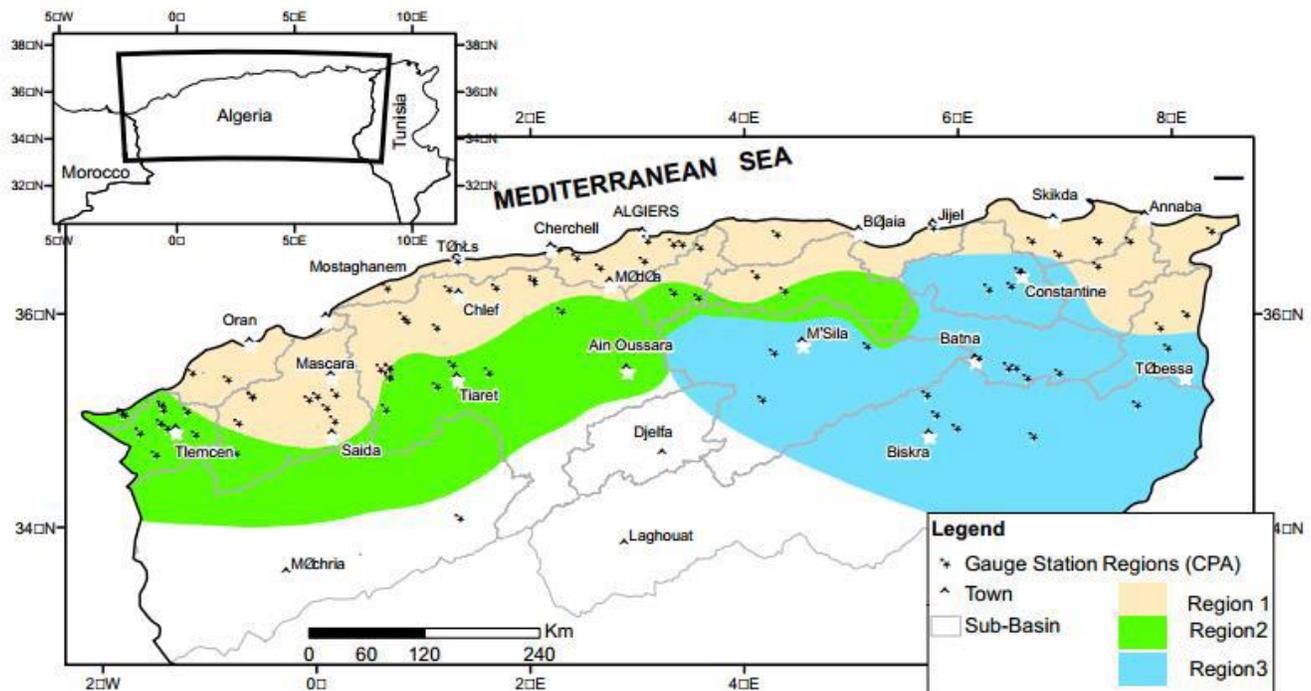


Figure III 9: Carte de la situation géographique des bassins versants.

Dans notre etude la zone de Batna (oued Chaaba) est situé dans **la région II**. Donc les résultats de calcul sont récapitulés dans Le tableau ci-dessous.

Tableau III 12: Débit maximale de crue $Q_{max}(F)$ (modèle MEDDI et TOUMI).

Période de retour (ans)	2	5	10	20	50	100
$Q_{max}(F)$ (m ³ /s)	16.46	41.013	63.33	89.838	132.25	171.31

III.3.2 La methode de sokolovsky

La méthode est donnée par la formule suivante :

$$Q_{maxp\%} = \frac{0.28 \times (P_{tc} - H_0) \times \alpha_{p\%} \times F \times S}{T_m} \dots\dots\dots(III.16)$$

Avec:

- P_{tc} : précipitation en mm de probabilité p% correspondant à un temps t_c .
- H_0 : pertes initiales en mm. au Nord de l`Algeire $H_0 = 7$ mm
- $\alpha_{p\%}$: coefficient de ruissellement de la crue probable pour une période donnée ;

$$\alpha_{p\%} = \frac{\sqrt{P_{tc\%}} - \sqrt{H_0}}{\sqrt{P_{tc\%}} + \sqrt{H_0}} \dots\dots\dots(III.17)$$

F : Coefficient de forme de la crue ; $F = 12/(4+3\gamma) \dots\dots\dots(III.18)$

S : Superficie du bassin (Km²).

$\gamma = ?$; pour:

{	• Des bassins versants non boisés, sol peu perméable, on a : $\gamma = 2 : 2,5$.
	• Des bassins versant boise, sol peu perméable, on a : $\gamma = 3 : 4$.

Dans notre cas $\gamma = 2.5$. $T_m = T_c$

Les résultats de calcul sont récapitulés dans Le tableau ci-dessous.

Tableau III 13: Débit maximale de crue pour différentes périodes de retour (sokolovsky).

periode de retour T(Ans)	100	50	20	10	5
Ptc, p% (mm)	29.77	26.41	22.05	18.81	15.48
$\alpha_p\%$	0.347	0.32	0.279	0.242	0.196
Qmax (m3/s)	76.7	60.29	40.76	27.74	16.13

III.3.2 Méthode de GRADEX (CIGB, 1994).

La méthode du gradex est une approche hydropluviométrique probabiliste du calcul des débits de crues extrêmes d'une rivière pour des périodes de retour allant de 100 à 10000 ans, elle est développée par Guillot et Duband (1967).

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

Le principe de la méthode est que le comportement de la loi de probabilité des débits maximums devient asymptotique au comportement des pluies maximales journalières à partir de la crue de période de retour décennale

❖ Hypothèses de la méthode

Cette méthode s'appuie sur les hypothèses suivantes :

- Les débits maximums recherchés sont provoqués uniquement par des pluies maximales, uniformément réparties sur le bassin. Il n'y a donc pas diverses origines de formation des crues.
- Les pluies maximales et les débits correspondants suivent une même loi de distribution statistique, dite des extrêmes en raison de la nature du phénomène étudié (crues rares).
- On admet que la rétention moyenne du bassin versant atteint sa valeur maximale pour une crue décennale $Q_{10 \text{ ans}}$.

❖ Remarque :

Ces trois hypothèses sont vérifiées.

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

❖ **Application**

- ✓ Après la Ajustement de la série pluviométrique (Pjmax) à la loi de Gumbel, l'équation de la droite de Gumbel est sous la forme : **$P(\text{mm}) = a \cdot \mu + b$ (III.19)**

Donc a partir la droite de Gumbel on obtient → $P = 12.033 \cdot \mu + 28.56$

Le Gradex est donc : **$a=12.033 \text{ mm}$** .

- ✓ Choix du pas de temps :

Après l'examen des enregistrements des crue de la station, on a estimé le temps de base par : **$n=24\text{h}$** .

- ✓ L'ajustement de la série des débits de la station de Fesdis à la loi de Gumbel nous a donné :

$$Q_{10 \text{ ans}} (\text{Fesdis}) = 328 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{avec: } S_{(\text{Fesdis})} = 305 \text{ Km}^2$$

$$Q_{10 \text{ ans}} (\text{Chaaba}) = Q_{10 \text{ ans}} (\text{Fesdis}) \cdot S_{\text{Chaaba}} / S_{\text{Fesdis}} \dots\dots\dots(\text{III.20})$$

$$= 81 \cdot (34.67 / 305)$$

$$= 37.28 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$R_{10 \text{ ans}} (\text{mm}) = Q_{10 \text{ ans}} (\text{m}^3/\text{s}) \cdot 3,6 \cdot 24(\text{heures}) / S (\text{km}^2) \dots\dots\dots(\text{III.21})$$

$$= 37.28 \cdot 3,6 \cdot 24 / 34.67$$

$$= 92.9 \text{ mm}$$

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

$$Q_{\mu\%} = a \cdot \mu + b' \dots\dots\dots (\text{III.22})$$

a : le gradex = 12.033 mm.

$$\mu : \text{variable réduite de Gumbel } \mu = -\ln(-\ln(F)) \dots\dots\dots(\text{III.23}).$$

$$b' = Q_{10 \text{ ans}} - a \cdot \mu(T=10 \text{ ans}) \quad \text{avec } F=1-1/10=0,9 \rightarrow \mu = 2,25$$

$$= 92.9 - 12.033 \cdot 2.25 = 65.82 \text{ mm}$$

Donc : l'équation du débit est : $Q_{\text{extrapolé}} (\text{mm}) = 12.03 \cdot \mu + 65.82$

- ✓ On trace cette équation sur même graphe que celui de l'ajustement des Pjmax, Pour

Chaque période de retour, on tire le débit en (mm) et on les exprime en (m³/s).

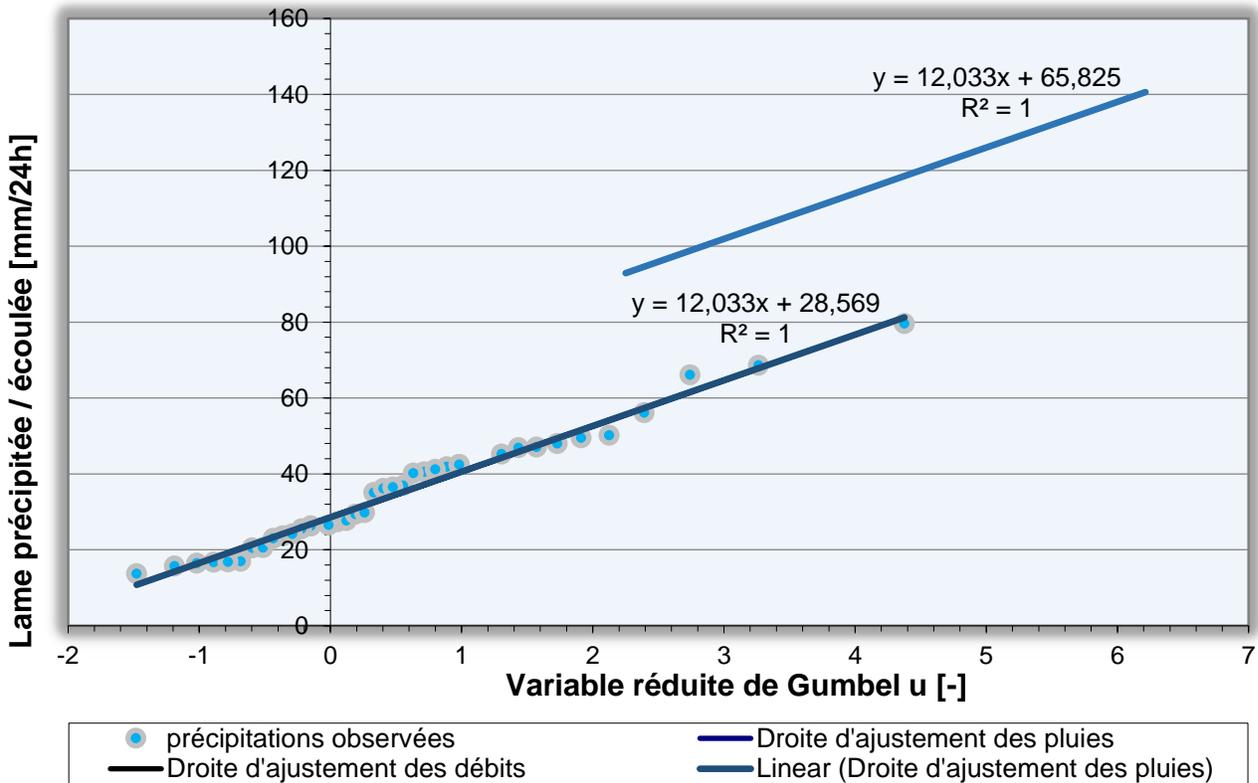


Figure III 10: Graphe de la méthode de gradex.

- Calcul des débits de pointe :

L'analyse des enregistrements des débits de la station hydrométrique de Oueled-ali nous a permis d'estimer le coeff. de pointe suivant :

$$P = Q_{\max} / Q_{\text{moy}} = 1.6 \dots\dots\dots \text{(III.24)}$$

Donc on multiplie tous les débits extrapolés par le coefficient. P pour obtenir les débits maximums pour chaque période de retour.

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau III 14: Débits de pointe par la méthode GRADEX

T[ans]	F(x)[-]	U[-]	P [mm/24h]	R[m3/s]	QT[m3/s]	QP [m3/s]
10	0.9	2.25	55.65	92.9	37.28	59.65
20	0.95	2.97	64.31	101.57	40.75	65.21
50	0.98	3.90	75.52	112.79	45.25	72.41
100	0.99	4.60	83.92	121.18	48.63	77.8
500	0.998	6.21	103.34	140.56	56.42	90.28

III.3.4 Methode SCS (Soil Conservation Service of U.S.A)

Le modèle SCS-CN est une technique internationale, basées sur l'étude du passage des précipitations aux débits.

Le concept essentiel du modèle est de déterminer les propriétés hydrodynamiques de la couverture du sol à l'aide de courbes numérotées (CN) (Curve Number). Le CN est aussi décrit comme étant un coefficient d'aptitude au ruissellement (Gaume, 2002).

Hypothese de la methode

Cette fonction de production est basée sur quelques hypothèses simplificatrices facilement acceptables :

- Soit J la capacité d'infiltration ; on admet qu'elle tend vers 0 lorsque le temps augmente ainsi il existe une lame d'eau maximale infiltrable :

$$S = \int_0^{\infty} J(t) dt \dots\dots\dots (III.25)$$

On admet que le ruissellement ne peut apparaître qu'après qu'il soit tombé une certaine quantité S_0 de pluie interceptée par les végétaux ou servant à remplir les dépressions de la surface du sol. On appellera par la suite "pluie utile", de quantité :

$$P_u(t) = P(t) - S_0 \dots\dots\dots (II.26)$$

P(t) : la quantité totale de pluie tombée entre les intervalles de temps [0,t].

- Enfin, l'hypothèse principale est que le rapport du ruissellement R(t) à la pluie utile P_u(t) est égal au rapport de ce qui s'est déjà infiltré ∫₀^t J(t)dt à ce qui peut s'infiltrer au maximum S.

$$\frac{R(t)}{P(t) - S_0} = \frac{\int_0^t J(t) dt}{S} \dots\dots\dots (III.27)$$

Application

Ces trois hypothèses en dessus ont donné naissance à fonction de production du SCS :

$$Lr = \frac{(P - 0,2.S)^2}{(P + 0,8.S)} \dots\dots\dots (III.28)$$

Avec LR : Lamé d'eau ruisselée en mm

P : Pluie totale en mm

S : la capacité de rétention maximale potentielle lorsque commencent les précipitations (mm)

$$S = \frac{25400}{CN - 254} \dots\dots\dots (III.29)$$

Avec CN : Curve Number moyen

$$CN = \frac{\sum_k CN_k \times S_k}{S_{Tot}} \dots\dots\dots (III.30)$$

Avec : CN_k : Curve Number spécifique

S_k : la surface partielle (Km²)

Determination du curve number (CN)

Le Curve Number noté CN est un nombre compris entre 0 et 100 représente un coefficient pour la détermination de ruissellement. Il varie selon l'occupation, le type des sols, et leur taux d'humidité résiduel.

1. L'occupation de sol

A cause de la non disponibilité des cartes d'occupation du sol des plusieurs régions sur l'échelle nationale, On a pensé de produire une carte d'occupation de sol pour le bassin versant de Oued Chaaba par le traitement d'une image satellitaire avec un logiciel ARC-GIS. Cette image captée le 06/05/2019 par le Satellite Sentinel-2 avec une résolution de 10m.

2. Type de sol

La structure du sol peut favoriser les inondations dans les cas où elle présente une forte imperméabilité des eaux, facilitant l'écoulement d'une lame d'eau importante en surface, et pour choisir le type de sol faut interpréter les profils de la région de bassin versant d'oued Chaaba selon les composants de sol (voir l'annexe I). La majorité de la texture des terrains sont des textures argilo-limoneuses (avec bonne proportion de limon) dans le premier horizon et une texture argileuse dans H2.

Tableau III 15: *la classification de sol selon les textures*

type de sol	Description
A	Potentiel de ruissellement le plus faible, transmission d'eau sans obstacle, moins de 10 % d'argile, plus de 90 % de sable (profondeur)
B	Potentiel de ruissellement moyennement faible, transmission d'eau sans obstacle, généralement 10 à 20 % d'argile, de 50 à 90 % de sable. Loams/loams limoneux et sols sablonneux peu profonds bien agrégés.
C	Potentiel de ruissellement moyennement élevé lorsque la transmission d'humidité/d'eau est en partie limitée, généralement 20 à 40 % d'argile, moins de 50 % de sable.
D	Potentiel de ruissellement élevé, transmission d'eau limitée/très limitée, principalement plus de 40 % d'argile, textures argileuses. Comprend tous les sols dont la couche imperméable se trouve à moins de 50 cm de la surface, et tous les sols dont la nappe phréatique se trouve à moins de 60 cm de la surface.

(chapitre 7, partie 630-Hydrology, USDA-NRCS National Engineering Handbook).

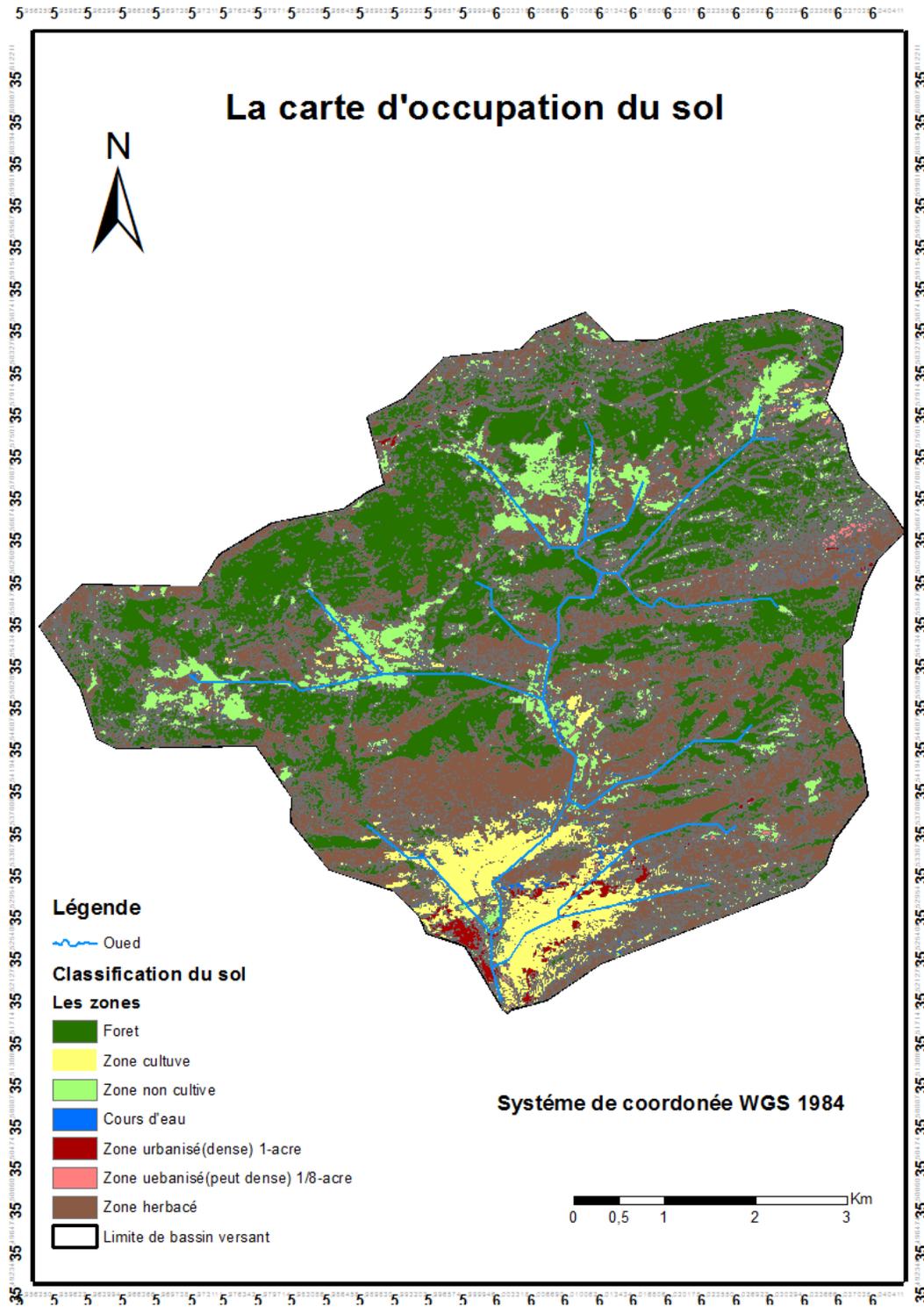


Figure III 11: Carte d'occupation du sol de bassin versant d'Oued Chaaba.

III.3.4.1. Détermination du Curve-Number qui caractérise le bassin versant :

Après avoir choisi ces conditions initiales et déterminé les différentes occupations de notre bassin, on réfère aux tables publiées par le SCS (Voir l’annexe I), afin de fixer la valeur de CN pour chaque catégorie.

Le tableau ci-dessous récapitule les sept catégories d’occupation du sol de notre bassin d’étude et la valeur de CN correspond à chaque catégorie.

Tableau III 16: *Catégories d’occupation du sol et valeurs de CN.*

Catégorie	Surface	Valeur de CN _k	
Forêt	13.69	73	999.56
Zone cultivée	2.1	80	168
Zone non cultivée	4.64	74	343.15
Cours d’eau	1.07	91	97.74
Habitat dense(1/8 acre 65%)	0.52	83	43.21
Habitat moyennement dense(1acre 20%)	0.61	79	48.93
Zone herbace	12.03	81	974.37
		CN	77.15

(Source: Urban Hydrology for Small Watersheds_tr55).

III.3.4.2 Calcul de débits de pointe avec la méthode du hydrogramme triangulaire :

$$q = \frac{0.00208 \times A Q}{T_b} \dots\dots\dots(III.31)$$

Où :

q = le débit de pointe du ruissellement (en m³/s).

A = aire du bassin hydrographique (ha).

Q = le volume de ruissellement (en mm par rapport au bassin hydrographique).

T_b = le temps de base (h).

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau III 17: Les résultats de la lame d'eau et le débits de pointe par la méthode SCS.

T(ans)	Surface SBV	CN pondéré	S	I=0,2S	Tc (h)	Quantile*Tc	Lame avec $Q=48,089 * Tc$	T base	Q (l/s)	Qp (m3/s)
1000	3467	77,15	75,2287	15,0457	1,2	151,2	87,7	4,8	131755,3	131,75
100	3467	77,15	75,2287	15,0457	1,2	108,24	51,57	4,8	77473,41	77,47
50	3467	77,15	75,2287	15,0457	1,2	96	41,96	4,8	63040,75	63,04
10	3467	77,15	75,2287	15,0457	1,2	68,4	22,14	4,8	33260,61	33,26
5	3467	77,15	75,2287	15,0457	1,2	56,28	14,6	4,8	21933,3	21,93

Pour une période de retour de 100 ans qu'on travaille avec, le débit de pointe est égal à 77,47 m³/s.

Le tableau suivant nous donne tous les résultats de calcul de toutes les méthodes de calcul :

Tableau III 18: Débits fréquents calculés par les différentes méthodes.

Période de retour T (ans)	Q _{max} (m ³)			
	MEDDI et TOUMI	Sokolovsky	Gradex	SCS
10	63.33	27.74	59.65	33.26
20	89.838	40.76	62.21	58.33
50	132.25	60.23	72.41	63.04
100	171.31	76.70	77.80	77.47

Interprétation

Si l'on examine les valeurs de débits des trois méthodes une à une pour chaque sous bassin, et pour les deux périodes de retour (T=50,100 ans), on remarquera que les trois approches ne présentent pas une grande différence.

Du moment que l'objectif de cette étude est la protection contre les inondations. Autrement dit, une protection des biens publics et privés et les équipements et pour des raisons de sécurité des ouvrages à projeter, nous optons pour la méthode qui s'établit sur des données hydrologiques réelles et du type du sol ainsi que l'interception par le couvert végétal ce sont la méthode de Gradex et SCS. Donc, on va prendre entre ces deux méthodes la plus grande valeur est Gradex avec un débit de 77.8 m²/s

III.3.5 Hydrogramme de crue

La méthode de Sokolovsky consiste à considérer que l'hydrogramme est assimilé à deux équations paraboliques, l'une pour la montée, l'autre pour la décrue :

▪ Pour la montée :
$$Q_m = Q_{max} \left(\frac{t}{t_m} \right)^n \quad [m^3/s] \quad \dots\dots\dots(III.32)$$

▪ Pour la décrue :
$$Q_d = Q_{max} \left(\frac{t_d - t}{t_d} \right)^m \quad [m^3/s] \quad \dots\dots\dots(III.33)$$

Avec :

tm : le temps de concentration ou bien le temps de la montée (tm = tc).

td : le temps de décrue $t_d = \gamma * t_m$, où γ c'est un coefficient estimé à partir de certaines caractéristiques physiques du cours d'eau et de son bassin versant. On prend une valeur égale à 3, donc la durée de crue sera : $t_b = t_m + t_d = 4.8t_m$.

m, n : puissances des équations $m = 3$ pour la montée, $n = 2$ pour la décrue.

Les résultats du calcul des débits de la crue pour les différentes périodes de retour sont représentés dans le tableau suivant ainsi que l'hydrogramme correspondant.

Tableau III 19: Débits de crue pour différentes périodes de retour.

		Q (m³/s)				
		T (h)	10ans	20 ans	50 ans	100 ans
Temp de monte	-	-	-	-	-	-
	0,20	1,66	1,81	2,01	2,16	2,51
	0,40	6,63	7,25	8,05	8,64	10,03
	0,60	14,91	16,30	18,10	19,45	22,57
	0,80	26,51	28,98	32,18	34,58	40,12
	1,00	41,42	45,28	50,28	54,03	62,69
Temp de decrue	1,20	59,65	65,21	72,41	77,80	90,28
	1,40	22,28	24,35	27,04	29,05	33,72
	1,60	18,41	20,13	22,35	24,01	27,86
	1,80	14,91	16,30	18,10	19,45	22,57
	2,00	11,78	12,88	14,30	15,37	17,83
	2,20	9,02	9,86	10,95	11,77	13,65
	2,40	6,63	7,25	8,05	8,64	10,03
	2,60	4,60	5,03	5,59	6,00	6,97
	2,80	2,95	3,22	3,58	3,84	4,46
	3,00	0,96	1,66	1,81	2,01	2,16
	3,20	0,43	0,74	0,81	0,89	0,96
3,40	0,11	0,18	0,20	0,22	0,24	
3,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

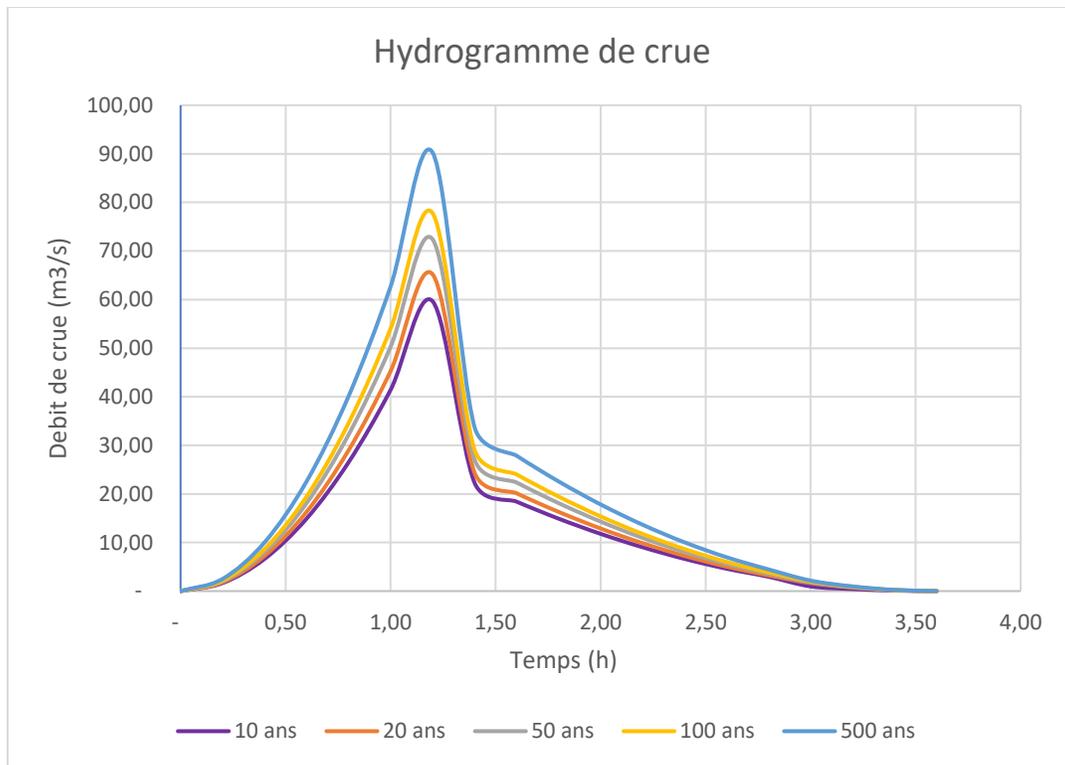


Figure III 12: Hydrogramme de crue du bassin de oued chaaba.

III.4 Etude des apports

L'intérêt de la détermination du débit maximal d'un cours d'eau est évident en raison des effets destructeurs bien connus de ces événements hydrologiques, L'étude des apports liquides favorise le bon dimensionnement du drainage. Puisque les données hydrométriques sont insuffisantes (13ans) au niveau de bassin versant d oued MADHER la station de FEDDIS ,les apports seront estimés à l'aide de deux méthodes:

- Formules empiriques.
- Selon les données d'observations d` oued MADHER.

III.4.1 Apport liquid

❖ Selon les formules empiriques:

1- Formule de SAMIE:

$$L_e = \bar{P}^2 (293 - 2.2\sqrt{S}) \dots\dots\dots (III.34)$$

Ou $A_0 = L_e * S$

- Avec :
- P_{moy} : Pluie moyenne en [m] ;
 - S : Surface du bassin versant en [km²] ;
 - Le : Lamme d'eau écoulée en [mm].

AN : **Le=37.72 mm**

A₀= 1.308 hm³

2- Formule de Derie II:

$$A_0 \text{ (Hm}^3\text{)} = 0,513 * (Pa/1000) 2,683 * Dd * S 0,842 \dots\dots\dots(II.35)$$

- Tel que :
- S: superficie du bassin versant en Km² ;
 - Pa : précipitation moyenne annuelle en mm ;
 - Dd : densité de drainage Km/Km², (Dd = 1.98 Km/Km²)

Donc:

A₀=1.36 Hm³

3- Formule de COUTAGNE:

$$L_e = P_0 * (0.16 - 0.00145 * S^{0.5}) \dots\dots\dots (III. 36)$$

Avec:

- P_0 : Pluie moyenne en [mm] ;
- S : Surface du bassin versant en [km²] ;
- Le : Lamme d'eau écoulée en [mm];

Donc : $L_e = 55.58\text{mm}$
 $A_0 = L_e \cdot S = 1.927 \text{ Hm}^3$

❖ **Apport liquide selon les données disponibles :**

1- série sur une période des 13 années (1972-1984) observées à la station de FEDDIS (oued MADHER) :
 a un apport moyen annuel de $A_0 = 14.32 \text{ Mm}^3$ et une superficie de 305 Km^2

2- Pour la détermination des apports du bassin versant on utilise analogie avec le bassin versant voisinant de l'Oued MADHER par la formule suivante :

$$A_{\text{interannuel}}^{\text{bassinversant}} = \frac{S_{\text{BV}}^{\text{bassinversant}}}{S_{\text{BV}}^{\text{station}}} \cdot A_{\text{interannuel}}^{\text{station}} \dots\dots\dots \text{(III.37)}$$

Donc

$$A_0^{\text{bassin versant}} = 1.63 \text{ Hm}^3$$

Les tableaux de la série hydrométrique et les résultats d'estimation sont représentés dans l'annexe I.

Figure III 13: Synthèse des résultats de calcul d'apport moyen annuel (Hm3).

méthode	Apport moyen annuel (Hm3)
Formule de SAMIE	1.308
Formule de DERIE II	1.36
Fotmule COUTAGNE	1.927
Apport moyen annuel naturel (1972-1984)	1.63

Interpretation:

On remarque que les résultats variés un peu d'une méthode à une autre et on va prendre les résultats de la formule d'Apport **moyen annuel naturel (1972-1984)**, car elle est la plus stable et la plus proche de la moyenne.

III.4.2 Apport solide

Les cours d'eau transportent les matières solides (bloc, cailloux, graviers, sables, limons) en quantités variables et quelquefois considérables. La connaissance de ces transports solides est fondamentale dans les études des aménagements hydrauliques.

a) Formule de TIXERONT:

Elle tient compte de la répartition du bassin Versant en fonction de sa perméabilité :

$$T_s = \alpha \cdot L_0^{0.15} \dots\dots\dots (III.38)$$

- Avec : **T_s** : le transport solide en (t/Km²/an).
- L₀** : la lame écoulée en (mm).
- α**: Paramètre caractérisant la perméabilité du bassin versant
- α = 75** (perméabilité moyenne).

$$AN : T_s = 133.62 \text{ (t/Km}^2\text{/an)}.$$

b) Formule de Fournier

$$T_a = \frac{1}{36} \left[\frac{P_m^2}{P_a} \right]^{2.65} \left[\frac{h}{S} \right]^{0.46} \dots\dots\dots(III.39)$$

- Avec : **T_a** : Taux d'abrasion en (t/Km²/an) ;
- P_m** : Pluie du mois le plus pluvieux (mm) ;
- P_a** : Pluie moyenne interannuelle (mm) ;
- H** : 45% de la différence entre l'altitude maximum et minimum du bassin versant (m) ;
- S** : Surface du bassin versant (Km²).

$$AN : T_s = 84.94 \text{ (t/Km}^2\text{/an)}.$$

Interprétation :

Car les résultats ne sont pas proche en va choisir la moyenne donc **T_s = 109.28 (t/Km²/an)**.

Le débit solide est donné par la formule :

$$Q_s = T_a * S \dots\dots\dots (III. 40)$$

Ta : taux d'abrasion (T/Km² /an) ;
 S : surface de bassin versant (Km²).

$$AN : Q_s = 3788.74 \text{ (t/an)}$$

III.4.3 Caractéristiques de l'écoulement

❖ **Module de l'écoulement**

Il est donné par :

$$M_e = \frac{A_0}{T} \dots\dots\dots \text{(III.41)}$$

A₀ : Apport moyen annuel (l).

T : Temps d'une année en secondes.

$$M_e = 51.68 \text{ l/s}$$

❖ **Module de l'écoulement relatif**

On a:

$$M_0 = \frac{M_e}{S} \dots\dots\dots \text{(III.42)}$$

Me: Module de l'écoulement (l/s);

S : Superficie du bassin (Km²).

$$M_0 = 1.49 \text{ l/s/Km}^2$$

❖ **Lame d'eau écoulée**

S : Superficie du bassin (Km²).

A₀ : Apport moyen annuel (l).

$$L_e = \frac{A_0}{S} \dots\dots\dots \text{(III.43)}$$

$$L_e = 47.01 \text{ mm}$$

❖ **Coefficient de l'écoulement :**

Il est donné par :

$$C_e = \frac{L_e}{P_{moy}} \dots\dots\dots \text{(III.44)}$$

$$C_e = 0.128$$

P₀ : Pluie moyenne annuels (mm).

Conclusion

Dans ce chapitre on a déterminé le modèle fréquentiel le plus adéquat pour notre série pluviométrique présenté par la loi Galton. Ensuite, L'estimation des débits de crues et l'hydrogramme de crues a été faite par plusieurs approches. Ces approches et ces méthodes donnent des résultats différents et parfois des résultats proches l'un de l'autre.

Pour notre cas, pour qu'on puisse avoir un résultat représentatif on cherche toujours la méthode qui demande moins d'estimation et se base sur des données réelles du terrain. C'est pour cela on a choisi la méthode de GRADEX.

En terminant notre travail par un calcul numérique sur caractéristiques de l'écoulement et le transport solide Parce que cette étape est primordiale dans les études des aménagements hydrauliques.



Chapitre IV :

«Calcul et simulation hydraulique»

Calcul et simulation hydraulique

Introduction

Le calcul hydraulique s'inspire de la règle des valeurs extrêmes (débit et vitesse d'écoulement), donc les canaux doivent satisfaire les conditions de l'évacuation rapide et continue de toutes les quantités des eaux. Ensuite on décrit l'état général d'Oued Chaaba afin de modéliser un écoulement réel à surface libre du cours d'eau.

Notre objectif est d'avoir le comportement des lames d'eaux correspondantes aux différents débits issus de l'étude hydrologique pour être utilisées dans la détermination des zones inondables et par la suite, pour mettre en place un programme d'aménagement du cours d'eau répondant aux exigences bien définies.

IV.1 Description de l'état actuel d' Oued Chaaba

Lors des crues exceptionnelles au Batna et surtout la zone d'oued Chaaba ces dernières années précisément en 2011, la lame d'eau écoulée a travers l'oued a dépassé les limites des berges de l'oued dans quelques endroits et a provoqué l'érosion et le glissement des talus. Dans cette partie de l'étude il exist un ouvrage et des construction mise en risque d'inondation.



Figure IV 1: *L'état d'oued Chaaba après des crues saisonnier*

- Le risque sur le pont qui traverse par la route (RN77) vers la ville Chaaba.
- L'envasement du lit d'oued par les dépôts solides en provenance des eaux de crues.
- Destruction des analgesiques chaotiques au berge d'oued. Ce dernier a été construit des peaux non autorise causant des degat physique au voisinage de l'oued.

Figure IV 2: *Risque d'inondation de la route national n° 77*

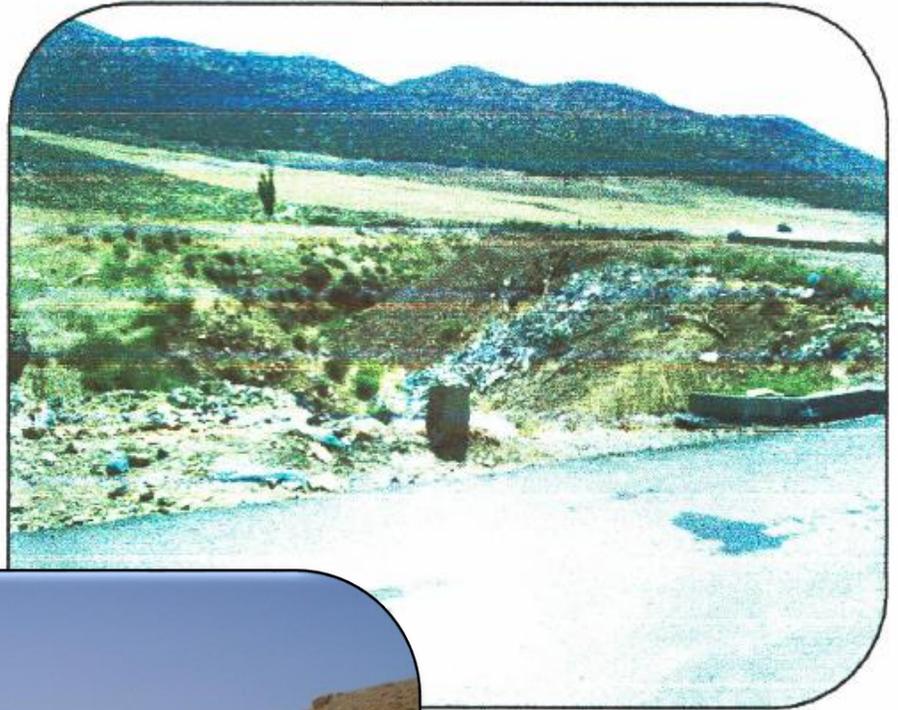


Figure IV 3: *L'état d'oued caractérise l'envasement du lit d'oued par les dépôts solides*

Après l'observation de terrain et l'état d'Oued nous constatons que les problèmes du phénomène des inondations de la zone d'étude sont résumés ci-dessous :

- ❖ La transgression du domaine public hydraulique, au niveau de plusieurs tronçons du cours d'eau et la construction anarchique sur les deux rives.
- ❖ L'absence des opérations de curage et de nettoyage du cours d'eau.
- ❖ Les décharges publiques au niveau du lit d'oued faisant obstacle à l'écoulement.

IV.2 Modélisation de l'écoulement

Pour le calcul d'écoulement et la modélisation de cours d'eau, on doit passer par des équations (la surface libre de la ligne d'eau, la pente critique...etc.). On peut distinguer pour cela 3 méthodes de calcul :

- La méthode par approximation successive.
- La méthode par intégration directe.
- La méthode par intégration graphique.

Dans notre cas, on utilise le logiciel HEC-RAS, outil de calcul développé US *Army Corps Of Engineers*, qui calcule et simule l'écoulement. Ce logiciel nécessite une banque de données bien fournie concernant le tronçon de l'oued considéré.

IV.2.1 Présentation du logiciel HEC-RAS

HEC-RAS est un logiciel intégré pour l'analyse hydraulique qui permet de simuler les écoulements à surface libre et d'évaluer les débits et hauteurs d'eau sur l'ensemble des sections d'une rivière. Il a été conçu par l'Hydrologic Engineering Center de l'*U.S Army Corps of Engineers*.

Pour la modélisation, HEC-RAS permet d'utiliser 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 nouvelle version 4.1 du code permet de simuler les écoulements permanents et non permanents, le transport de sédiments et certaines fonctions facilitant la conception d'ouvrages hydrauliques.

Ce logiciel utilise des équations d'hydraulique à surface libre (Saint-Venant 1D, Manning-Strickler...) pour le calcul des différents paramètres hydrauliques qui nous permettent d'analyser de la capacité de cours d'eau (risques de débordement, inondations).

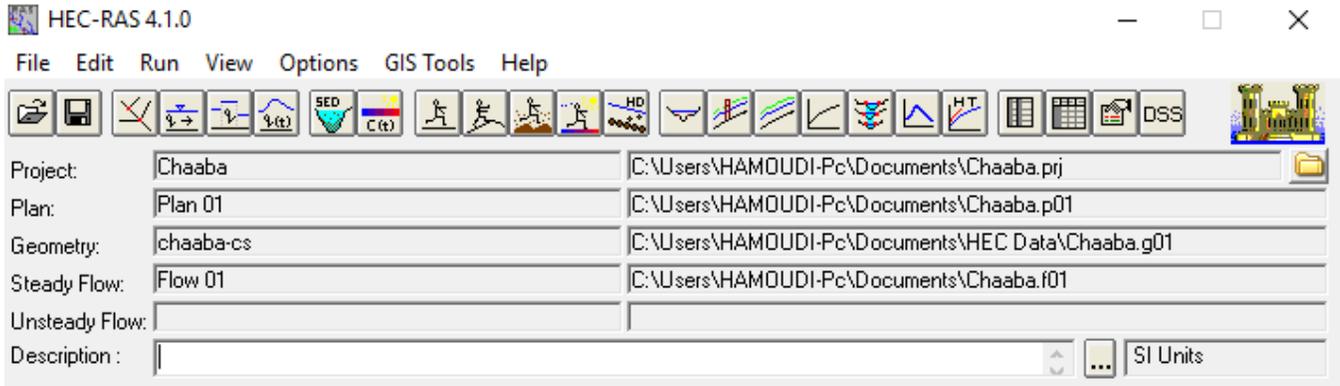


Figure IV 4: l'interface de logiciel HEC-RAS

Le traitement des données pour relier les hauteurs d'eau et les débits, faite à l'aide de deux cas Ces équations (cas) se déduisent après les équations de Navier-Stokes grâce à des simplifications liées au modèle de la rivière.

1. Le cas stationnaire:

Le modèle géométrique sera maillé est représenté en une succession des sections transversale. Le logiciel calcul la hauteur d'une section à partir de la hauteur d'eau de la section précédente à l'aide de l'équation de conservation de l'énergie (conservation de la charge) suivante :

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_1^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \dots\dots\dots(IV.1)$$

D` ou:

- Z** : cote du fond.
- Y** : hauteur d'eau.
- V** : vitesse moyenne sur la section.
- h_e** : Perte de charge.
- α** : Coefficient de pondération de la vitesse.

Avec

$$h_e = L \bar{S}_f + c \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \dots\dots\dots(IV.2)$$

D`ou

- L** : la distance entre les deux profils ;
- S_f** : la pente de la ligne d'énergie (pente de frottement) ;
- C** : le coefficient d'expansion ou de contraction.

Les pertes de charges estimées proviennent des effets de frottement et de contraction/expansion du cours d'eau. La paramétrisation de Manning-Strickler est utilisée pour le frottement.

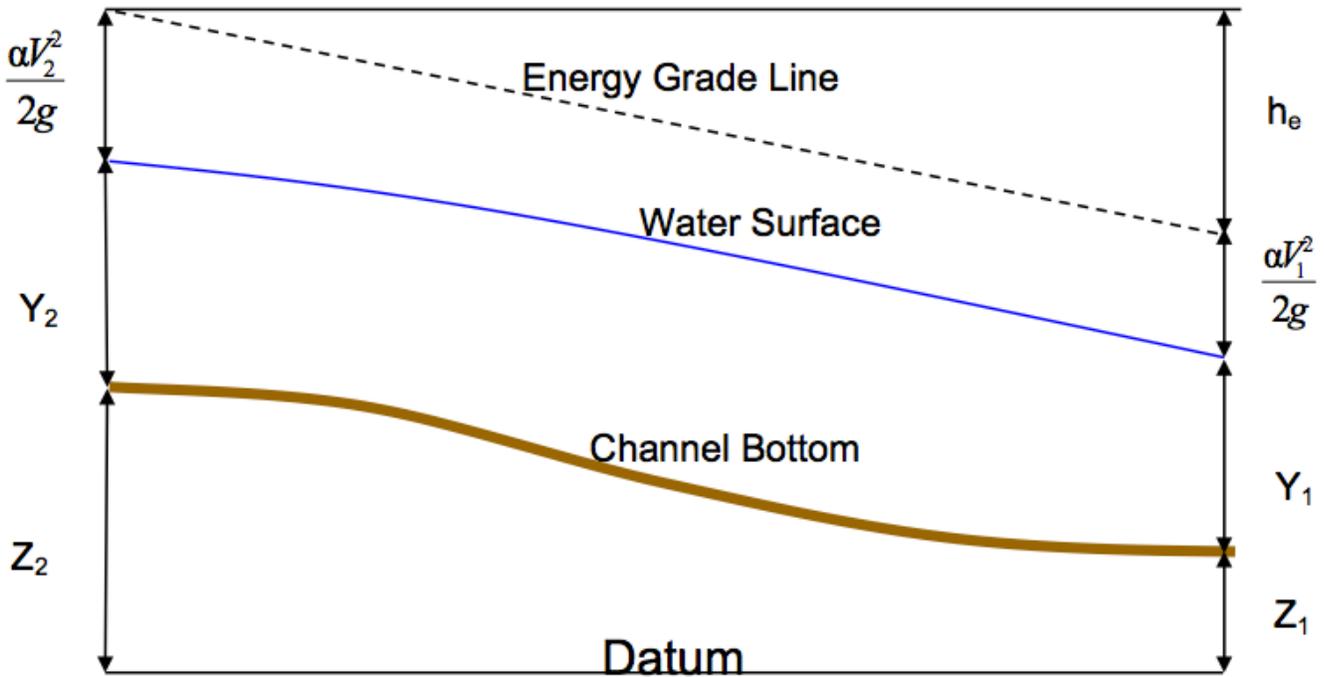


Figure IV 5: Conservation de la charge entre deux sections (HEC-RAS, 2014).

2. Cas instationnaire

Dans le cas instationnaire, la résolution sous HEC-RAS se fait différemment. Les équations utilisées cette fois-ci sont la conservation de la masse et la conservation de la quantité de mouvement. Pour obtenir ces équations on fait un bilan sur un petit volume de control, On obtient l'équation de conservation de la masse :

$$\frac{\partial A_T}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0 \quad \dots\dots\dots(IV.3)$$

D'ou

- **AT** : Section de contrôle (m²) ;
- **Q** : débit d'écoulement (m³/s) ;
- **ql** : Apport latéral par unité de longueur (m³/s/m).

L'équation de conservation de la quantité de mouvement s'écrit :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + Sf \right) = 0 \quad \dots\dots\dots(IV.4)$$

Avec :

- **Sf** : Pente de la ligne d'énergie (m/m) ;
- **V** : Vitesse moyenne (m/s).

Pour résoudre ces équations, le logiciel utilise la théorie des différences finies qui est à la fois pratique et simple pour ce cas 1D. Il utilise un schéma implicite qui permet d'utiliser un pas de temps beaucoup plus important que dans le cas du schéma explicite.

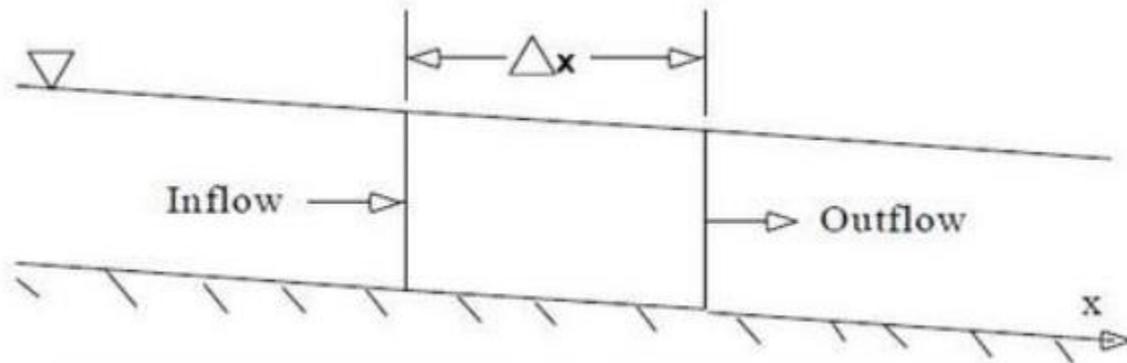


Figure IV 6: Description d'un élément de volume élémentaire de contrôle.

IV.2.2 Étapes de simulation par HEC-RAS

La simulation de l'écoulement d'eau par HEC-RAS passe par les étapes suivantes :

- ✓ Création du projet HEC-RAS.
- ✓ Préparation des données géométriques de l'Oued.
 - Le profil en travers, défini par une série de couples distance-altitude.
 - Les coefficients de rugosité du lit mineur et majeur.
 - Les trois distances principales à la section suivante : rive gauche, droite et axe de lit mineur.
- ✓ Choix des paramètres hydrométriques et conditions aux limites.
- ✓ Simulation hydraulique.

a) Création un nouveau projet HEC-RAS

Cette étape consiste à créer un nouveau fichier et déterminer le nom et le titre de projet ainsi que l'emplacement des fichiers.

b) Préparation des données géométriques de l'Oued.

Dans cette étape on va définir les données géométriques de l'oued tel que : les sections transversales et les données d'ouvrages hydrauliques et d'arts existants (ponts, structures latérales, déversoirs, etc.) à partir d'un levé topographique du cours d'eau aménagé sur une longueur d'environ 4 km.

Pour la génération des profils en travers représentatifs de la géométrie d'Oued Yellel, nous avons utilisé le logiciel AutoCad Civil 3D (version 2017) afin de les charger ces profils sur le logiciel HEC-RAS

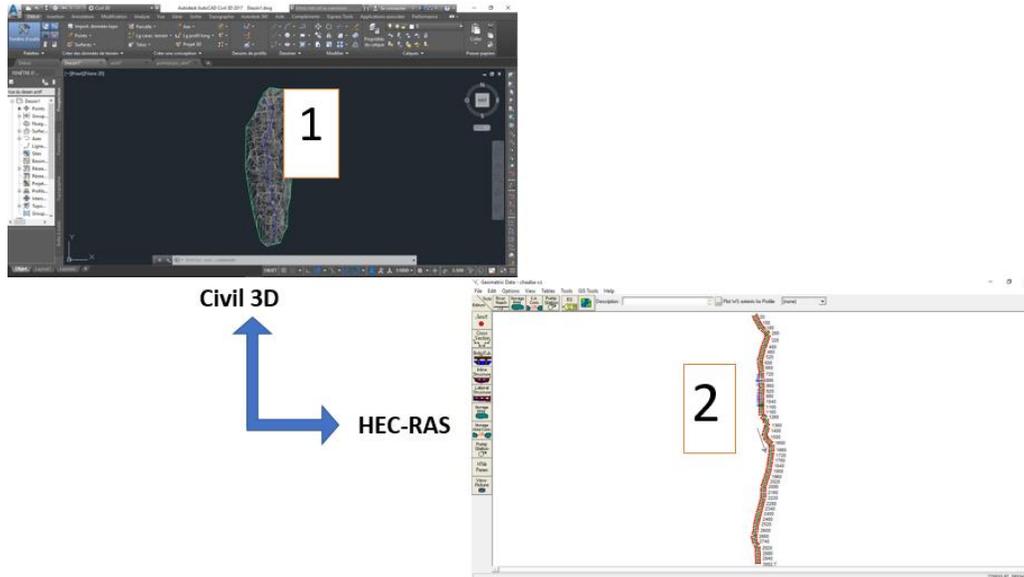


Figure IV 7: Le transfert d'axe et des sections transversal de Civil 3D vers HECRAS.

Le travail consiste à définir l'axe de l'Oued et les berges gauche et droite. Ensuite nous avons procédé à une tabulation automatique, dont nous avons fixé les distances suivantes :

- ❖ L'équidistance entre deux sections transversales est de 20 m.
- ❖ La largeur d'une section transversale est fixée à 60 m.

Dans cette démarche, le profil en travers est l'élément géométrique primordial. Il doit respecter certaines règles pour qu'il soit représentatif :

- ✓ Les profils doivent être perpendiculaires à la direction de l'écoulement des eaux.
- ✓ Ils ne doivent pas se croiser, recouper toute la plaine d'inondation et décrire le profil en long du cours d'eau (cela n'est pas toujours facile à réaliser dans le cas d'un cours méandrique avec une large plaine d'inondation).
- ✓ Ils doivent encadrer les ouvrages structurants du cours d'eau (ponts, seuils...).

c) Données hydrométriques et conditions aux limites :

Après avoir saisi les données géométriques de chaque section, l'étape suivante de la modélisation hydraulique par HEC-RAS est de spécifier les débits d'entrée et toutes les conditions aux limites nécessaires pour pouvoir exécuter le calcul des profils de la surface de l'eau en chaque section du l'Oued.

Pour les données de débit, on utilise directement les résultats obtenus à partir du méthode du Gradex pour la période de retour de 100 ans.

Dans notre cas, nous allons choisir la hauteur critique comme une condition aux limites, puisque on ne dispose pas d'information comme la courbe de débit-hauteur, ou bien des mesures complètes qui pourraient nous permettre d'utiliser les autres alternatives (la hauteur normale et la hauteur d'eau connue).

d) Simulation hydraulique

Les calculs peuvent être effectués pour plusieurs débits simultanément, soit en régime torrentiel, soit en régime fluvial, ou pour les deux régimes d'écoulements. Dans ce dernier cas,HEC-RAS utilise l'équation de quantité de mouvement pour déterminer les changements de régime torrentiel fluvial, caractérisés par un ressaut.

Une fois tous les données (géométriques et hydrométriques) et les conditions de notre Oued sont introduit, nous avons lancé la simulation en supposant un régime d'écoulement mixte.

❖ Résultats

Les résultats numériques des paramètres hydrauliques pour la fréquence centennale sont donnés dans l'annexe 1.

Un plan du cours d'eau en trois dimensions du modèle géométrique ainsi que le profil en long du tronçon simulé sont montrés respectivement sur les figures (IV.8 et IV.9) pour l'évènement hydrométéorologique considéré.

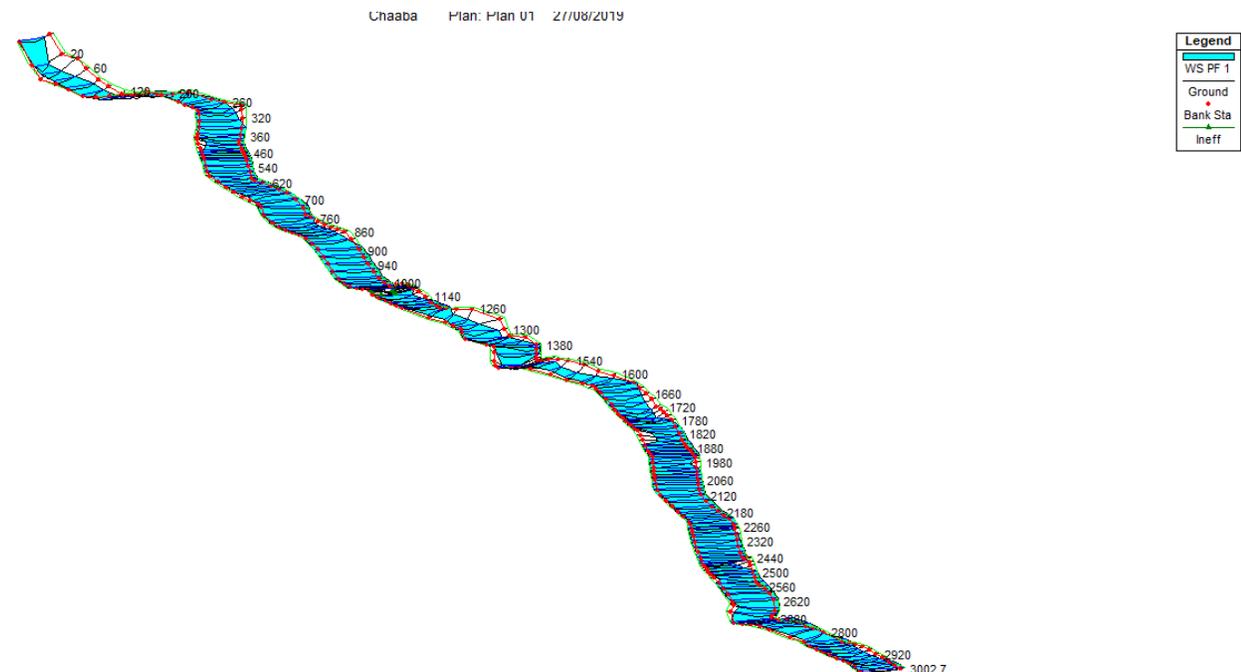


Figure IV 8:Vue en Plan en 3D du tronçon d'Oued Chaaba .

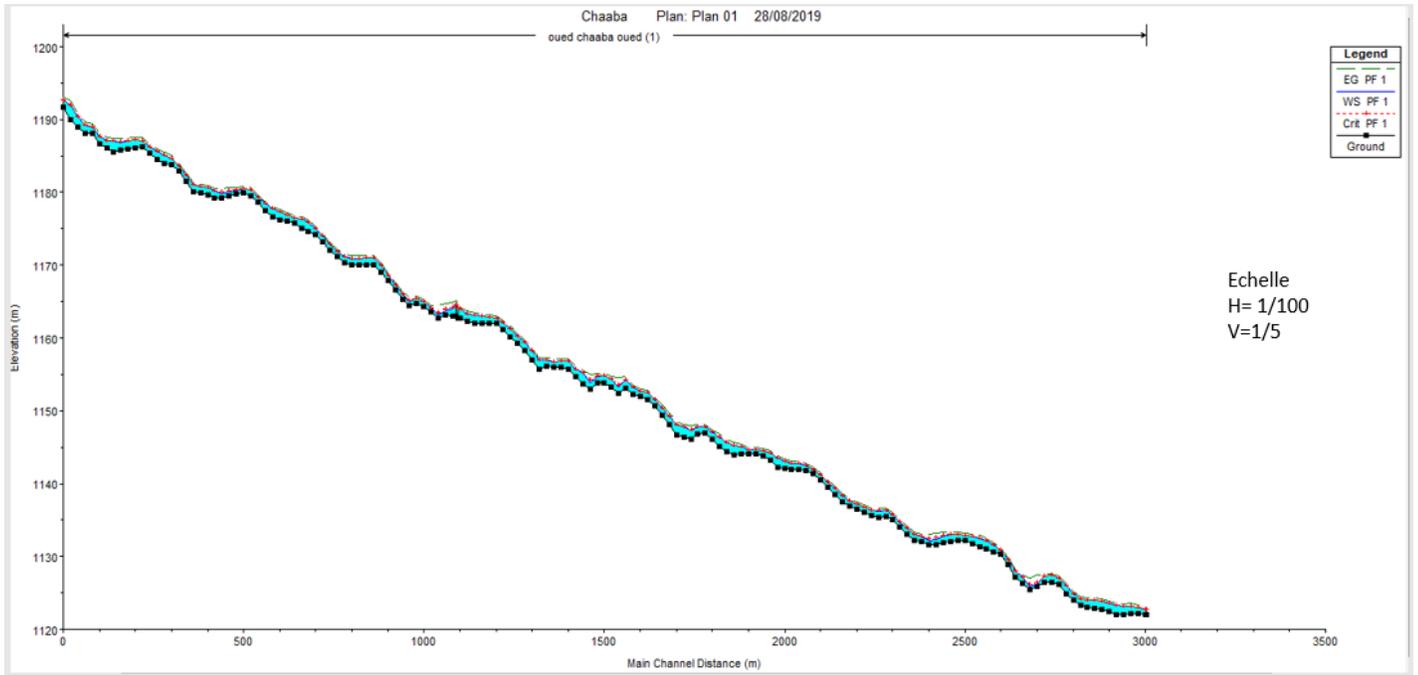


Figure IV 9: Profil en long du tronçon simulé d'Oued Chaaba avec la ligne de surface de l'eau.

La figure suivante montre l'ouvrages et la section inondée après la simulation par HEC-RAS:

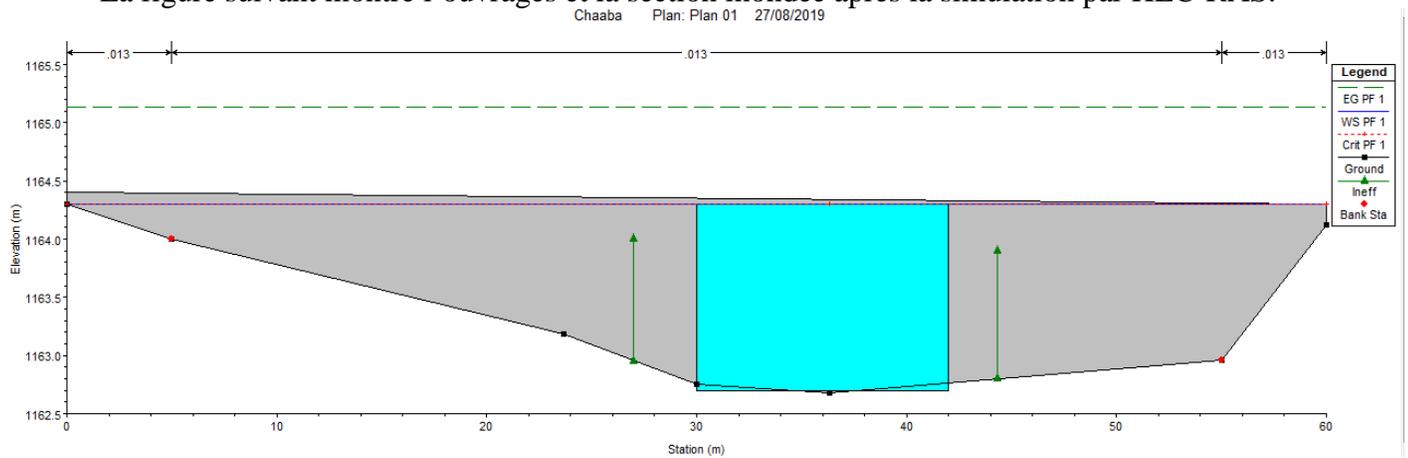


Figure IV 10: Section en travers d'Oued Chaaba au niveau du pont de RN 77 (cross section 1090).

Interprétation :

Dans la figure (IV.10) correspondantes à la section en travers de pont existant au centre de la ville Chaaba, on remarque qu'il y a de dépassement de la ligne d'eau, donc pour une crue centennale il existe un risqué de débordement du pont.

Remarque : le pont au niveau RN77 de dimension 16*12m à refaire

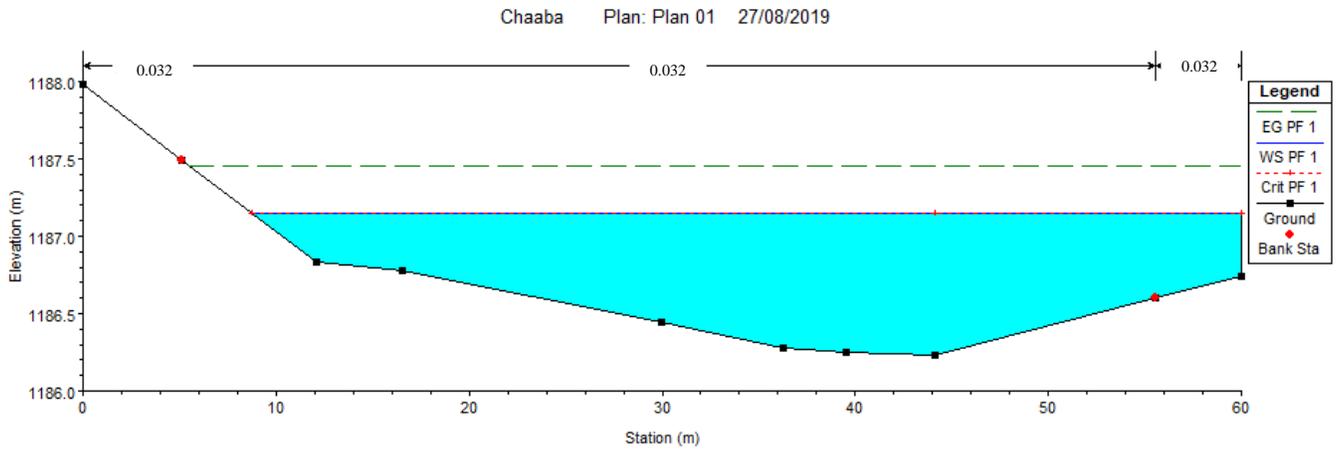


Figure IV 11: Section en travers d'Oued Chaaba (PK 220)

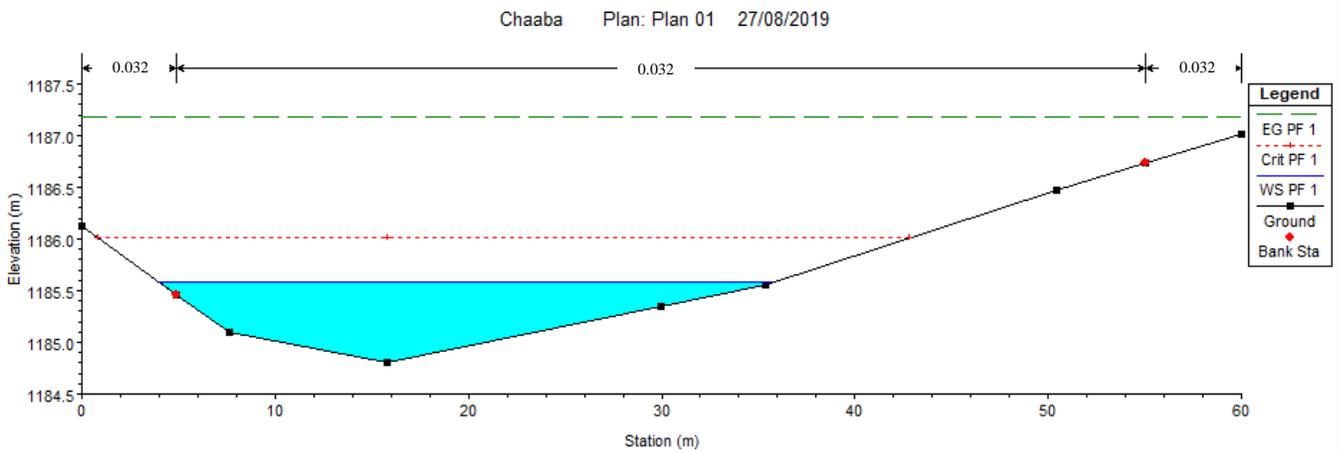


Figure IV 12: Section en travers d'Oued Chaaba (PK 140)

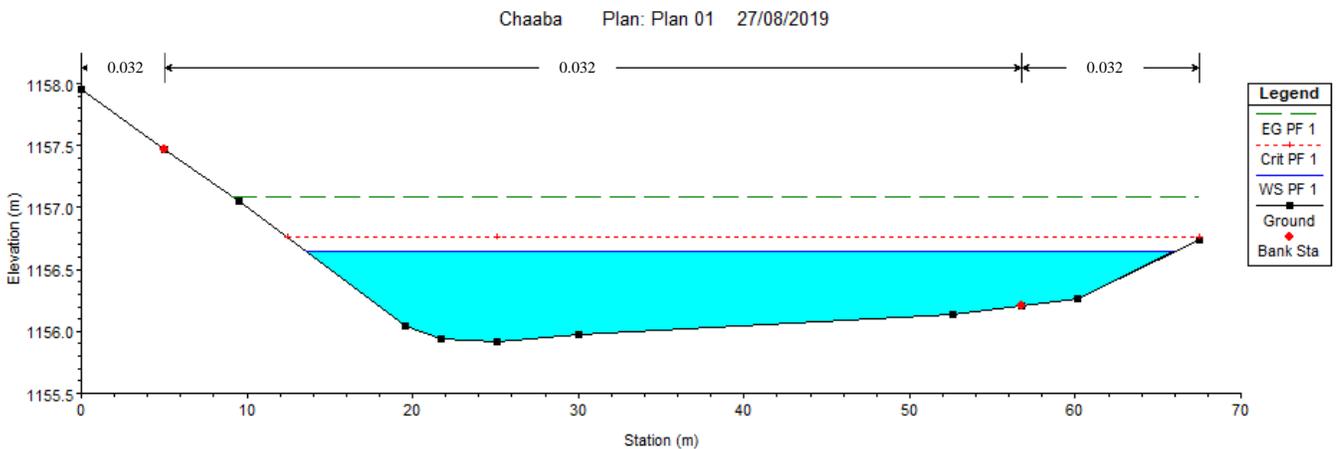


Figure IV 13: Section en travers d'Oued Chaaba (PK 1360)

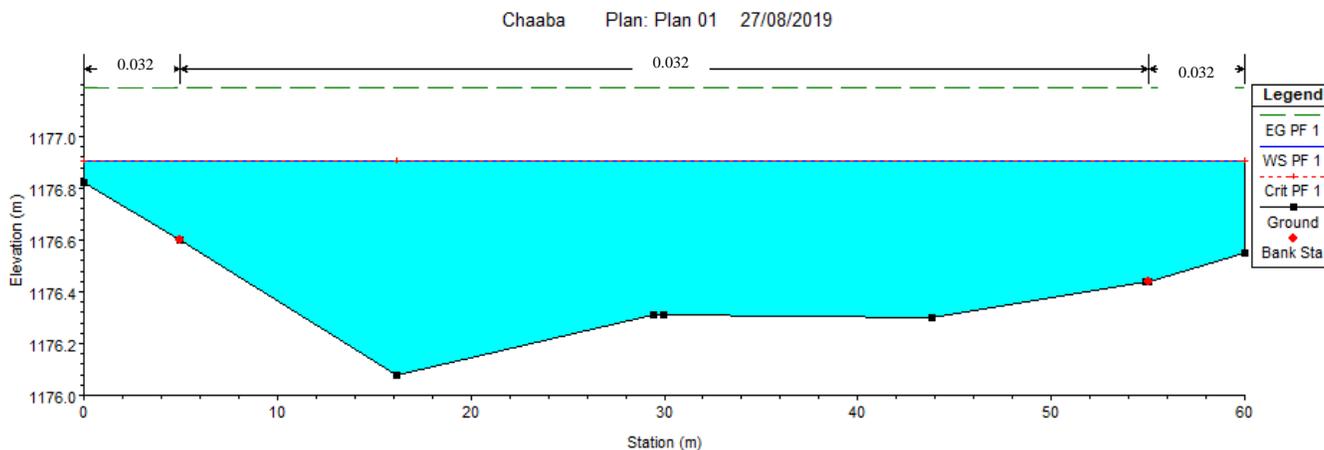


Figure IV 14: Section en travers d'Oued Chaaba (PK620)

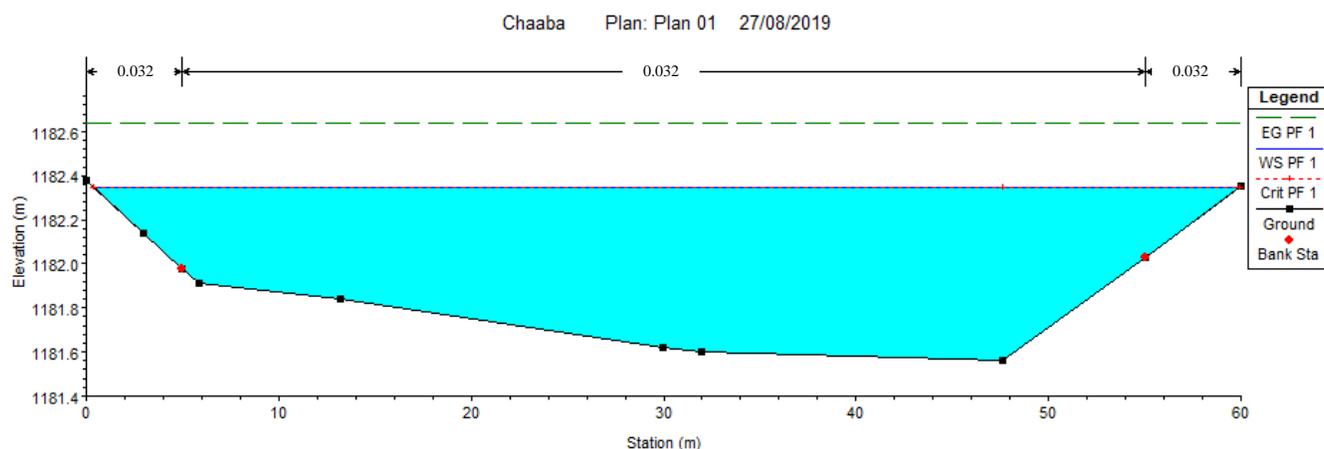


Figure IV 15: Section en travers d'oued Chaaba (PK 340)

Interprétation :

- ❖ La vitesse d'écoulement moyenne dans l'Oued est de 2.62 m/s et atteint dans certaines sections des valeurs de 1.67 et 4.87 m/s.
- ❖ La hauteur d'eau moyenne est de 0.93 m et varie entre 0.33 m et 2.72 m.
- ❖ La variation du régime d'écoulement le long de l'Oued. Cette constatation est confirmée par les valeurs du nombre de Froude qui varient entre 0.59 et 2.99.

IV.3 Zones inondables

Après avoir calculé les profils d'inondation avec HEC-RAS, notre objectif dans cette partie est la délimitation des plaines inondables. Pour ce faire, nous avons besoin d'obtenir la surface de l'eau par l'option Water Surface Generation inclut dans Inundation Mapping de RAS Mapping (un modèle de mappage inclut dans HEC- RAS version 4.1.0).

Une fois la surface de l'eau est délimitée, on peut facilement produire la zone inondable par l'option Floodplain Delineation Using Rasters. Et puis on va exporter vers *Google Earth* pour bien présenter.

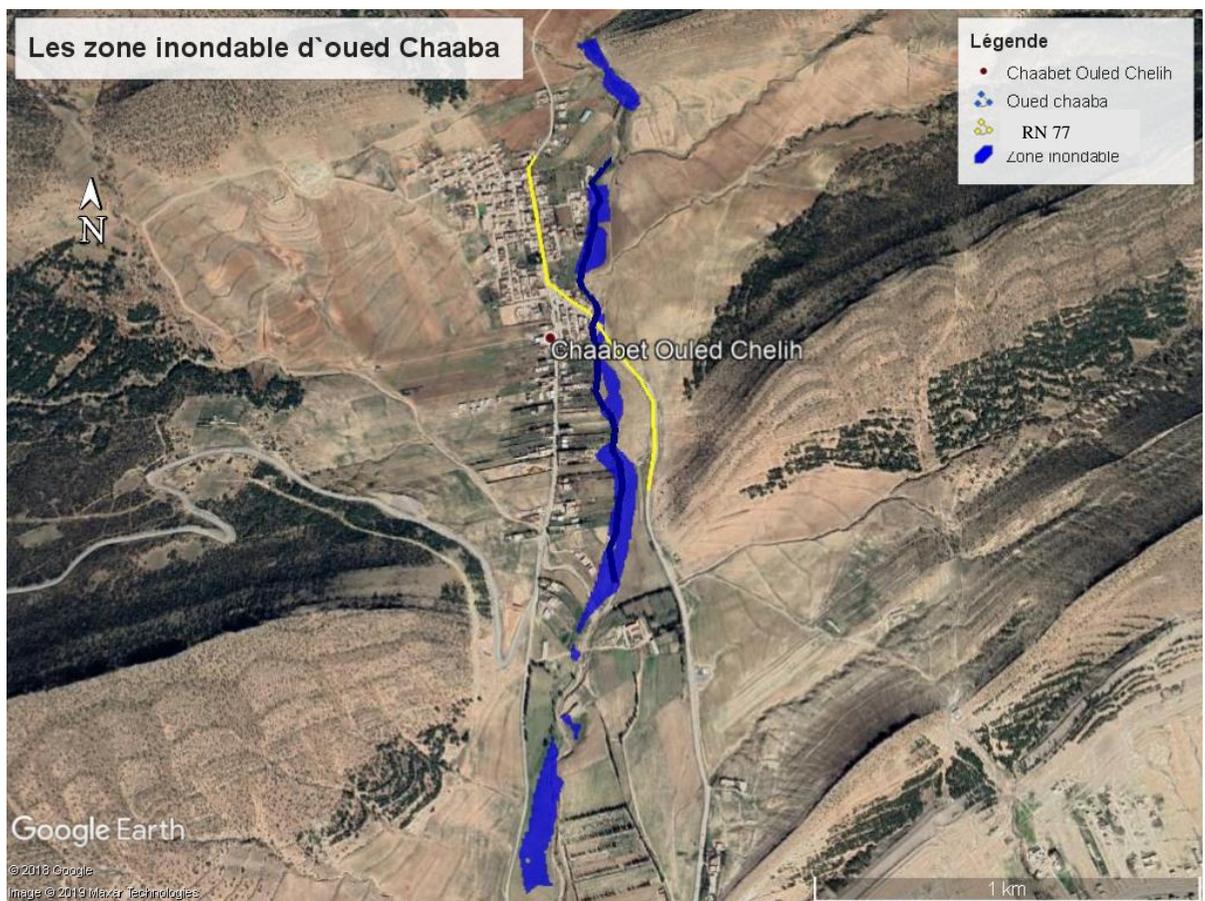


Figure IV 16: Les zones inondables de la ville de Chaaba centennial (Google Earth 2018)

Conclusion

Cette étape nous a permis de bien connaître la situation de notre zone d'étude, sa réponse vis-à-vis des inondations et de pouvoir localiser les différentes zones envahies par l'inondation occasionnée par la crue centennale.

La détermination des zones inondables par la modélisation hydraulique d'Oued Chaaba donne une vision claire et simple pour les différentes variantes optimales et scénarios d'aménagement à être réalisés afin de protéger la vie, les biens matériels et les terres agricoles avoisine.



Chapitre V :
**«Etude des variantes
d' aménagement»**

Etude des variantes d'aménagement

Introduction

Le but de cette étude est de sélectionner les meilleures solutions d'aménagements après la proposition des différentes variantes sur la base des résultats obtenus à partir des chapitres précédents et en fonction de l'analyse de notre zone compte tenu des conditions naturelles pour bien protéger la ville de Chaaba contre les inondations.

V.1 Processus de l'aménagement dans le cadre de l'étude

Les variantes ont été sélectionnées dans le souci de protéger les localités de la ville de Chaaba contre les inondations, par l'évacuation des eaux des crues vers l'exutoire, en respectant toutes les conditions d'écoulement, de stabilité des berges et n'oubliant pas l'impact de cet aménagement sur l'environnement. Donc le choix de variante se détermine par de différents processus

V.1.1 Choix le type d'aménagement envisageable

Il existe des différents types d'aménagements des oueds chacun leur caractéristique. Ces types sont comme suit :

1. Curage :

Qui permet une nette amélioration des conditions d'écoulement suite d'élimination de tous les obstacles et les dépôts entravant l'écoulement des eaux dans le cours d'eau pour diminuer la rugosité et accroître la débitante.

2. Recalibrage :

Qui permet d'élargir et d'approfondir les sections des cours d'eau pour augmenter leur capacité d'évacuation des eaux et assurer une section mouillée répondant aux critères de protections désirées.

3. Réalisation des canaux :

Permet de régénérer le couloir initial de l'oued. Cette solution est indispensable dans le cas où le lit de l'oued et son domaine hydraulique ont été complètement occupé des bâtiments ou par la voirie.

4. Protection des berges :

Qui comprend tout ouvrage visant à maintenir la stabilité des terres en dépit de l'action de l'eau. Les berges sont en effet attaquées par des courants perturbateurs générés par les crues. De même, les terres glissent par suite de l'infiltration de l'eau après le retrait de la crue. La protection des berges est également nécessaire au voisinage de certains ouvrages tels que les ponts.

5. Création des canaux périphériques

De dérivation des eaux vers les oueds permettant de les restituer vers des zones situées en dehors des aires à protéger. Cette déviation pourrait concerner une partie ou la totalité des eaux d'un oued vers un autre.

V.1.2 Les formules de dimensionnement des canaux

La formule utilisée pour le dimensionnement est celle de Manning Strickler, pour tout les formes géométriques pour des sections ouvertes diverses. Elle donnée par la relation suivante :

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

Avec

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).

R_h : rayon hydraulique en (m) tel que :

$$R_h = S_m / P_m \dots \dots \dots (V.2)$$

Le tableau suivant donne les formules des éléments géométriques pour cinq différents types de section de canaux:

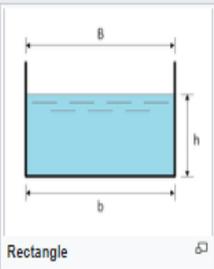
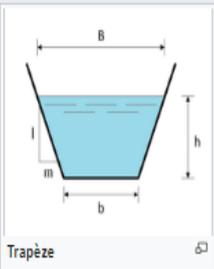
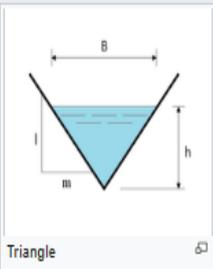
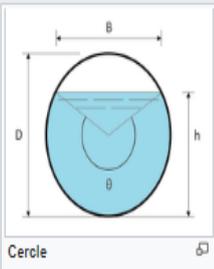
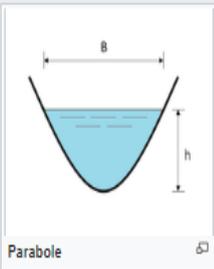
					
Largeur, B	b	$b + 2 \times mh$	$2 \times mh$	$(\sin \frac{\theta}{2}) \cdot D$ ou $2\sqrt{h \cdot (D - h)}$	$\frac{3}{2} \frac{S}{h}$
Surface, S	$b \times h$	$(b + mh) \cdot h$	$m \times h^2$	$\frac{1}{8} (\theta - \sin \theta) \cdot D^2$	$\frac{2}{3} Bh$
Périmètre mouillé, P	$b + 2h$	$b + 2 \cdot h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

Figure V 1:Eléments géométriques pour des sections ouvertes diverses (W.H. Graf.2000)

V.1.3 Choix des paramètres de dimensionnement

1) La pente du projet :

Le choix de la pente du projet relève d'une grande importance avant de procéder au calcul hydraulique. Pour notre cas, nous avons choisis une pente uniforme de l'ordre 2.5%, dans certain variante et varie entre 2.2 et 1.8%.

2) Le coefficient de rugosité

La rugosité du canal dépendant de la nature du revêtement, les valeurs de la rugosité de certain revêtement à titre d'exemple est donnée dans le tableau suivant :

Tableau V 1: Les valeurs du coefficient de rugosité (uclouvain.be).

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

3) Marge de sécurité dans les canaux (Revanche)

Dans les canaux à surface libre, une perte de charge non prévue provoque une élévation de la surface libre et un risque de débordement. C'est pourquoi il faut toujours prévoir une marge de sécurité au-dessus de la ligne d'eau calculée afin de tenir compte de l'accumulation de dépôt solide, de croissance de la végétation, des vagues provoquées par le vent, ...etc.

La marge de sécurité oscille, généralement, entre 0,30 m pour les petits canaux, et 0.60 à 1.20 m pour les grands canaux. Il est donc indispensable de tenir compte de toutes les circonstances qui peuvent conduire à modifier ces indications. (Lencastre, 2008)

Tableau V 2 : Revanches utilisées (Freeboard) (degoutti, 2008)

Débit (m ³ /s)	<0.75	0.75 a 1.5	1.5 a 8.5	>8.5
Revanche (m)	0.45	0.6	0.75	0.9

4) Vitesse d'érosion

Afin éviter les ruptures du fond et des berges des canaux sur l'action dynamique d'un courant d'eau, la vitesse de celui-ci ne doit pas être supérieure à la vitesse limite maximale. Les valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolidés sont données dans le tableau ci-dessous (Deggoute gerard,2012).

Tableau V 3: Valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolidés

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

V.2 Etudes des variants

Dans cette étude, les variantes proposées pour l'aménagement du cours d'eau sont :

- ❖ Un recalage de lit naturel avec recouvrement des berges (cas d'une forme trapézoïdale)
- ❖ Un canal en béton armé de forme trapézoïdale.
- ❖ Un canal en gabion.
- ❖ Un canal mixte (Pavage de pierre à une couche, un canal en gabion et béton armé).

Un calcul hydraulique de chaque variante sera fait en vérifiant l'état d'écoulement par une simulation avec HEC-RAS pour chaque tronçon du cours d'eau, et une description des variantes d'aménagement proposés pour pouvoir choisir la variante la plus adaptés d'un point de vue technico-économique.

V.2.1 Première variante : Recalibrage du lit naturel (cas d'une forme trapézoïdale)

La première variante proposée est un recalibrage du terrain naturel par une section trapézoïdale non revêtue (berges et lit). La section trapézoïdale présente le profil le plus rentable hydrauliquement, pour sa grande capacité de transit des eaux, le champ de l'écoulement est maximal.

V.2.1.1 Dimensionnement

Pour le calcul des dimensions de ce canal, en remplaçant les formules du canal trapézoïdale du figure (V.1) dans la formule (V.1) on trouve :

$$\dots \quad Q = \frac{I^{\frac{1}{2}} [(b + mh)h]^{\frac{5}{3}}}{n [b + 2h\sqrt{1 + m^2}]^{\frac{2}{3}}} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

Les termes Q, n, I étant connus on procède à un calcul itératif en fixant b suivant la largeur moyenne du lit naturel, en choisissant un fruit de talus m = 2 pour que l'angle du talus θ avec l'horizontale est inférieur à l'angle du repos du matériau φ .

Les résultats de calcul pour les différents tronçons sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau V 4: Dimensions de l'aménagement d'Oued Chaaba (recalibrage du lit naturel).

Tronçons	Section départ	Section arrivée	Longueur (m)	Pente projet (%)	Fruit de talus	Largeur du fond b (m)	Hauteur du canal H (m)
1	0	420	420	2.5	2	10	2
2	420	1000	580	2.5	2	12	1.9
3	1000	1220	220	2.5	2	15	1.8
4	1220	2400	1180	2.5	2	10	2

V.2.1.2 Les paramètres d'écoulement

Les résultats de la simulation seront représentés dans le tableau ci-dessous

Tableau V 5: Paramètres d'écoulement de la variante recalibrage du lit naturel.

Profil	Débit Q (m ³ /s)	Vitesse (m/s)	Froude	Tirant d'eau (m)	Section Mouillée (m ²)	Périmètre mouillé (m)	Rayon hydraulique (m)	Remarque
1	77.8	6.38	3.09	1.01	12.17	14.52	0.83	Régime torrentiel
2	77.8	6.13	2.83	0.91	12.68	16.1	0.79	Régime torrentiel
3	77.8	5.78	2.51	0.81	13.45	18.62	0.72	Régime torrentiel
4	77.8	6.38	3.09	1.01	12.17	14.52	0.83	Régime torrentiel

Interprétation :

On remarque que la largeur du 3^{ème} tronçon du canal projeté est de 15 m est assez grand par rapport aux autres. Car au niveau de PK1090 on a un ouvrage de 15 m de largeur et pour la protection de ce pont j'ai augmenté la largeur pour réduire la vitesse d'écoulement.

V.2.1.3 Etude de la stabilité du canal

Pour le dimensionnement d'un canal non revêtu, où les berges et le fond sont constitués par des matériaux non cohérents, il est nécessaire d'en garantir la stabilité, afin d'éviter les érosions provoquées par les forces hydrodynamiques engendrées par l'écoulement. Les conditions dans lesquelles les particules du matériau non cohérent qui constituent le fond et les berges d'un canal commencent à se déplacer, appelées conditions critiques, peuvent s'exprimer en fonction des vitesses de l'écoulement (vitesses critiques), ou des tensions tangentielles exercées sur les particules (forces tractrices critiques). (Chaudhray, 2007)

Dans notre démarche, on va s'intéresser au tronçon où la vitesse est importante, dans notre cas le tronçon 1 et on va se baser sur le critère de la tension critique pour l'étude de la stabilité du fond.

Les étapes de l'étude de stabilité du fond du canal suivant cette méthode sont comme suit :

- ✓ Détermination de la contrainte tangentielle admissible à partir du diamètre moyen des grains et avec l'utilisation de l'abaque présenté dans la figure (V.2)
- ✓ Calculer la contrainte tangentielle au fond.

$$\tau_o = \gamma_w \cdot R \cdot i \text{ [N/m}^2\text{]} \dots \dots \dots \text{(V.4)}$$

avec ,

- τ : la tension tangentielle critique exercée sur le fond (N/m2).
- R : le rayon hydraulique (m).
- γ_w : poids volumique de l'eau (N/m3).
- i : la pente du fond.

- ✓ Calculer la contrainte tangentielle des berges

$$\tau_{o \text{ berge}} = \gamma_w \cdot R \cdot i \text{ [N/m}^2\text{]} \dots \dots \dots \text{(V.5)}$$

Avec : $\tau_{o \text{ berge}}$: La tension tangentielle critique exercée sur les berges (N/m2).

- ❖ Vérification que la contrainte tangentielle au fond τ_o est inférieur à la contrainte admissible

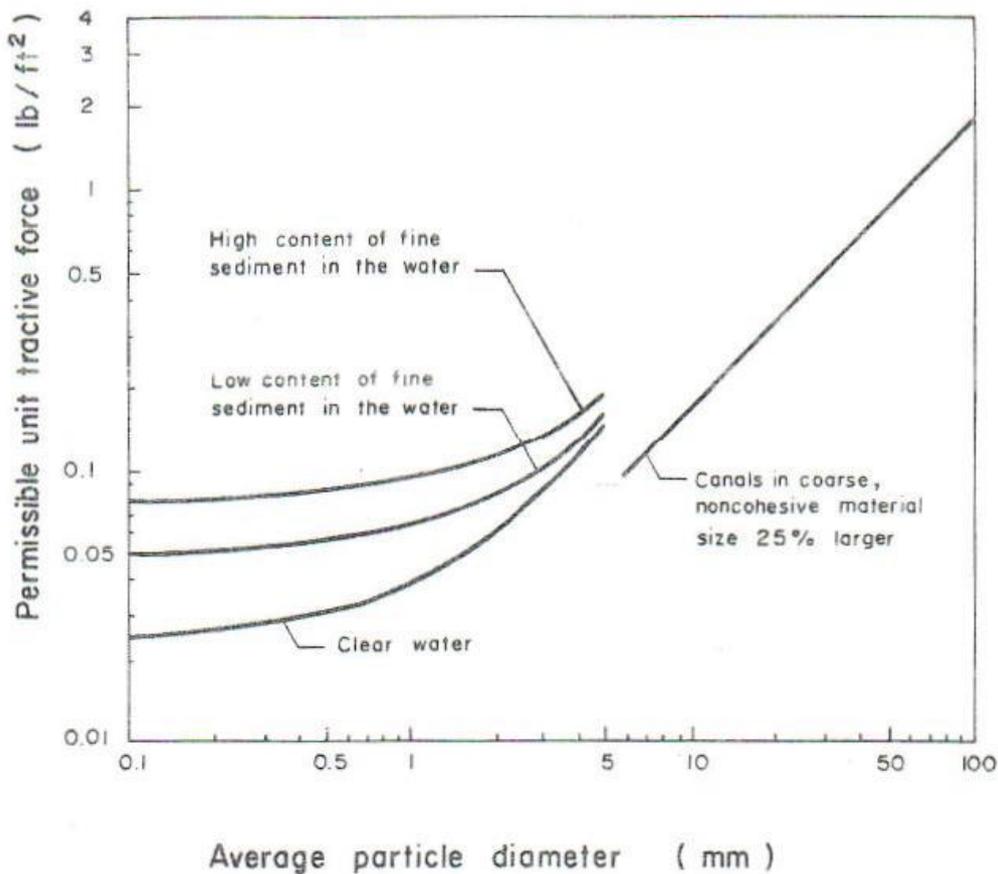


Figure V 2: Efforts tangentiels critiques pour des matériaux non cohésifs (Chaudhry, 2014).

Pour notre cas, on a un sol sableux argileux avec un diamètre $d_{50\%}$ de 1 mm. Les résultats de calcul sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau V 6: Résultats des contraintes tractrices du fond

Contrainte tractrice	τ_o	τ_{adm}
Valeur (N/m ²)	0.20	0.23

Interprétation :

Vu que la contrainte tangentielle au fond est inférieure à la contrainte admissible, la stabilité du fond est bien vérifiée et la réalisation d'un tel aménagement est possible.

- ❖ Vérification que la contrainte tangentielle des berges $\tau_{0 \text{ berge}}$ est inférieure à la contrainte admissible

Pour cela on suit les étapes suivantes :

- Calculer le paramètre de réduction K tel que

$$K = \sqrt{1 - \frac{\sin^2\theta}{\sin^2\varphi}} \dots\dots\dots (V.6)$$

Avec

θ : l'angle du talus avec l'horizontale avec $m = \text{ctg}\theta$ (pour notre cas $\theta = 26.6^\circ$).

φ : l'angle du repos du matériau ($\varphi = 29^\circ$).

- Calculer la contrainte tangentielle admissible des talus en multipliant K par la contrainte tangentielle admissible du fond τ_{adm}
- Calculer la contrainte tangentielle au niveau des berges $\tau_{0 \text{ berge}}$

Les résultats de calcul sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau V 7: Résultats des contraintes tractrices des berges

Contrainte tractrice	$\tau_{0 \text{ berge}}$	τ_{adm}
Valeur (N/m ²)	0.15	0.11

Interprétation :

Vu que la contrainte tangentielle au berge du canal est supérieur à la contrainte admissible, donc la stabilité des berges est en risque de glissement et la réalisation d'un tel aménagement est impossible par ce technique.

V.2.2 Deuxieme variante : Recalibrage du lit naturel avec recouvrement des berges (cas d'une forme trapézoïdale)

Un recalibrage du terrain naturel par une section trapézoïdale avec recouvrement des berges par pierres taillées avec jointures en mortier et un lit nu c'est la premiere variante proposée. Pour le fruit de talus, nous prenons $m = 1$ pour des raisons pratiques (facilité de réalisation sur terrain)

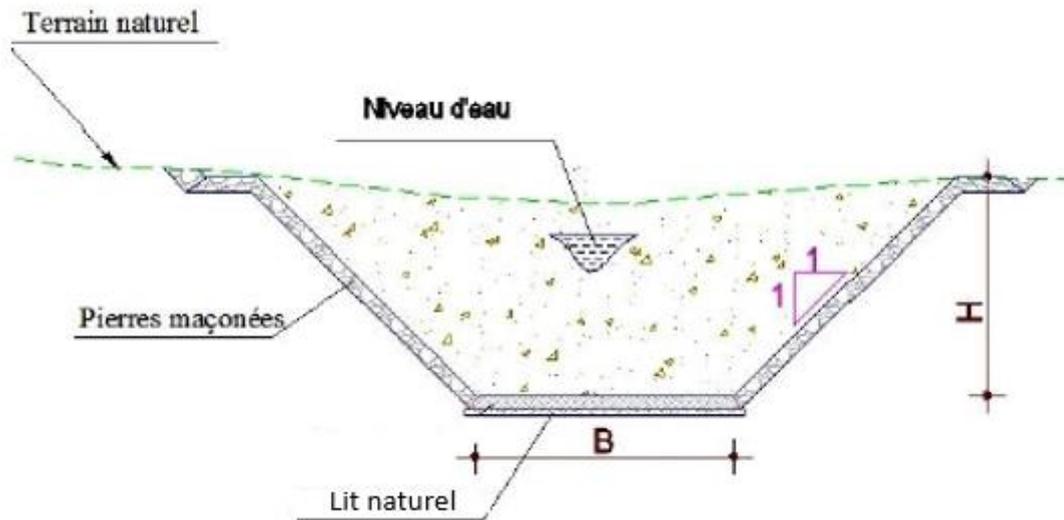


Figure V 3: Schéma d'un canal trapézoïdal avec recouvrement des berge

d'autant plus que ça se rapproche de la valeur optimale.

V.2.2.1 Dimensionnement

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

Tableau V 8: Dimensions de l'aménagement d'Oued Chaaba (recalibrage du lit naturel avec recouvrement des berge).

Tronçons	Section départ	Section arrivée	Longueur (m)	Pente projet (%)	Fruit de talus	Largeur du fond b (m)	Hauteur du canal H (m)
1	0	420	420	2.5	1	10	2.2
2	420	1000	580	2.5	1	12	2
3	1000	1220	220	2.5	1	15	1.8
4	1220	2400	1180	2.5	1	10	2.2

V.2.2.2 Les paramètres d'écoulement

Les résultats de la simulation seront représentés dans le tableau ci-dessous

Tableau V 9: Paramètres d'écoulement de la variante recalibrage du lit naturel avec recouvrement des berges.

Profil	Débit Q (m ³ /s)	Vitesse (m/s)	Froude	Tirant d'eau (m)	Section Mouillée (m ²)	Périmètre mouillé (m)	Rayon hydraulique (m)	Remarque
1	77.8	6.14	3.06	1.13	12.66	13.21	0.95	régime torrentiel
2	77.8	5.86	2.77	1.02	13.27	14.88	0.89	régime torrentiel
3	77.8	5.49	2.43	0.89	14.17	17.52	0.81	régime torrentiel
4	77.8	6.14	3.06	1.13	12.66	13.21	0.95	régime torrentiel

Interprétation :

On remarque que la largeur du 3^{ème} tronçon du canal projeté est de 15 m est assez grand par rapport à l'autre. Car au niveau de PK1090 on a un ouvrage de 15 m de largeur et pour la protection de ce pont j'ai augmenté la largeur pour réduire la Vitesse d'écoulement.

V.2.2.3 Estimation du coût de la variante

A partir des quantités des terrassements et des volumes du pierres et du béton propreté calculés par HEC-RAS (pour le béton de propreté on prend une épaisseur de 10 cm), l'estimation du cout de la variante est comme suit :

Tableau V 10: Devis de la variante pour metre lineaire (recalibrage du lit naturel avec recouvrement des berges)

Désignation des travaux		Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA/ml)
Terrassement	Déblai	m ³ /ml	11.41	250	2852.5
	Remblai	m ³ /ml	66.9	200	13380
Béton de propreté		m ³ /ml	0.6	6000	3600
Pierre		m ² /ml	5.7	5000	85750
Total					48338

V.2.3 Troisième variante: Canal en béton armé

La deuxième 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. Un canal en béton présente :

- ✓ Une durée de vie plus importante (50ans).
- ✓ Une forme étroite bien adoptée à la ville.
- ✓ Les meilleures caractéristiques hydrauliques (Vitesse d'écoulement conséquente).

- ✓ Une durée de réalisation très courte, et assure une meilleure protection.
- ✓ Convient à toutes les dimensions de canaux et à toutes les conditions topographiques climatiques, et d'exploitation.
- ✓ Rapidité de réalisation et maintenance.

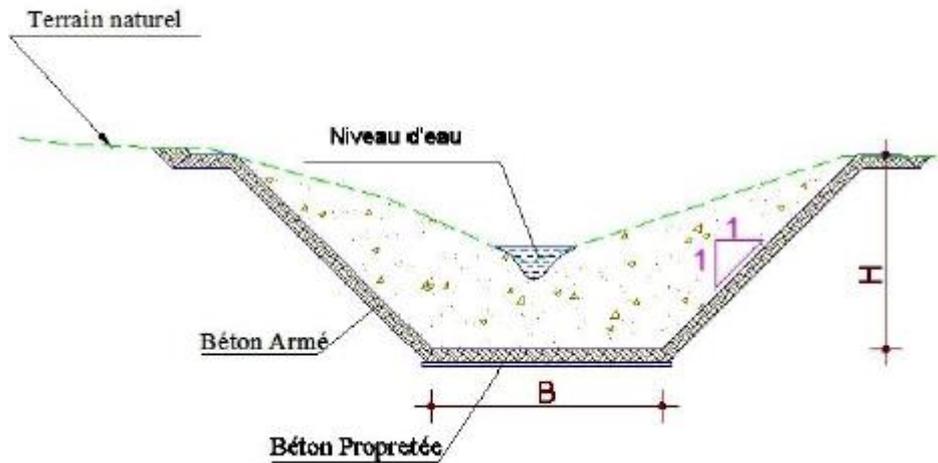


Figure V 4: Schéma d'un canal trapézoïdal en béton armé.

V.2.3.1 Dimensionnement

Les résultats de calcul sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau V 11: Dimensions de l'aménagement d'Oued Chaaba (canal 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	0	420	420	2.0	1	10	1.6
2	420	1000	580	1.8	1	12	1.6
3	1000	1220	220	2.0	1	15	1.5
4	1220	2400	1180	2.0	1	10	1.6

V.2.3.2 Les paramètres d'écoulement

Les résultats de la simulation seront représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V 12: Paramètres d'écoulement de la variante canal en béton armé

Profil	Débit Q (m ³ /s)	Vitesse (m/s)	Froude	Tirant d'eau (m)	Section Mouillée (m ²)	Périmètre mouillé (m)	Rayon hydraulique (m)	Remarque
1	77.8	8.34	2.95	0.86	9.33	12.43	0.75	régime torrentiel
2	77.8	7.65	2.8	0.79	10.17	14.25	0.71	régime torrentiel
3	77.8	7.37	2.9	0.67	10.55	16.90	0.62	régime torrentiel
4	77.8	8.34	2.95	0.8	8.87	12.27	0.71	régime torrentiel

V.2.3.3 Estimation du coût de la variante :

On prend une épaisseur de 15 cm pour le béton armé et pour le béton de propreté on prend une épaisseur de 10 cm. l'estimation du cout de la variante est donnée dans le tableau suivant :

Tableau V 13: *Devis de la variante (canal en béton armé).*

Désignation des travaux		Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA/ml)
Terrassement	Déblai	m ³ /ml	11.41	250	2852.5
	Remblai	m ³ /ml	71	200	14209.66
Béton de propreté		m ³ /ml	10.94	6000	66000
Béton armé		m ³ /ml	4.52	32000	144640
Total					227701

V.2.4 Quatrième variante : canal en gabion

Les matelas en gabions sont utilisés principalement pour réaliser les revêtements et les protections anti-affouillements. Ils se présentent sous forme de dimensions variées, dont les plus courant sont 2.0×1.0×0.5 et 2.0×1.0×1.0 . Les canaux en gabion, sont mis en oeuvre d'une façon spéciale ; les sacs sont agencés de manière à créer un escalier qui permet la stabilité des berges.

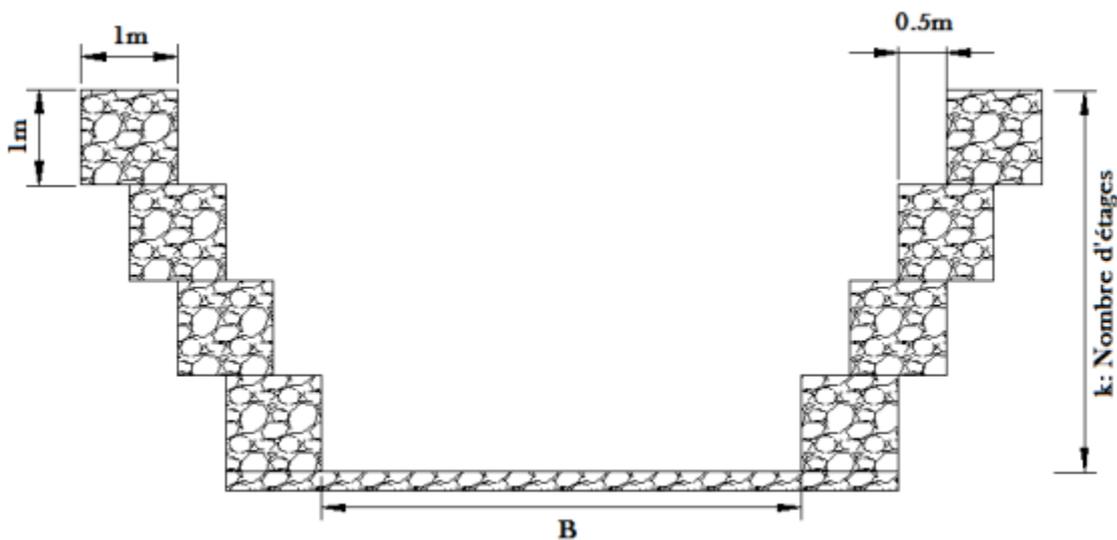


Figure V 5: *Coupe en travers d'un canal en gabion*

Les avantages de structure en gabion sont:

- ✓ Flexibilité des ouvrages, la souplesse des gabions permet à l'ouvrage de suivre les déformations du terrain, qui peuvent survenir au pied des organes de dissipation d'énergie, des bajoyers et des protections contre les affouillements.
- ✓ Facilité de mise en oeuvre, certains types de barrages ou de seuils en gabions peuvent être construits sur deux ans, sans risque majeur de destruction en cours de saison des pluies intermédiaire. La surélévation éventuelle de l'ouvrage est envisageable assez facilement. D'autre part, les formes géométriques sont, par nature, relativement simples.
- ✓ Possibilité de réaliser des ouvrages totalement déversants bien moins coûteux que leurs équivalents en béton.

Tableau V 14: Caractéristiques géométriques de la section gabionnée.

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

Avec

k : nombre d'étages.

b : base canal.

V.2.4.1 Dimensionnement :

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

Tableau V 15: Dimensions de l'aménagement d'Oued Chaaba (canal en gabion).

Tronçons	Section départ	Section arrivée	Longueur (m)	Pente projet (%)	s	p	R	Largeur du fond b (m)	Hauteur du canal H (m)
1	0	420	420	2.5	21	15	1.4	10	2
2	420	1000	580	2.5	28	17	1.6	12	2
3	1000	1220	220	2.5	34	20	1.7	15	2
4	1220	2400	1180	2.5	24	15	1.6	10	2

V.2.4.2 Les paramètres d'écoulement :

Les résultats de la simulation seront représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V 16: Paramètres d'écoulement de la variante canal en gabion

Tronçons	Débit Q (m3/s)	Vitesse (m/s)	Froude	Remarque
1	77.8	6.530	1.702	régime torrentiel
2	77.8	7.277	1.756	régime torrentiel
3	77.8	7.432	1.774	régime torrentiel
4	77.8	7.138	1.741	régime torrentiel

V.2.4.3 Estimation du coût de la variante

Tableau V 17 : Devis de la variante (canal en gabion).

Désignation des travaux		Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA/ml)
Terrassement	Déblai	m ³ /ml	37.5	250	9382.0
	Remblai	m ³ /ml	35.8	200	7160.9
Gabion		m ³ /ml	7.65	4500	34425
Total					67511

V.2.5 Cinquième variante: canal mixte

Cette variante est décomposée en trois parties : un canal en béton pour le tronçon qui traverse la ville (tronçon 2), un recalibrage du terrain naturel avec recouvrement des berges (traçons 01 et 04) pour et le tronçon 03 est en gabion pour la protection d'ouvrage.

V.2.5.1 Dimensionnement

Les résultats de calcul sont donnés dans le tableau suivant :

Tronçons	Section départ	Section arrivée	Longueur (m)	Pente projet (%)	Fruit de talus	Largeur du fond b (m)	Hauteur du canal H (m)
1	0	420	420	2.00	1	10	1.9
2	420	1000	580	1.80	1	12	1.6
3	1000	1220	220	2.00	#	15	3
4	1220	2400	1180	2.00	1	10	1.9

V.2.5.2 Les paramètres d'écoulement

Les résultats de la simulation seront représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V 18: Paramètres d'écoulement de la variante canal en mixte

Profil	Débit Q (m ³ /s)	Vitesse (m/s)	Froude	Tirant d'eau (m)	Section Mouillée (m ²)	Périmètre mouillé (m)	Rayon hydraulique (m)	Remarque
1	77.8	6.21	1.96	1.12	12.52	13.18	0.95	régime torrentiel
2	77.8	7.65	2.8	0.79	10.17	14.25	0.71	régime torrentiel
3	77.8	4.55	1.45	1.36	17.09	18.19	0.95	régime torrentiel
4	77.8	6.21	1.96	1.12	12.52	13.18	0.95	régime torrentiel

V.2.4.3 Estimation du coût de la variante

Tableau V 19 : Devis de la variante (canal en gabion).

Désignation des travaux		Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA/ml)
Terrassement		Déblai	m ³ /ml	9.6	2387.86458
		Remblai	m ³ /ml	70.1	14013.8917
Evacuation			m ³ /ml	5.5	1104.41667
Tout venant			m ³ /ml	2.3	2778
Béton arme			m ³ /ml	0.6	19160
Gabion			m ³ /ml	1.1	4950
Béton de propreté			m ³ /ml	0.6	3520
Pierre			m ³ /ml	0.5	2260
Total TTC					50174.1729

V.3 Choix de la variante d'aménagement :

V.3.1 Critères d'évaluation:

Le choix de la variante se fera en fonction de plusieurs critères :

- **Efficacité hydraulique** : correspond au potentiel d'amélioration de la capacité hydraulique que peuvent apporter les mesures.
- **Difficultés de réalisation** : correspond au degré de difficulté de la réalisation technique.
- **Enjeux environnementaux** : ce critère tient compte de l'utilisation du sol au voisinage (zone urbaine, agricole,) et des déficits ou richesses environnementaux actuels.
- **Durabilité** : correspond à la durée de vie de l'aménagement.
- **Entretien** : correspond à l'ampleur et à la fréquence des entretiens nécessaires.
- **Coût** : correspond à l'appréciation du coût de construction.

V.3.2 Le choix de variante :

Les quatre variantes semblent pouvoir évacuer le débit de crue sans débordement mais d'un point de vue financier, les deux variantes : canal en béton armé et canal en gabion seraient rejetées car le coût est plus élevé donc la projection d'un canal mixte ou bien un recalibrage du lit naturel avec recouvrement des berges par des pierres paraît plus économique.

On opte pour la variante d'un canal mixte car :

- ✓ Le gabion est une solution solide et durable.
- ✓ Recalibrage du lit naturel avec recouvrement des berges est le plus économique Formant une belle harmonie dans les zones agricoles.
- ✓ La simplicité de la réalisation.
- ✓ Une bonne perméabilité qui permet un drainage naturel suffisant.
- ✓ Le gabion diminue la vitesse d'eau et dispersé l'énergie.
- ✓ Formant une belle harmonie avec la nature.
- ✓ Le béton plus durable par rapport à l'autre et facile a les entretiens.

En recommandation, on préconise toujours de recouvrir les talus en terre avec des espèces végétales spéciales qui favorise le maintien des talus stables et se cadre avec l'aspect environnementale du projet.

V.4 Les ouvrages annexes

V.4.1 Ouvrages d'accumulation

A l'entrée du canal, on dresse un ouvrage d'accumulation, afin de protéger les parois des canaux et éviter le passage des apports solides.

Cet ouvrage doit être curé après le passage de chaque crue importante.

V.4.2 Ouvrages de rejet

L'ouvrage de rejet permet de protéger les parois des canaux et de déverser les eaux

Collectées dans l'Oued, et pour aussi de dispersé l'énergie d'écoulement

V.4.3 Ouvrage d'art (pont)

L'ancien ouvrage ne permet pas le passage centennal, donc on va proposer une nouvelle dimension qui assure l'écoulement.

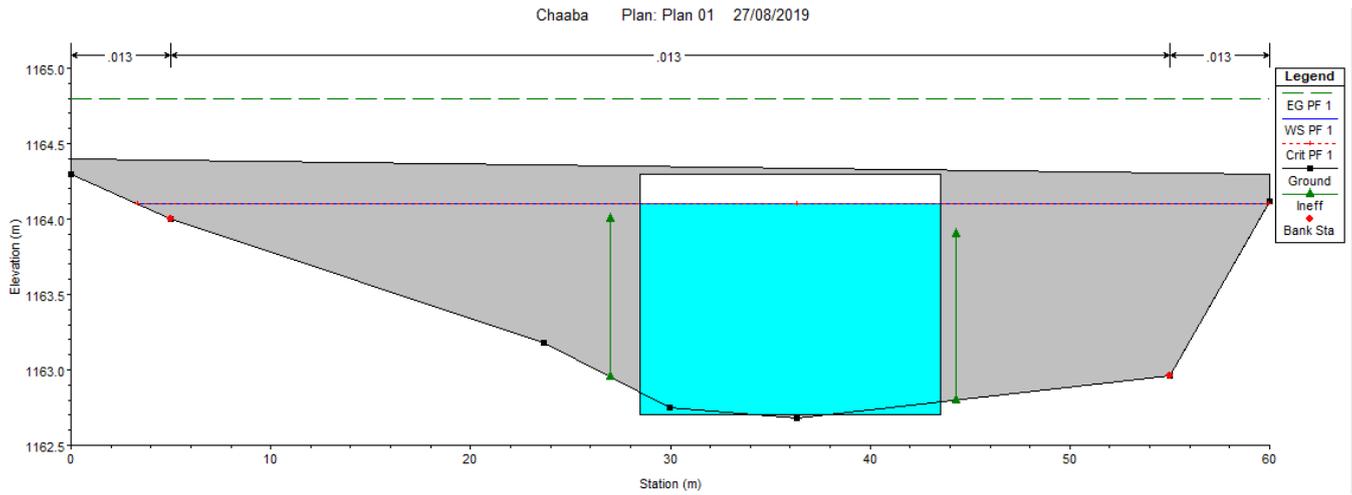


Figure V 7: *Ouvrage d`art (pont) sur la route RN77*

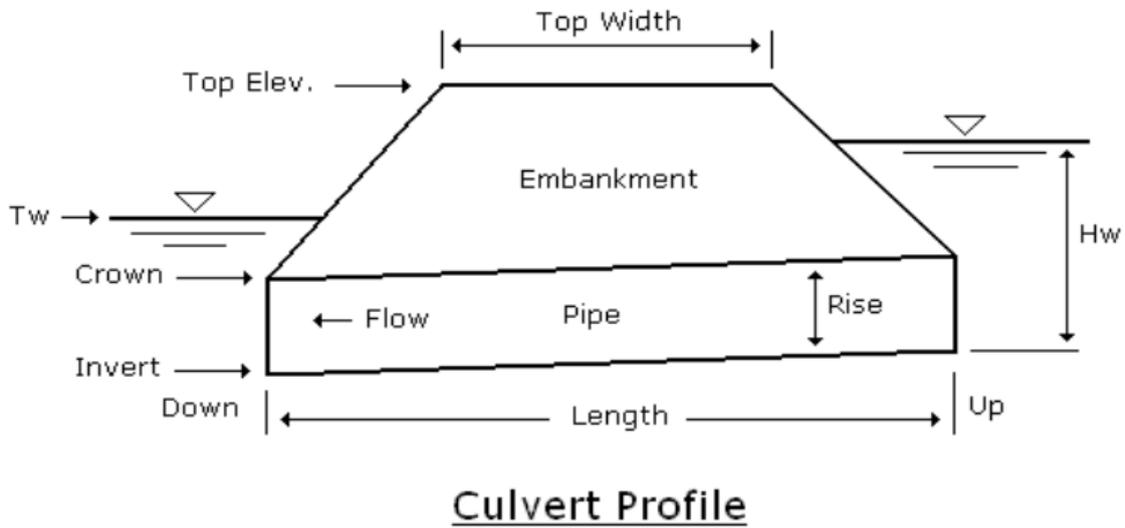


Figure V 6: *Profil ouvrage courant (pont)*

Conclusion :

Au cours de ce chapitre, cinq variantes d'aménagement ont été proposées pour la protection des zones urbaines et agricoles d'Oued Chaaba contre les inondations. Par la suite, une étude technico-économique a été élaborée pour choisir la plus favorable.

Le choix final consiste principalement à la projection d'un canal mixte. En projetant un canal en béton dans la zone urbaine, un canal en gabion pour la protection d'ouvrage et un recalibrage du lit naturel avec recouvrement des berges en dehors de cette zone.



Chapitre VI :

«Organisation de chantier»

Organisation de chantier

Introduction

L'organisation de chantier consiste à déterminer et à coordonner la mise en œuvre des moyens nécessaires pour accomplir dans les meilleures conditions possibles les travaux à exécuter avant d'aller sur chantier et avant le commencement de la réalisation. Pour cela il faut toujours commencer par une étude théorique et ensuite la partie pratique. Dans la première on détermine le temps de réalisation avec précision, le matériel à utiliser, la main d'œuvre nécessaire et les matériaux de construction nécessaires. Dans la deuxième partie on passe à l'exécution des travaux sur terrain.

Organiser un chantier revient donc à calculer tous les éléments ventilés en temps et de prendre toutes les mesures pour que la réalisation du projet se fasse :

- En conformité avec le projet.
- De bonne qualité.
- Au moindre délai.
- Au moindre coût.
- Sans accidents humains

VI.1 Organisation du chantier :

VI.1.1 Rôles et responsabilités des intervenants sur le chantier

Il nous paraît indispensable de rappeler les rôles des différentes personnes amenées à intervenir dans l'acte de construction.

- **Le maître de l'ouvrage :** C'est une personne physique ou morale pour laquelle s'exécutent les travaux, il définit le but à atteindre, et assure le financement.
- **Le maître d'œuvre :** C'est une personne physique ou morale désignée par le maître d'ouvrage pour recevoir l'ouvrage, et assure le contrôle lors d'exécution.
- **L'entreprise :** C'est la réunion des moyens mobiles et immobile et en personnel dont l'objectif est de réaliser les travaux.
- **L'entrepreneur :** C'est une personne physique ou morale, titulaire d'un marché de travaux conclu avec le maître d'ouvrage, chargée de l'exécution des travaux.

VI.1.2 Exécution des travaux:

Les principales opérations à exécuter dans notre projet :

- Installation du chantier.
- Décapage de la terre végétale et ouverture de piste.
- Excavation de la tranchée.
- Compactage sur tronçon 3.
- Mise en œuvre de gabion.
- Le bétonnage
- Déménagement du chantier

VI.1.2.1 Moyens matériels du chantier :

Tableau VI 1: Engins utilisés

Taches	Engins	Image de l'engins	Actions
Travaux de Préparation	Bulldozer		Enlever les obstacles et les herbes. Transport
	Chargeurs		
	Pelles		
	Camions		

Terrassement	Pelles		D'extraction
	Chargeurs		Donner la forme exacte du canal.
	Bulldozer		De réalisation et nettoyage de fossés et de talus
	Niveleuse		
	Camions		
Terrassement	Dumpers		Donner la forme exacte du canal.

Compactage	Tous types de compacteurs à rouleaux lisses		Consolider les berges de l'oued pour éviter l'affaissement.
	Compacteurs à pieds de mouton		

VI.1.3 Devis quantitatif et estimatif du projet :

Les estimations des prix des ouvrages et aménagements donnés :

- ◆ Prix unitaire des terrassements.
- ◆ Prix unitaire de fourniture et pose de (gabionnage, tout venant).

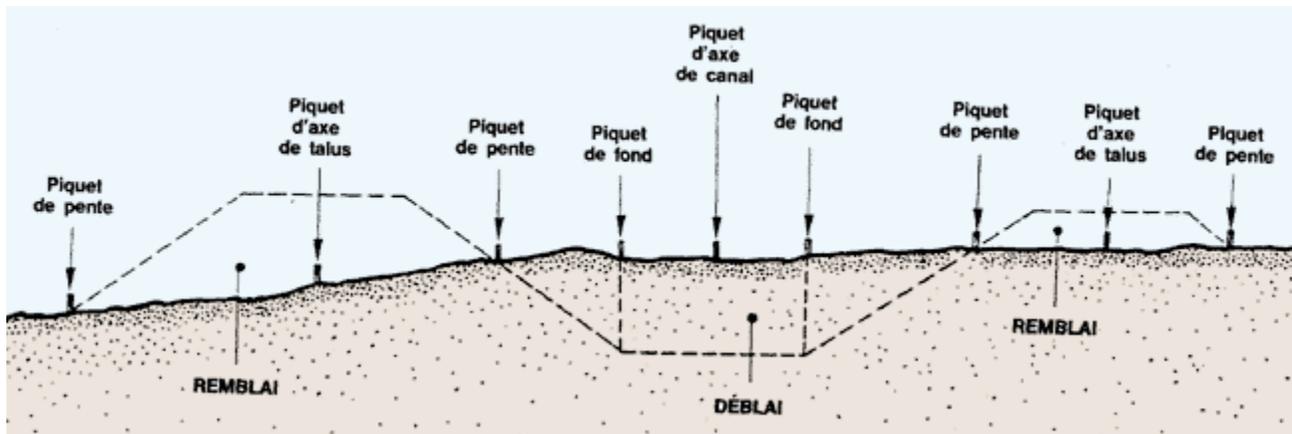


Figure V 1: Coupe type de terrassement

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

Tableau VI 2: *Le devis des différents travaux d'Oued Chaaba*

Désignation des travaux		Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Montant (DA)					
Terrassement	Déblai	m ³	22923.5	250	5730875
	Remblai	m ³	168166.7	200	33633340
Evacuation		m ³	13253	200	2650600
Tout venant		m ³	5556	1200	6667200
Béton arme		m ³	1437	32000	45984000
Gabion		m ³	2640	4500	11880000
Béton de propreté		m ³	1408	6000	8448000
Pierre		m ³	1084.8	5000	5424000
Montant HT					120418015
TVA 19%					2287942.29
Total TTC					122705957

Le devis du projet est estimé à : **cent vingt deux millions sept cent cinq mille Neuf cent cinquante sept dinars algérien.**

VI.1.4 Évaluation des risques :

- Dans les fouilles de tranchées.
- En terrain très accidenté, les engins risquent de se renverser.
- Le danger de collision avec d'autres engins de chantier.
- Des obstacles cachés en creusant une tranchée.
- Le contact direct avec une ligne électrique aérienne peut être dangereux.
- L'exposition quotidienne du conducteur aux vibrations transmises à l'ensemble du corps
- Nombreuses contraintes posturales dues au travail sur sol accidenté.
- Le déplacement des engins sur chantier.
- Des blessures peuvent être occasionnées au cours du changement sur le porte-engins de l'équipement de travail.
- Traumatismes suite à une chute lors de la descente de l'engin.
- Travail aux intempéries (chaleur, froid, vent, givre, pluie)

VI.1.4.1 Protection collective :**1. Ergonomie de l'engin :**

- Sécurisation de l'accès et de la cabine : marchepied antidérapant et échelle d'accès complétée par des poignées ou des mains courantes.
- Cabine insonorisée et climatisée.
- Poste de conduite ergonomique avec siège adapté.
- Entretien régulier de l'engin : les engins de terrassement doivent faire l'objet de vérifications annuelles consignées sur le registre de sécurité.

2. Sécurité du chantier :

- Entretien des pistes de circulation
- Signalisation temporaire et balisage du chantier.
- Plan de circulation du chantier (engins, véhicules légers, piétons)
- Consignes de sécurité propres au chantier précisées aux conducteurs
- Adéquation de l'engin à son usage

VI.1.4.2 Protection individuelle :

- La conduite d'engins de chantier soumet les conducteurs à des vibrations qui, à la longue, peuvent provoquer des problèmes de dos. La récente réglementation impose de limiter l'exposition des travailleurs à ce type de vibrations. Des mesures de prévention peuvent permettre d'éviter des lombalgies qui sont reconnues comme maladies professionnelles. Afin de limiter leur apparition, de nombreuses mesures de prévention peuvent être mise en place : réduction des amplitudes vibratoires, choix du matériel et amélioration des conditions d'utilisation, port d'une ceinture de maintien lombaire.
- Le gilet de signalisation à haute visibilité de classe II fait partie des équipements de protection individuelle et doit être porté en permanence si le personnel travaille à proximité de la circulation



routière.

Figure VI 1: les types des casques de chantier

Tableau VI 3: *Tableau VI 3: Les moyens de protection individuelle*

Moyens de protection individuelle	
Gilet de signalisation	
Gants de manutention	
Casque de protection de la tête.	
Casque de protection auditive	
Botte de sécurité.	
Lunettes de sécurité.	

VI.2 Planification

VI.2.1 Définition

Elle consiste à chercher constamment la meilleure façon d'utiliser avec économie la main d'œuvre et les autres moyens de mise en œuvre pour assurer l'efficacité de l'action à entreprendre, elle consiste en :

- ✓ Installation des postes de travail
- ✓ Observations instantanées
- ✓ Analyse des tâches
- ✓ Chronométrage

- ✓ Définition des objectifs et des attributions
- ✓ Simplification des méthodes
- ✓ Stabilisation des postes de travail.

VI.2.2 Les étapes de la planification

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

- **Collection des informations**

Ces informations concernant les plans d'architecture de la structure, le cahier de charge, la norme de travail, le rendement des engins et les prix des matériaux de constructions.

- **Décomposition de projet en tâches**

Dans cette étape le projet sera décomposé en opérations.

- **Prévoir la relation entre les opérations**

Il existe deux relations essentielles entre les tâches lors de la réalisation ; l'une porte sur un enchaînement logique et l'autre sur un enchaînement préférentiel.

- **Attribution des durées**

Le temps de réalisation de chaque tâche sera calculé par la formule suivante :

$$T = \frac{Q}{N \cdot R} \dots\dots\dots (VI.1)$$

Avec :

- T : temps de réalisation en heures ;
- Q : quantité de travail en (m³, m², m...) ;
- N : La norme de travail, on prend N =7 h/j ;
- R : rendement de travail.

VII.2.3 Les techniques de planification

Il existe deux principales méthodes de planification :

VII.2.3.1 Méthodes basées sur le réseau

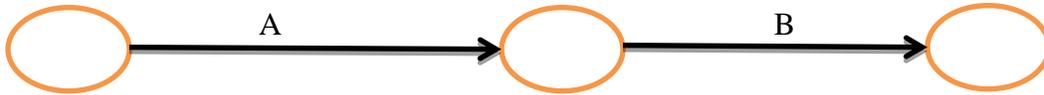
- ✚ **Définition du réseau**

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

On distingue deux types de réseaux :

- **Réseau à flèches**

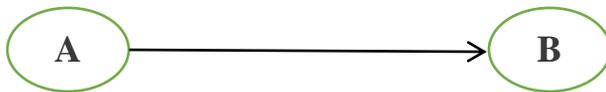
L'opération est représentée par une flèche et la succession des opérations par des nœuds



L'opération **A** précède l'opération **B**.

- **Réseau à nœuds**

L'opération est représentée par un nœud et la succession des opérations par des flèches.



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

✚ Construction du réseau

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

- Etablissement d'une liste des tâches

Il s'agit dans cette première phase de procéder à un inventaire très précis et détaillé de toutes les opérations indispensables à la réalisation d'un projet.

- Détermination des tâches précédentes et succédantes

Après avoir dressé la liste des tâches à effectuer, il n'est pas toujours facile de construire un réseau car il n'est pas aisé de dire si les tâches antérieures doivent être successives ou convergentes.

- Construction des graphes partiels.
- Regroupement des graphes partiels.
- Détermination des tâches de début de l'ouvrage et de fin de l'ouvrage.
- Construction du réseau.
-

Différentes méthodes basées sur le réseau

Nous citons dans cette étude deux méthodes à savoir : la méthode C.P.M (*Critical Path Method*) et la méthode P.E.R.T (Program Evaluation and Review Technical).

- **Méthode du chemin critique (*Critical Path Method : CPM*)**

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

1ère phase : l'effectif nécessaire pour effectuer le travail considéré.

2ème phase : analyser systématiquement le réseau, heure par heure, jour pour jour.

3ème phase : adapter le réseau aux conditions ou contraintes fixées par l'entreprise.

Dans le cas des opérations qui se suivent, il est préférable d'opter pour la méthode C.P.M.

- **Méthode P.E.R.T (*Méthode Américaine-Program Evaluation and Review Technical*)**

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

- **Méthodes basées sur le graphique**

Il existe :

- **Méthode linéaire (*ligne of balance technic*)**

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

- **Méthode à barres**

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

VII.2.4 Les paramètres de la méthode C.P.M

Le calcul se fait en allé et en retour. Pour le calcul d'un réseau à nœuds, le calcul se fait à l'aide d'une grille

La grille est comme suit :

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.

VII.2.5 Les principales lois de la méthode C.P.M

Pour calcul allé on a
$$\begin{cases} DFP_i = DCP_i + TR. \\ DFP_j = DCP_i. \end{cases} \dots\dots\dots (VI.2)$$

Pour la dernière cellule on procède ainsi
$$\begin{cases} DCPP = DCP. \\ DFPP = DFP. \end{cases} \dots\dots\dots (VI.3)$$

Ensuite :

Pour calcul retour on a
$$\begin{cases} DCPP_j = DFPP_i. \\ DCPP_i = DFPP_j - TR. \end{cases} \dots\dots\dots (VI.4)$$

La marge totale :

$$\begin{aligned} MT &= DFPP - DFP. \\ MT &= DCPP - DCP. \end{aligned} \dots\dots\dots(VI.5)$$

La marge totale d'une opération est toujours positive et c'est elle est nulle, on l'appelle la tache critique.

✚ Chemin critique (C.C)

C'est le chemin le plus long qui donne la durée totale du projet (DTP) reliant les opérations possédant la marge totale nulle (0).

On peut avoir deux, ou plusieurs chemins critiques dans un réseau.

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

$$\text{C.C} \Leftrightarrow \begin{cases} \text{MT} = 0. \\ \sum T_{\text{C.C}} = \text{D.T.P.} \end{cases} \dots\dots\dots(\text{VII.6})$$

Dans la méthode P.E.R.T, on utilise des formes géométriques comme le carré et le triangle.

✚ La méthode de Tableau

Il s'agit de faire le calcul en utilisant un tableau conçu pour le calcul de DTP et la définition du chemin et des taches critiques.

✚ Plannings des Travaux

La méthode basée sur le graphique a pour objectif de donner le diagramme de GANTT

Appelé couramment le planning des travaux, C'est la méthode des barres.

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

- Les différentes tâches à envisager
- La date de début et la date de fin de chaque tâche
- La durée escomptée de chaque tâche
- Le chevauchement éventuel des tâches, et la durée de ce chevauchement

- La date de début et la date de fin du projet dans son ensemble

En résumé, un diagramme de Gantt répertorie toutes les tâches à accomplir pour mener le projet à bien, et indique la date à laquelle ces tâches doivent être effectuées (le planning).

Il existe trois types de plan de travail :

- **Plan de travail au plus tôt**

Toutes les opérations commencent à leur date au plus tôt, l'entreprise opte pour ce type de planning lorsqu'elle est riche en moyens et travaille sur plusieurs chantiers.

- **Plan de travail au plus tard**

Toutes les opérations commencent à leur date au plus tard ; les tâches ne sont pas retardées, l'entreprise opte pour ce type de planning quand ses moyens sont limités (plus économique).

- **Plan de travail intermédiaire**

Les opérations commencent à une date intermédiaire, entre date au plus tôt et date au plus tard, l'entreprise opte pour ce type de planning quand elle est riche et travaille sur un seul chantier (moyens parfaits).

VII.2.6 La partie pratique

Avant de commencer il nous faut établir un phasage des travaux, dont plusieurs types de contraintes peuvent intervenir.

- Contraintes techniques d'un point de vue hydraulique ;
- Contraintes techniques du point de vue réalisation génie civil ;
- Importance des enjeux touchés par les inondations ;
- Etalement des coûts d'investissement.

En termes de contraintes hydrauliques, il est conseillé de commencer s'il y a lieu en premier par la construction des ouvrages d'accumulation, et la réalisation des travaux d'aval en amont. Et en termes de génie civil, de prévoir les travaux dans la période de l'année où le niveau d'eau est relativement bas.

Pour la construction du réseau il faut d'abord établir les différentes tâches des travaux. Ces derniers sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau VI 4: *Liste des opérations avec leurs durées.*

Désignation d'opération	Code	Durée (Jours)
Installation du chantier	A	15
Travaux de terrassement sur tronçon 1 et 2	B	45
Compactage sur tronçon 1 et 2	C	20
Recouvrement des berges trancon 1	D	25
Bétonage du trancon 2	E	30
Travaux de terrassement sur tronçon 3 et 4	F	50
Compactage sur tronçon 3 et 4	G	25
Pose de gabion trancon 3	H	60
Recouvrement des berges trancon 4	I	50
Realisation d`ouvrage d`accumulation	J	30
Realisation d`ouvrage de rejet	K	30
Déménagement du chantier	L	15

Dans le tableau suivant on présente chaque tache avec celles qu'elle précède dans le phasage des travaux :

Tableau VI 5: *Succession des taches.*

Opération	Durée (Jours)	Précède
A	15	B
B	45	C
C	20	D,E
D	25	F
E	30	F
F	50	G
G	25	H,I
H	60	K,J
I	50	K
J	30	L
K	30	L
L	15	#

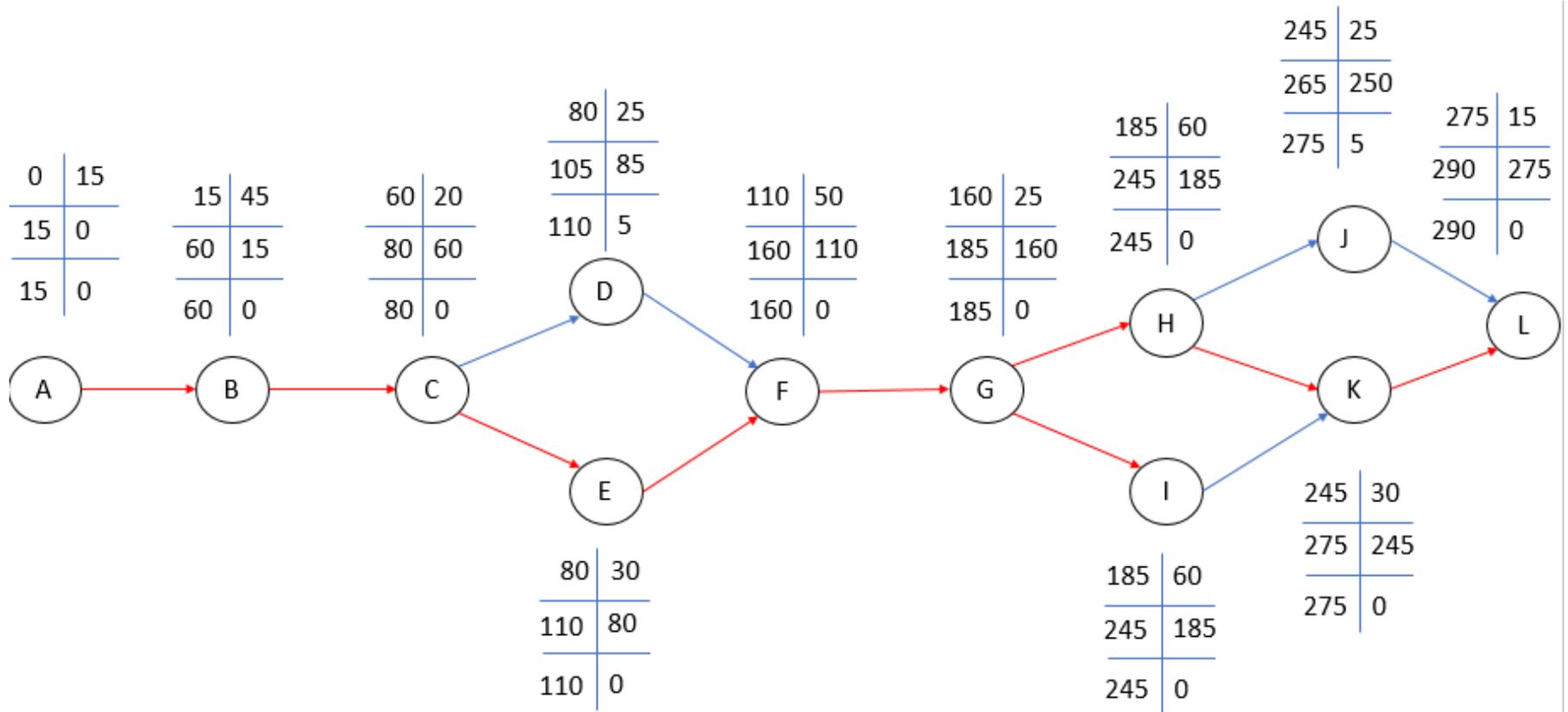
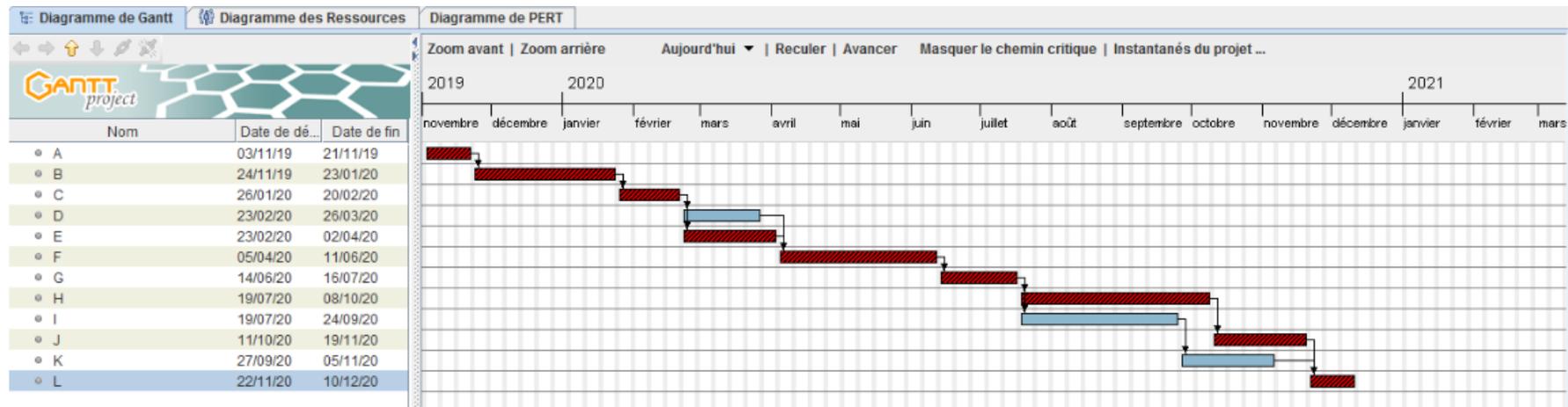


Figure VI 2: Réseau de planification des taches par la méthode CPM



- Chemin critique ;
- Le cheminement des taches.

Figure VI 3: Réseau de planification des taches par la méthode CPM(diagramme de Gant).

Conclusion :

L'exécution d'un ensemble de travaux par gestion rationnelle de temps ; demande conjointement des moyens humains, techniques et matériels, afin d'aboutir à un but ultime qui est la livraison du projet dans les délais prévus, sans sortir des couts d'investissement initiaux. A l'issue de ce volet nous avons pu estimer le cout global du projet d'aménagement d'oued Chaaba est de 122705957.00 DA pour un délai de réalisation de 41 semaines et 03 jours.



«Conclusion Générale»

Conclusion générale

L'importance de l'eau en tant que support de vie et de facteur régulateur du développement d'un pays est universellement reconnue. La protection des sites urbains contre les crues et les inondations est une nécessité indispensable afin de réduire les risques humains, matériels et économiques.

En effet, qui dit protection contre l'inondation, dit sauvegarde du patrimoine, de l'architecture et de la vie humaine. C'est pour ces multiples raisons qu'on a traité ce sujet qui, pour la moindre négligence et pour un minimum d'inattention, risque de porter atteinte à l'homme et à l'environnement dans lequel il évolue.

A travers cette étude, on a pris conscience de la nécessité d'entretenir Oued Chaaba qui traverse la ville de Chaaba, pour mettre fin du problème d'inondation. On a scindé notre travail en trois étapes essentielles.

L'étude hydromorphologique du bassin versant d'Oued Chaaba montre qu'il est d'une forme ramassé caractérisé par un relief assez fort et relativement pentu. Le temps de concentration assez faible rend les crues d'autant plus dangereuses.

Pour l'estimation de la pluie et le débit de crue fréquentiel, le choix s'est porté sur l'utilisation de la loi log normale (Galton) pour la pluie et l'estimation des débits maximales de la région la méthode de Gradex

Un diagnostic de l'état des cours d'eau a été élaborer pour déceler les paramètres de disfonctionnement du cours d'eau en déterminant les zones inondables via des simulations par des codes de calculs hydrauliques.

Alors, il a été constaté, que beaucoup d'endroits de la région d'étude sont susceptibles d'être inondées après l'adoption du scénario de la crue centennale, telles que les habitations proches du cours d'eau ainsi que les routes qui ne sont pas assez surélevées ; ce qui a permis de proposer des solutions à la mesure du problème. Donc, les aménagements sont proposés sous forme de cinq variantes, et après les avoir étudiés techniquement et économiquement, nous avons pu ressortir la plus adéquate qui est celle avec des canaux, en béton, pierre maçonnerie et de gabion, qui permettent une évacuation rapide de la crue et qui sont répartis comme suit : le premier tronçon est un recalibrage du lit naturel avec recouvrement des berges. Le deuxième tronçon est sous forme d'un canal en béton, le troisième c'est de gabion et le dernière un traçons avec les mêmes caractéristiques que premier.

Le projet de réalisation de l'aménagement s'étale sur un délai de 42 semaines, pour un coût de deux cents millions de Dinars Algériens.

En définitive, pour assurer la durabilité et le bon fonctionnement de nos ouvrages, les travaux d'entretien et de maintenance sont essentiels pour pérenniser l'aménagement et assurer qu'il remplit sa fonction en évacuant les débits de crues dans de bonnes conditions.

Références bibliographiques

- Belkhiri K., 2006.** Contrôle Rapide des Structures en Relation avec le Risque et Evaluation
- BOUAÏCHI I., TOUAÏBIA B., et DERNOUNI F.** Approche méthodologique de calcul du débit pluvial en cas d'insuffisance de données. Cas de la région de Tipaza. Algérie. Revue semestrielle scientifique et technique ; Le Journal de l'Eau et de L'environnement.
- Chisholm, P.S.; R.W. Irwin et C.J. Acton;** 1984. Interpretation of soil drainage groups from soil
- DEGOUTTE G.** Diagnostique aménagement et gestion des rivières-hydraulique et morphologie fluviale appliquées. Collection Tec & Doc. Paris. France. 394p 2006.
- DEGOUTTE, G.** Aide-mémoire d'hydraulique a surface libre, Edition ENGREF, 66 p 2006.
- des Dommages Causés par une Catastrophe Naturelle : cas de séisme .Mémoire de Magister, frequency in northern Algeria. Journal of Hydrology and Technology, Vol 7, No.1, 2017.
- H.Haroune,** Etude d'aménagement de oued Yllet et ses affluents pourcommunes de Yellel (W.Ghilizane).2018.
- LAHLAH. Salah, les inondations en algerie** Ingénieur Hydrologue, chef de section. ANRH. ALGER décembre 2004
- LENCASTRE A.** Hydraulique Générale, édition Paris 1996.
- M.Hanif Chaudhry,** Open-Channel Flow, Second Edition, 2014.
- Meddi M., Toumi,S,** Application of the L-moments approach to the analysis of regional flood
- NRCS.** Urban Hydrology for sma l l watersheds, TR-55. NRCS. Conservation engineering division. USA.163p 1986.
- Soil conservation service (SCS).**National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology. SCS Department of Agriculture. Washington, Etat-Unis 1972.

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

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

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

Université El Hadj Lakhder, Batna, 121 p.

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

Annexe 1

Tableau 1: Résultats de la simulation à l'état naturel sur HEC-RAS

Section	Q (m ³ /s)	Fond du canal (m)	Altitude ligne d'eau (m)	Altitude de la ligne d'énergie	Pente ligne d'énergie (%)	V _{éc} (m/s)	S _{mouillé} (m ²)	Largeur au meroir	Nombre de froude
3002.7	77.8	1122	1122.71	1123	0.19%	2.34	33.47	60	0.98
3000	77.8	1122.01	1122.76	1123.04	0.19%	2.36	33.35	60	0.99
2980	77.8	1122.12	1123.04	1123.32	0.18%	2.39	33.58	60	0.96
2960	77.8	1122.15	1123.22	1123.53	0.19%	2.49	31.87	52.55	1
2940	77.8	1121.94	1123.12	1123.49	0.23%	2.71	28.73	46.28	1.1
2920	77.8	1121.95	1123.23	1123.57	0.19%	2.59	30.08	46.22	1.01
2900	77.8	1122.42	1123.61	1123.94	0.18%	2.55	31.06	48.69	0.99
2880	77.8	1122.76	1123.85	1124.18	0.18%	2.54	31.26	48.88	0.99
2860	77.8	1122.92	1123.98	1124.29	0.19%	2.5	31.72	51.42	0.99
2840	77.8	1123.08	1124.05	1124.35	0.19%	2.43	32.77	58.06	0.98
2820	77.8	1123.24	1124.16	1124.46	0.20%	2.4	32.21	55.4	1.01
2800	77.8	1123.95	1124.87	1125.18	0.20%	2.48	31.34	50.49	1.01
2780	77.8	1124.92	1125.99	1126.25	0.16%	2.09	35.89	64.41	0.89
2760	77.8	1126.14	1127.02	1127.3	0.20%	2.21	33.72	60	0.98
2740	77.8	1126.52	1127.38	1127.66	0.20%	2.24	33.68	60	0.98
2720	77.8	1126.44	1127.35	1127.65	0.21%	2.23	32.8	60	1.01
2700	77.8	1125.89	1126.22	1127.46	2.30%	4.87	15.98	60	2.99
2680	77.8	1125.49	1125.94	1127.03	1.63%	4.5	16.9	52.44	2.58
2660	77.8	1126.3	1127.15	1127.46	0.20%	2.45	31.58	52	1.01
2640	77.8	1127.17	1128.04	1128.36	0.20%	2.48	30.81	47.69	1.01
2620	77.8	1128.94	1129.55	1129.83	0.20%	2.36	33.41	60	1.01
2600	77.8	1130.32	1130.96	1131.23	0.21%	2.31	33.39	60	1
2580	77.8	1130.68	1131.6	1131.88	0.19%	2.26	33.74	60	0.98
2560	77.8	1131.05	1132.2	1132.47	0.16%	2.13	34.82	60	0.9
2540	77.8	1131.38	1132.5	1132.85	0.20%	2.42	30.37	47.53	1.01
2520	77.8	1131.81	1132.78	1133.07	0.19%	2.32	32.77	57.76	0.98
2500	77.8	1132.19	1132.91	1133.19	0.19%	2.38	33.35	60	0.99
2480	77.8	1132.15	1133.05	1133.38	0.19%	2.48	30.65	45.99	0.99
2460	77.8	1132.03	1133.04	1133.4	0.19%	2.55	29.54	41.35	1
2440	77.8	1131.9	1132.82	1133.34	0.30%	3.05	24.59	36.99	1.24
2420	77.8	1131.6	1132.3	1133.21	0.72%	4.19	18.42	34.78	1.86
2400	77.8	1131.63	1132.2	1133.02	1.01%	4.05	19.7	59.93	2.1
2380	77.8	1132.01	1132.72	1133	0.18%	2.38	33.68	60	0.97
2360	77.8	1132.24	1133.1	1133.4	0.20%	2.43	32.39	56.98	1.01

2340	77.8	1133.1	1133.96	1134.24	0.19%	2.4	33.6	60	0.98
2320	77.8	1133.99	1134.83	1135.12	0.20%	2.44	32.44	57.26	1.01
2300	77.8	1135.03	1135.79	1136.08	0.20%	2.37	32.63	57.78	1
2280	77.8	1135.5	1136.34	1136.66	0.20%	2.43	31.41	50.51	1
2260	77.8	1135.36	1136.18	1136.6	0.34%	2.87	27.25	52.7	1.27
2240	77.8	1135.64	1136.41	1136.69	0.19%	2.41	33.29	59.43	0.98
2220	77.8	1136.02	1136.8	1137.09	0.18%	2.4	33.29	59.37	0.97
2200	77.8	1136.53	1137.24	1137.53	0.18%	2.43	32.66	56.36	0.98
2180	77.8	1136.86	1137.66	1137.96	0.19%	2.43	32.64	54.95	0.98
2160	77.8	1137.52	1138.35	1138.65	0.20%	2.45	32.15	54.22	1.01
2140	77.8	1138.46	1139.29	1139.59	0.20%	2.46	32.13	54.21	1.01
2120	77.8	1139.56	1140.26	1140.55	0.19%	2.41	32.91	57.67	0.99
2100	77.8	1140.47	1141.17	1141.45	0.20%	2.36	33.46	60	1
2080	77.8	1141.34	1141.95	1142.23	0.20%	2.38	33.33	60	1.01
2060	77.8	1141.84	1142.51	1142.79	0.20%	2.39	33.32	60	1.01
2040	77.8	1142	1142.73	1143.02	0.19%	2.34	33.43	60	0.98
2020	77.8	1142	1142.83	1143.11	0.19%	2.31	33.43	60	0.97
2000	77.8	1142.09	1143.07	1143.36	0.19%	2.27	32.87	55.49	0.97
1980	77.8	1142.25	1143.48	1143.81	0.17%	2.29	31.58	46.91	0.94
1960	77.8	1143.27	1144.19	1144.48	0.19%	2.31	32.63	54.43	0.98
1940	77.8	1143.84	1144.57	1144.85	0.20%	2.39	33.28	60	1.01
1920	77.8	1144.03	1144.62	1144.9	0.21%	2.36	33.22	60	1.02
1900	77.8	1144.03	1144.72	1145	0.21%	2.33	33.23	60	1.01
1880	77.8	1144.1	1145.13	1145.41	0.17%	2.14	34.87	60	0.91
1860	77.8	1144	1145.3	1145.7	0.18%	2.65	28.2	36.38	1
1840	77.8	1144.39	1145.73	1146.12	0.19%	2.74	28.16	36.98	1.02
1820	77.8	1145.14	1146.42	1146.78	0.19%	2.67	29.56	42.38	1.01
1800	77.8	1146.11	1147.14	1147.43	0.19%	2.41	33.15	59.68	0.98
1780	77.8	1147.01	1147.77	1148.07	0.20%	2.42	32.12	54.02	1.01
1760	77.8	1146.75	1147.74	1148.07	0.19%	2.55	31.15	48.69	0.99
1740	77.8	1146.06	1147.2	1147.97	0.50%	3.87	20.09	33.33	1.59
1720	77.8	1146.34	1147.76	1148.12	0.19%	2.67	29.15	40.97	1.01
1700	77.8	1146.72	1148.12	1148.48	0.19%	2.66	29.29	41.59	1.01
1680	77.8	1148.04	1149.28	1149.62	0.18%	2.6	30.48	46.32	0.99
1660	77.8	1149.34	1150.44	1150.76	0.18%	2.54	31.27	48.84	0.99
1640	77.8	1150.65	1151.57	1151.87	0.20%	2.43	32.19	54.63	1.01
1620	77.8	1151.59	1152.47	1152.76	0.19%	2.29	33.02	58.16	0.98
1600	77.8	1151.97	1152.7	1153	0.19%	2.25	32.56	54.78	0.98
1580	77.8	1152.32	1153.26	1153.61	0.19%	2.53	29.99	43.7	1
1560	77.8	1153.13	1154.27	1154.68	0.18%	2.72	27.64	34.1	1
1540	77.8	1152.39	1153.21	1154.52	0.87%	4.63	15.66	26.9	2.05
1520	77.8	1153.26	1154.37	1154.68	0.18%	2.28	32.12	49.8	0.95

1500	77.8	1153.85	1154.89	1155.22	0.19%	2.58	30.82	47.31	1
------	------	---------	---------	---------	-------	------	-------	-------	---

Section	Q (m ³ /s)	Fond du canal (m)	Altitude ligne d'eau (m)	Altitude de la ligne d'énergie	Pente ligne d'énergie (%)	V _{éc} (m/s)	S _{moûillé} (m ²)	Largeur au meroir	Nombre de froude
1480	77.8	1153.87	1154.76	1155.17	0.25%	2.87	27.64	44.39	1.14
1460	77.8	1152.99	1153.9	1155.01	0.93%	4.66	16.69	33.53	2.11
1440	77.8	1153.65	1155.2	1155.62	0.18%	2.87	27.12	33.2	1.01
1420	77.8	1154.71	1155.75	1156.07	0.19%	2.53	30.93	50.02	1
1400	77.8	1155.72	1156.89	1157.19	0.20%	2.46	32.17	54.38	1.01
1380	77.8	1155.97	1156.83	1157.15	0.22%	2.53	31.4	58.91	1.05
1360	77.8	1155.92	1156.64	1157.09	0.34%	3.03	26.65	52.35	1.29
1340	77.8	1156.08	1156.98	1157.3	0.20%	2.52	31.15	49.44	1.01
1320	77.8	1155.76	1156.97	1157.31	0.19%	2.58	30.39	47.25	1
1300	77.8	1157	1158.25	1158.57	0.18%	2.53	31.34	49.06	0.98
1280	77.8	1158.22	1159.39	1159.78	0.19%	2.8	28.19	36.33	1.01
1260	77.8	1159.31	1160.24	1160.63	0.19%	2.64	28.46	37.39	1
1240	77.8	1160.12	1161.28	1161.65	0.18%	2.52	29.16	38.42	0.97
1220	77.8	1161.18	1162.21	1162.48	0.17%	2.14	35.29	63.56	0.91
1200	77.8	1162	1162.77	1163.07	0.20%	2.39	32.27	54.81	1.01
1180	77.8	1162	1162.83	1163.13	0.20%	2.43	32.07	54.05	1.01
1160	77.8	1162	1162.97	1163.26	0.20%	2.43	32.73	59.05	1
1140	77.8	1162	1163.1	1163.42	0.19%	2.51	31.57	51.06	0.99
1120	77.8	1162.28	1163.36	1163.69	0.18%	2.6	30.64	46.2	0.99
1100	77.8	1162.68	1164	1164.15	0.06%	1.69	46.85	54.55	0.57
1080	77.8	1163.08	1164.01	1164.83	0.44%	4.01	19.41	44.54	1.53
1060	77.8	1163.17	1163.78	1164.69	0.96%	3.99	18.64	45.34	2.05
1040	77.8	1162.75	1163.17	1164.39	2.03%	4.68	16.1	55.35	2.83
1020	77.8	1163.53	1164.15	1164.43	0.21%	2.37	33.31	60	1.01
1000	77.8	1164.33	1164.98	1165.26	0.20%	2.37	33.33	60	1
980	77.8	1164.72	1165.44	1165.72	0.19%	2.34	33.54	60	0.98
960	77.8	1164.39	1165.06	1165.63	0.56%	3.13	23.68	56.53	1.58
940	77.8	1165.26	1166.02	1166.3	0.19%	2.33	33.54	60	0.98
920	77.8	1166.59	1167.31	1167.59	0.19%	2.36	33.1	60	0.99
900	77.8	1167.86	1168.61	1168.89	0.19%	2.37	33.14	60	0.99
880	77.8	1169.05	1169.99	1170.3	0.19%	2.5	31.66	50.9	1
860	77.8	1170	1171	1171.33	0.19%	2.57	30.81	47.76	1.01
840	77.8	1170	1170.97	1171.3	0.20%	2.56	30.83	49.2	1.02
820	77.8	1170	1170.93	1171.28	0.23%	2.64	29.88	49.48	1.08
800	77.8	1170	1170.88	1171.27	0.26%	2.8	28.2	48.27	1.16
780	77.8	1170.33	1171.17	1171.49	0.20%	2.52	31.26	50.14	1.01

760	77.8	1171.17	1171.93	1172.22	0.19%	2.37	32.97	60	0.99
740	77.8	1172.1	1172.84	1173.12	0.20%	2.38	33.39	60	1
720	77.8	1173.26	1174.03	1174.31	0.19%	2.32	33.69	60	0.98
700	77.8	1174.22	1175.04	1175.32	0.19%	2.3	33.61	60	0.98
680	77.8	1174.58	1175.94	1176.2	0.14%	1.96	36.31	60	0.82
660	77.8	1175.01	1176.33	1176.6	0.14%	1.98	36.19	60	0.83
640	77.8	1175.74	1176.53	1176.81	0.19%	2.31	33.54	60	0.97
620	77.8	1176.08	1176.91	1177.19	0.19%	2.4	33.49	60	0.98
600	77.8	1176.18	1177.3	1177.6	0.20%	2.45	32.25	57.25	1.01
580	77.8	1176.62	1177.75	1178.06	0.20%	2.46	31.44	51.29	1.01
560	77.8	1177.54	1178.43	1178.71	0.19%	2.4	33.54	60	0.99
540	77.8	1178.57	1179.35	1179.63	0.19%	2.37	33.47	60	0.99
520	77.8	1179.53	1180.34	1180.62	0.20%	2.3	33.61	60	0.99
500	77.8	1179.9	1180.48	1180.76	0.21%	2.38	33.22	60	1.02
480	77.8	1179.72	1180.24	1180.68	0.42%	2.95	26.72	60	1.4
460	77.8	1179.47	1180.11	1180.59	0.46%	3.07	25.45	60	1.46
440	77.8	1179.14	1179.85	1180.47	0.62%	3.51	22.29	50.63	1.69
420	77.8	1179.25	1180.24	1180.57	0.19%	2.5	30.59	46.34	1
400	77.8	1179.68	1180.58	1180.92	0.20%	2.55	30.13	44.88	1.01
380	77.8	1179.92	1180.77	1181.07	0.20%	2.38	32.21	54.31	1
360	77.8	1180.09	1181.14	1181.43	0.19%	2.45	32.52	57.09	0.99
340	77.8	1181.56	1182.35	1182.64	0.18%	2.4	33.36	59.55	0.96
320	77.8	1182.89	1183.7	1184.01	0.20%	2.49	31.67	51.72	1.01
300	77.8	1183.85	1184.69	1185.02	0.19%	2.56	31	47.88	1
280	77.8	1183.96	1185.12	1185.47	0.18%	2.6	30.24	44.78	0.98
260	77.8	1184.57	1185.59	1185.89	0.18%	2.44	32.46	54.89	0.97
240	77.8	1185.43	1186.23	1186.52	0.18%	2.4	33.34	58.79	0.96
220	77.8	1186.23	1187.15	1187.46	0.19%	2.5	31.64	51.23	1
200	77.8	1186.11	1187.21	1187.57	0.18%	2.69	29.62	41.34	0.98
180	77.8	1186	1187.05	1187.52	0.25%	3.1	25.73	37.18	1.16
160	77.8	1185.85	1186.77	1187.43	0.51%	3.62	21.69	42.51	1.58
140	77.8	1185.5	1187.05	1187.44	0.18%	2.77	28.5	38.73	1
120	77.8	1186.05	1187.12	1187.46	0.19%	2.56	30.34	46.09	1.01
100	77.8	1186.63	1187.71	1188.06	0.18%	2.63	30.25	44.33	0.98
80	77.8	1188.08	1189.01	1189.34	0.18%	2.58	30.87	46.73	0.99
60	77.8	1188.1	1189.3	1189.69	0.18%	2.55	28.82	37.26	0.97
40	77.8	1189	1190.43	1190.85	0.19%	2.87	27.15	33.04	1.01
20	77.8	1190	1191.98	1192.51	0.17%	3.21	24.21	23.62	1.01
0	77.8	1191.67	1192.72	1193.06	0.19%	2.61	30.42	45.39	1

Les profils pédologiques

Profil n° : 1

Date de description et d'échantillonnage : 27 décembre 2005

Lieu : Hamla

Coordonnées : x = 235 000 ; y = 3 936 120

Pente : 2 à 3 %

Géomorphologie : Glacis-terrasse

Aspect de surface : nombreux éléments grossiers de taille et forme différentes

Drainage externe : bon

Signe d'érosion : néant

Culture en place : céréales

Facteur limitant externe : éléments grossiers qui deviennent de moins en moins nombreux vers l'aval.

Facteur limitant intrinsèque : néant.

Classification CPCS (1967):

- Classe : Sol peu évolué
- S/classe : non climatique
- Groupe : d'apport alluvial
- S/groupe : modal

Description

H1 : 0 – 30 cm : Frais ; couleur 7,5 YR/4/5 ; texture argilo-limoneuse ; structure polyédrique subangulaire fine à moyenne ; présence d'environ 5 % d'éléments grossiers ; forte effervescence à l'HCL ; apparemment organique ; poreux ; meuble ; friable ; plastique ; présence de racines fines ; transition nette.

H2 : 30 – 65 : Sec ; couleur 7,5 YR 4/5 ; texture argileuse ; structure massive ; quelques éléments grossiers dans la matrice ; présence d'un niveau graveleux de 5 à 6 cm d'épaisseur au sommet ; forte effervescence à l'HCl ; apparemment non organique ; poreux ; compact ; dur ; non fragile ; plastique ; collant ; progressive.

H3 : > 65 cm : Sec ; couleur 7,5 YR 3/5 ; texture argileuse ; structure massive ; présence d'un lit caillouteux à la base de l'horizon ; apparemment non organique ; compact ; dur ; non friable ; plastique ; collant ; quelques racines très fines.

Remarque : sol profond développé sur un encroûtement calcaire.

Tableau 2: Résultats des analyses des échantillons de sol du profil 1.

Profondeur (cm)		0 - 30	30 - 65	> 65
Granulométrie	Argile %	40	39	13
	Limons fins %	33	31	29
	Limons grossiers %	11	10	11
	Sables fins %	8	11	10
	Sables grossiers %	8	8	9
Matière organique	C %	1,23	0,9	0,8
	MO %	1,9	1,3	1,3
	N %	0,15	0,11	0,09
	C/N	9	8	10
Calcaire total %		18	17	23
Calcaire actif %		4	5	
PH		7,3	7,5	7,2
CE dS/m		1,7	1,2	1,3
CEC Cmol/kg	Ca	17	15	16
	Mg	1	9	5
	K	2	2	4
	Na	1	1	2
	S	24	26	25
	T	24	26	25
	S/T	100	100	100
Densité réelle		2,43	2,48	2,43
Densité apparente		1,44	1,41	1,46
pF (H %)	2	-	-	-
	2,5	27,2	29,3	30,1
	3			
	4,2	8,2	9,7	9,9
P ₂ O ₅ assimilable ppm		31	-	-
K assimilable Cmol/kg		2	-	-

Profil n° : 2

Date de description et d'échantillonnage : 27 décembre 2005

Lieu : Lambiridi

Coordonnées : x = 234 794 ; y = 3 933 639

Pente : moins de 1 %

Géomorphologie : terrasse alluviale

Aspect de surface : pas d'éléments grossiers

Drainage externe : bon

Signe d'érosion : néant

Culture en place : céréales

Facteur limitant externe : néant

Facteur limitant intrinsèque : néant

Classification CPCS (1967):

- Classe : Sol peu évolué
- S/classe : non climatique
- Groupe : d'apport alluvial
- S/groupe : à caractères vertiques

Description

H1 : 0 – 25 cm : Frais ; couleur 7,5 YR 5/4 ; texture argilo-limoneuse ; structure grumeleuse à polyédrique subangulaire fine ; pas d'éléments grossiers ; forte effervescence à l'HCl ; organique ; poreux ; meuble ; friable ; peu plastique ; quelques racines fines ; Transition nette.

H2 : 25 – 75 : Sec ; couleur 7,5 YR 4/4 ; texture argileuse ; structure massive ; pas d'éléments grossiers ; forte effervescence à l'HCl ; apparemment non organique ; compact ; présence de fissures ; dur (non fragile) ; très collant ; plastique ; pas de racines ; transition progressive.

H3 : > 75 : Sec ; couleur 7,5 YR 3,5/4 ; texture argileuse ; structure massive ; pas d'éléments grossiers ; forte effervescence à l'HCl ; non organique ; très peu poreux ; collant, plastique.

Remarque : Sol profond ; présence d'une semelle de labour ; fentes de retrait larges et relativement profondes.

Tableau 3: Résultats des analyses des échantillons de sol du profil 2.

Profondeur (cm)		0 - 25	25 - 70	> 70
Granulométrie	Argile %	40	45	48
	Limons fins %	34	32	30
	Limons grossiers %	10	8	7
	Sables fins %	4	9	8
	Sables grossiers %	12	6	7
Matière organique	C %	1,3	0,8	0,6
	MO %	1,9	1,3	1,3
	N %	0,18	0,11	0,08
	C/N	9	8	10
Calcaire total %		18	15	15
Calcaire actif %		3	4	3
PH		7,2	7,5	7,2
CE dS/m		1,4	1,8	0,9
CEC Cmol/kg	Ca	15	14	15
	Mg	6	9	7
	K	2	3	3
	Na	1	1	2
	S	24	26	25
	T	24	26	25
	S/T	100	100	100
Densité réelle		2,61	2,61	2,62
Densité apparente		1,65	1,54	1,38
pF (H %)	2	-	-	-
	2,5	22,5	22,4	24,1
	3	-	-	-
	4,2	9,2	11,2	10,6
P ₂ O ₅ assimilable ppm		30	-	-
K assimilable Cmol/kg		2	-	-

Tableau 4 :La série pluviométrique (précipitations maximales journalières) de la station de AIN YAGOUT :

n	Année	Pmax (mm)
1	1973/74	48
2	1974/75	26,3
3	1975/76	27,4
4	1976/77	20,5
5	1977/78	35,1
6	1978/79	46,9
7	1979/80	40,5
8	1980/81	27,7
9	1981/82	47,1
10	1982/83	68,6
11	1983/84	49,5
12	1984/85	41,9
13	1985/86	36,9
14	1986/87	41,2
15	1987/88	79,6
16	1988/89	56,1
17	1989/90	26,3
18	1990/91	29,4
19	1991/92	36,2
20	1992/93	29,8
21	1993/94	42,5
22	1994/95	16,7
23	1995/96	17
24	1996/97	50,2
25	1997/98	13,7
26	1998/99	15,7
27	1999/00	25,5
28	2000/01	23,7
29	2001/02	36,5
30	2002/03	40,2
31	2003/04	66,1
32	2004/05	16,8
33	2005/06	16,5
34	2006/07	45,2
35	2007/08	42,5
36	2008/09	42,5
37	2009/10	20,6
38	2010/11	23
39	2011/12	24,2
40	2012/13	26,5

Tableau 5 : La série de debit de crue maximale et des apports de la station feddis (oued maadher) :

Annees	Q crue max (m3/s)	Apport (Hm3)
1969/1970	5,305	-
1970/1971	311	-
1971/1972	<i>194.01</i>	-
1972/1973	<i>3.05</i>	12.30
1973/1974	<i>16.21</i>	6.62
74/1975	<i>28.51</i>	5.79
75/1976	<i>28,06</i>	7.52
76/1977	<i>214.01</i>	14.14
77/1978	101,12	13.95
78/1979	287,00	15,30
79/1980	192,80	13,42
80/1981	83,30	12,80
81/1982	311,00	14,54
82/1983	302,60	25,87
83/1984	299,00	13,29
84/1985	29,59	-