

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

NATIONAL HIGHER SCHOOL FOR  
HYDRAULICS

"The MujahidAbdellah ARBAOUI"



المدرسة الوطنية العليا للري  
"المجاهد عبد الله مرباوي"

ⵎⵓⵔ ⵏ ⵓⵎⵎⵓⵔ ⵏ ⵓⵎⵎⵓⵔ ⵏ ⵓⵎⵎⵓⵔ ⵏ ⵓⵎⵎⵓⵔ

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

**Option: CONCEPTION DES OUVRAGES HYDROTECHNIQUES**

**THEME :**

**Aménagement des oueds Alyem et Aouaoudja pour la protection de la ville de Beni Slimane sud (W. de Médéa) contre les inondations**

**Présenté par :**

**DOULACHE Lamisse**

**Devant les membres du jury**

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
HADJ SADOK Ahmed	Professeur	Président
ZAIBAK Issam	M.C.B	Examineur
BOUZIANE Mamar	M.A.A	Examineur
HEBBOUCHE Abd El Hamid	M.C.A	Promoteur

**Session Septembre 2024**

## ***Dédicace***

*Du plus profond de mon cœur, je tiens à dédier ce travail en signe d'amour, de respect et de profonde gratitude*

***À mes parents,***

*Rachide et Hadjira*

*Pour leur amour inconditionnel, leur soutien sans faille, et leurs sacrifices constants qui m'ont permis de réaliser ce projet. Vous êtes ma source d'inspiration et ma force. Que ce travail soit le reflet de tous vos efforts et de votre bienveillance. Que Dieu vous bénisse et vous protège toujours.*

***À mes frères et sœurs,***

*Mouhamed Amine, Imane, Fadwa et Rawnak*

*Pour leur présence, leur encouragement et leur soutien tout au long de ce parcours.*

***À mes ami(e)s,***

*Ahlem, Chourouk, Wafa, Nahida, Ferial, Sanaa, Widad, Linda, Aymen*

*Pour leurs conseils, leur écoute et leur soutien dans les moments de doute et de difficulté. Vous avez été une part essentielle de cette réussite.*

***À tous mes professeurs et mentors,***

*Pour leur dévouement à mon éducation et leur précieuse contribution à ma formation.*

***À tous ceux, proches ou lointains,***

*Qui ont cru en moi et m'ont encouragé, même par un simple mot de soutien.*

***Lamisse***

## Remerciements

À l'issue de ce travail, résultat de plusieurs années d'efforts et de persévérance, je tiens à exprimer, avant tout, ma profonde gratitude à Dieu, qui m'a offert la force, la sagesse et les opportunités nécessaires à l'accomplissement de ce projet.

Je souhaite témoigner ma reconnaissance à mon encadrant, **M. HEBBOUCHE Abd El Hamid**, pour son soutien inestimable, sa disponibilité et ses précieux conseils. Son accompagnement bienveillant et ses orientations ont été essentiels à chaque étape de l'élaboration de ce mémoire.

Je remercie également les membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en acceptant d'évaluer ce travail. Leur expertise et leur temps sont profondément appréciés.

Je tiens à adresser mes remerciements les plus sincères à l'ensemble des enseignants et du personnel de l'École Nationale Supérieure de l'Hydraulique (ENSH), avec une mention particulière pour **Mr. ZEROUAL Ayoub**, pour leur rôle clé dans ma formation.

Enfin, je n'oublie pas de remercier chaleureusement mes amis et toutes les personnes, de près ou de loin, qui ont contribué à la réussite de ce travail par leurs encouragements et leur soutien.

## ملخص

تركز دراستنا على الحماية من الفيضانات في مدينة بني سليمان، الواقعة في ولاية المدية، والتي تتعرض بانتظام لتهديد الفيضانات الناتجة عن وادي "عليم" و"عواوجة". تشكل هذه الفيضانات خطرًا كبيرًا على السكان المحليين، مما دفعنا إلى اقتراح نظام لتطوير مجاري الأودية. لتحقيق هذا الهدف، اعتمدنا على عدة تخصصات. أولاً، أجرينا دراسة هيدرولوجية معمقة لتحليل الهطولات المطرية وتحديد تدفقات الفيضانات. ثم قمنا بدراسة طبوغرافية وهيدروليكية، بالإضافة إلى محاكاة التدفقات باستخدام برنامج HEC RAS بهدف نمذجة الجريان واقتراح الحلول المناسبة.

**الكلمات المفتاحية:** ولاية المدية، وادي عليم، وادي عواوجة، محاكاة التدفقات، برنامج HEC-RAS

### Résumé :

Notre étude porte sur la protection contre les inondations dans la ville de Beni Slimane, située dans la wilaya de Médéa, régulièrement menacée par les crues des oueds « Alyem » et « Aouaoudja ». Ces événements représentent un danger majeur pour la population locale, d'où la nécessité de mettre en place un système d'aménagement des cours d'eau. Pour ce faire, nous avons intégré plusieurs disciplines. Tout d'abord, une étude hydrologique approfondie a permis d'analyser les précipitations et de quantifier les débits de crue. Par la suite, une analyse topographique et hydraulique, couplée à des simulations réalisées avec le logiciel HEC-RAS, a été menée pour modéliser les écoulements et proposer des solutions adaptées.

**Mots clés :** wilaya de Médéa, oueds « Alyem », oueds « Aouaoudja », simulations réalisées avec le logiciel HEC-RAS, logiciel HEC-RAS.

### Abstract:

Our study focuses on flood protection in the city of Beni Slimane, located in the wilaya of Medea, which is regularly threatened by floods from the "Alyem" and "Aouaoudja" rivers. These events pose a significant risk to the local population, necessitating the implementation of a watercourse management system. To achieve this, we integrated several disciplines. First, an in-depth hydrological study was conducted to analyze precipitation and quantify flood flows. Then, a topographical and hydraulic analysis, combined with simulations using the HEC-RAS software, was carried out to model the flows and propose appropriate solutions.

**Key word:** wilaya of Medea, Alyem rivers, Aouaoudja rivers, simulations using the HEC-RAS software, HEC-RAS software.

## Sommaire :

<b>Introduction Générale.....</b>	<b>1</b>
<b>I Généralités sur les Inondations et Étude de Cas de Beni-Slimane .....</b>	<b>3</b>
Introduction.....	3
I.1 Définition et Types d'Inondations .....	3
I.2 Causes des Inondations .....	3
I.2.1 Factures Naturels .....	3
I.2.2 Facteurs Anthropiques .....	4
I.3 Conséquences des Inondations .....	4
I.3.1 Impacts Humains .....	4
I.3.2 Impacts Économiques .....	5
I.3.3 Impacts Environnementaux .....	5
I.4 Solutions Hydrauliques pour la Gestion des Inondations .....	5
I.4.1 Solutions Structurelles .....	5
I.4.2 Solutions Non-Structurelles .....	5
I.5 Étude de Cas : Inondations à Beni-Slimane .....	6
I.5.1 Présentation de la Ville de Beni-Slimane.....	6
I.5.2 Historique des Inondations Majeures à Beni-Slimane .....	6
I.5.3 Comparaison avec les Inondations dans les Régions Voisines .....	10
I.5.4 Perspectives Futures pour Beni-Slimane .....	10
Conclusion .....	11
<b>II Présentation de la Zone d'étude.....</b>	<b>13</b>
Introduction.....	13
II.1 Présentation de la zone d'étude .....	13
II.2 Géomorphologie .....	14
II.3 Caractéristiques Climatiques .....	15
II.3.1 Température.....	15
II.3.2 Les Vents.....	17
II.3.3 Humidité.....	17
II.3.4 Les Gelées .....	17
II.4 Géologie .....	17
II.5 Sismicité .....	18

II.6	Conclusion :	19
<b>III</b>	<b>Etude hydrologique</b>	<b>21</b>
III.1	Introduction	21
III.2	Description des Bassins Versants	21
III.2.1	Caractéristiques Morphométriques des Bassins Versants	22
III.2.2	Etude du relief	26
III.2.2.1	Courbes hypsométriques	26
III.2.2.2	Les altitudes	28
III.2.3	Les pentes	31
III.2.3.1	Pente du cours d'eau principal	31
III.2.3.2	L'indice de pente Roche Ip	32
III.2.3.3	Indice de pente globale Ig	32
III.2.3.4	Dénivelée spécifique	33
III.2.4	Indice de densité de drainage	34
III.2.5	Profil en long	36
III.2.6	Temps de concentration Tc	38
III.2.7	Vitesse de ruissellement Vr	39
III.3	Etude des précipitations	42
III.3.1	Equipement des Bassins Versants	42
III.3.2	Précipitations moyennes annuelles	44
III.3.3	Précipitations maximales journalières	45
III.3.4	Courbes IDF	52
III.4	Etude des apports	54
III.4.1	Apports liquides	54
III.4.2	Variabilité de l'Apport moyen annuel	57
III.5	Etude des crues	58
III.5.1	Calcul des débits Max avec les relations empiriques	59
III.6	Hydrogramme de crues	60
III.7	Apports solides	64
III.7.1	Evaluation des apports solides	65
	Conclusion	67
<b>IV</b>	<b>Etude Hydraulique</b>	<b>69</b>

IV.1	Introduction.....	69
IV.2	Paramètres hydrauliques.....	69
IV.3	Paramètres géométriques.....	71
IV.4	Cours d'eau.....	72
IV.5	Mode d'écoulement dans les Oueds.....	74
IV.5.1	Variabilité dans le Temps.....	74
IV.5.2	Variabilité dans l'Espace.....	75
IV.6	Modélisation d'écoulement.....	77
IV.6.1	Présentation du logiciel HEC-RAS :.....	77
IV.6.2	Étapes de la modélisation d'écoulement avec HEC-RAS.....	78
IV.6.3	Simulation.....	82
IV.7	Etude d'aménagement.....	91
IV.7.1	Les différents types d'aménagements.....	91
IV.7.2	Formules de calcul de l'écoulement a surface libre.....	93
IV.7.3	Vérification du comportement hydraulique des oueds.....	95
IV.8	Etude des variantes.....	96
IV.8.1	Variante 1 : canal trapézoïdale en béton armé.....	97
IV.8.1.1	Oued Alyem.....	97
IV.8.1.2	Oued Aouaoudja.....	100
IV.8.2	Variante 2: Canal rectangulaire en béton armé.....	104
IV.8.2.1	Oued Alyem.....	104
IV.8.2.2	Oued Aouaoudja.....	107
IV.8.3	Variante 3 : canal trapézoïdale en enrochement.....	110
IV.8.3.1	Oued Aouaoudja.....	114
IV.8.4	COMPARAISON DES COUTS.....	117
IV.9	Conclusion.....	118
<b>V</b>	<b>Étude détaillée de la variante choisie.....</b>	<b>121</b>
V.1	Introduction :.....	121
V.2	Détails de la variante adoptée :.....	121
V.2.1	Dimensions du Canal Trapézoïdal en Béton Armé pour Chaque Oued.....	121
V.2.2	Débits Centennaux.....	123
V.2.3	Résultats de l'Étude Hydraulique.....	123

V.2.4	Devis Estimatif pour la Variante .....	124
V.2.5	Modélisation hydraulique et simulation.....	125
V.2.5.1	Résultats de la simulation.....	125
V.2.5.2	Vues 3D des écoulements dans HEC-RAS .....	127
V.3	Les ouvrages de traversée.....	129
V.3.1	Définition des ouvrages de traversée .....	129
V.3.2	Types de dalots .....	130
V.3.3	Dimensionnement des Dalots .....	131
V.3.3.1	Dimensionnement du Dalot pour le Pont N°1 sur l'Oued Alyem.....	131
V.3.3.2	Dimensionnement du Dalot pour le Pont N°2 sur l'Oued Aouaoudja .....	133
V.4	Conclusion.....	138
<b>VI</b>	<b>Organisation de chantier.....</b>	<b>140</b>
VI.1	Introduction.....	140
VI.2	Rôles et responsabilités des intervenants sur chantier.....	140
VI.2.1	Le maître de l'ouvrage .....	141
VI.2.2	Le maître d'œuvre.....	141
VI.2.3	L'entrepreneur .....	141
VI.3	Installations du chantier.....	142
VI.3.1	Installations destinées au personnel .....	142
VI.3.2	Installations destinées au stockage des matériaux .....	142
VI.3.3	Installations pour la Préfabrication .....	143
VI.3.4	Moyens de Chantier .....	143
VI.4	Devis quantitatif et estimatif du projet .....	145
VI.4.1	Définition de la Planification.....	146
<b>Activités de Planification</b> .....		147
<b>Étapes de Planification</b> .....		148
<b>Planning des Travaux</b> .....		148
<b>Méthodes de Planification</b> .....		149
VI.4.2	Définition des Opérations et Durées pour les Oued .....	150
VI.5	Conclusion .....	152
	<b>Conclusion générale .....</b>	<b>154</b>



## Liste des Tableaux :

Tableau II-1 La température moyenne mensuelle annuelle (Station de Béni). .....	16
Tableau II-2 Humidité relative annuelle (DRE). .....	17
Tableau III-1 Coordonnées de la ville de Beni Slimane .....	21
Tableau III-2 Différentes classes du coefficient de Gravelius (Laborde, 2003).....	24
Tableau III-3 Les paramètres géomorphologiques des deux bassins versants des oueds Alyem et Aouaoudja.....	25
Tableau III-4 Pente moyenne des bassins versants.....	25
Tableau III-5 Répartition hypsométrique du bassin versant Oued Aouaoudja .....	26
Tableau III-6 Répartition hypsométrique du bassin versant Oued Alyem .....	27
Tableau III-7 Altitudes caractéristiques des bassins versants .....	29
Tableau III-8 Répartition altimétrique des superficies du bassin versant Oued Aouaoudja .....	29
Tableau III-9 Répartition altimétrique des superficies du bassin versant Oued Alyem .....	30
Tableau III-10 Calcul de la pente du cours d'eau principal des différents Bassins Versants .....	32
Tableau III-11 Classification O.R.S.T.O.M du relief à partir de l'indice de pente global.....	33
Tableau III-12 Résultats de calculs de la pente globale .....	33
Tableau III-13 Classification des reliefs d'après l'O.R.S.T.O.M.....	34
Tableau III-14 Chevelu hydrographique .....	35
Tableau III-15 Profil en long du cours d'eau principal Oued Alyem .....	37
Tableau III-16 Récapitulatif du calcul du temps de concentration .....	39
Tableau III-17 La vitesse de ruissellement.....	40
Tableau III-18 Récapitulatif des caractéristiques des bassins versants.....	41
Tableau III-19 station pluviométrique - bassin versant Beni Slimane .....	43
Tableau III-20 répartition des pluies moyennes annuelles .....	44
Tableau III-21 Caractéristiques de l'échantillon .....	45
Tableau III-22 Résultats d'ajustement à la loi de Gumbel.....	47
Tableau III-23 Résultats d'ajustement à la loi de Log Normale. ....	48
Tableau III-24 Résultats d'ajustement à la loi de Log Pearson Type III.....	49
Tableau III-25 Comparaison des résultats d'ajustement des Pjmax avec les différentes périodes de retour .....	51
Tableau III-26 Comparaison des caractéristiques des lois. ....	51
Tableau III-27 Paramètres coefficient "a" de Montana par période de retour – Station de Béni Slimane.....	53
Tableau III-28 Formulation IDF- Station de Béni Slimane.....	53
Tableau III-29 Calcul des apports Oued Alyem .....	56
Tableau III-30 Calcul des apports Oued Aouaoudja.....	56
Tableau III-31 Récapitulatif des résultats du coefficient de variation .....	57
Tableau III-32 Estimation des apports à différentes fréquences .....	58
Tableau III-33 Récapitulatif des résultats de calcul des apports .....	60
Tableau III-34 Temps caractéristiques – méthode Sokolovsky.....	61
Tableau III-35 Temps caractéristiques – méthode Sokolovsky – Oued Alyem .....	61
Tableau III-36: Calcul de l'hydrogramme de crue – méthode Sokolovsky – Oued Alyem.....	62

Tableau III-37 Temps caractéristiques – méthode Sokolovsky – Oued Aouaoudja.....	63
Tableau III-38 Calcul de l'hydrogramme de crue – méthode Sokolovsky – Oued Aouaoudja .....	63
Tableau III-39 Transport solide - FORMULE DE GAVRILOVIC.....	66
Tableau III-40 Apports solides – Fournier .....	66
Tableau III-41 Apports solides – Tixeront .....	67
Tableau IV-1 Valeurs de rugosité selon le lit .....	71
Tableau IV-2 Principaux paramètres hydraulique des oueds Alyem et Aouaoudja .....	89
Tableau IV-3 débits de crue centennale par tronçon.....	95
Tableau IV-4 - Caractéristiques des tronçons de l'oued Alyem.....	97
Tableau IV-5 Paramètres d'écoulement de l'oued Alyem .....	98
Tableau IV-6 Devis de l'oued Alyem V1 .....	100
Tableau IV-7 Caractéristiques des tronçons de l'oued Aouaoudja V1 .....	100
Tableau IV-8 Paramètres d'écoulement de l'oued Aouaoudja V1 .....	101
Tableau IV-9 Devis de l'oued Aouaoudja V1 .....	104
Tableau IV-10 Paramètres d'écoulement de l'oued Alyem V2.....	105
Tableau IV-11 Devis de l'oued Alyem V2.....	107
Tableau IV-12 Paramètres d'écoulement de l'oued Aouaoudja V2 .....	108
Tableau IV-13 Devis de l'oued Aouaoudja V2 .....	110
Tableau IV-14 Paramètres d'écoulement de l'oued Alyem V3.....	111
Tableau IV-15 Sections et volume d'encrochement.....	113
Tableau IV-16 sections du géotextile.....	113
Tableau IV-17 Devis de l'oued Alyem V3.....	114
Tableau IV-18 Paramètres d'écoulement de l'oued Aouaoudja V3 .....	115
Tableau IV-19 Sections et volume d'encrochement.....	116
Tableau IV-20 sections du géotextile.....	116
Tableau IV-21 Devis de l'oued Aouaoudja V3 .....	117
Tableau IV-22 Récapitulation des couts .....	118
Tableau V-1 l'Étude Hydraulique de oued Alyem.....	124
Tableau V-2 l'Étude Hydraulique de oued Aouaoudja .....	124
Tableau V-3 Résultats du calcul du nombre des dalots nécessaires oued Alyem .....	132
Tableau V-4 Résultats du calcul du nombre des dalots nécessaires oued Alyem .....	133
Tableau V-5 Principaux paramètres hydraulique des oueds Alyem et Aouaoudja après l'aménagement V1.....	136
Tableau VI-1 Le devis des différents travaux de l'aménagement des oueds de la zone d'étude .....	146

## Liste des figures :

Figure I-1 Historique des Inondations de Beni Sliman (DRE) .....	8
Figure II-1 Localisation de la commune de Beni Slimane(ArcGis). .....	14
Figure II-2 Localisation des cours d'eau sur Google Earth .....	14
Figure II-3 Variation des températures moyennes mensuelles -station de Beni-Slimane.....	16
Figure II-4 Carte de zonage sismique du territoire national.....	18
Figure III-1 Les limites des deux bassin versants par rapport à la ville de Béni Slimane(ArcGis).....	22
Figure III-2 Courbe hypsométrique de Oued Aououdja .....	27
Figure III-3 Courbe hypsométrique de Oued Alyem .....	28
Figure III-4 : Limites du bassin versant de oued Aouaoudja et courbes de niveau .....	30
Figure III-5 Limites du bassin versant d'Oued Alyem et courbes de niveau .....	31
Figure III-8 Profil en long du cours d'eau principal –Oued Aouaoudja .....	36
Figure III-9 Profil en long – oued Aouaoudja .....	37
Figure III-10 Profil en long – Oued Alyem.....	38
Figure III-12 Situation des bassins versants ( ANRH).....	43
Figure III-11 Bassin versant de Beni-Slimane sur carte du réseau ANRH.....	43
Figure III-13répartition mensuelle de la pluviométrie Station Béni Slimane .....	44
Figure III-14 Interface du logiciel HYFRAN.....	46
Figure III-15 Graphique d'ajustement à la loi de Gumbel.Etude Hydrometrique .....	47
Figure III-16 Graphique d'ajustement à la loi Log normale .....	49
Figure III-17 Graphique d'ajustement à la loi Log Pearson type III .....	50
Figure III-18 Comparaison entre les lois d'ajustement .....	50
Figure III-19 Courbes IDF pour différentes périodes de retour .....	53
Figure III-20 hydrogramme de crue Q1% - méthode Sokolovsky -Oued Alyem .....	62
Figure III-21 hydrogramme de crue Q1% - méthode Sokolovsky -Oued Aouaoudja.....	64
Figure IV-1 Illustration du gradient hydraulique.....	70
Figure IV-2 Cours d'eau naturel .....	73
Figure IV-3 Cour d'eau artificiel.....	74
Figure IV-4 Schéma des écoulements permanents, uniformes et variés dans un canal à surface libre .	75
Figure IV-5 Ecoulement laminaire .....	76
Figure IV-6 Ecoulement turbulent .....	76
Figure IV-7 Écoulement Torrentiel.....	77
Figure IV-8 TIN des oueds Alyem et Aouaoudja.....	78
Figure IV-9 Modèle de Terrain et Sections Transversales dans RAS Mapper .....	79
Figure IV-10 Importation des données géométriques dans HEC-RAS. ....	80
Figure IV-11 Introduction des valeurs de Manning (terrain naturel).....	80
Figure IV-12 Introduction du débit de projet (crues centennales).....	81
Figure IV-13 Conditions aux limites.....	81
Figure IV-14 fin de simulation .....	82
Figure IV-15 Vue 3D de l'oued Alyem .....	83
Figure IV-16 profils en long de l'oued Alyem .....	84
Figure IV-17 Courbe de tarage de l'oued Alyem .....	84

Figure IV-18 sections 900 .....	85
Figure IV-19 sections 650 .....	85
Figure IV-20 sections 1100 .....	85
Figure IV-21 sections 1000 .....	85
Figure IV-22 Vue 3D de l'oued Aouaoudja .....	86
Figure IV-23 profils en long de l'oued Aouaoudja.....	87
Figure IV-24 Courbe de tarage de l'oued Aouaoudj .....	87
Figure IV-25 station 250 .....	88
Figure IV-26 station 50 .....	88
Figure IV-27 Les zones inondables .....	90
Figure IV-28 carte de vitesse d'eau pour la période de retour de 100ans .....	91
Figure IV-29 Eléments géométriques pour des sections ouvertes diverses (Graf, 2000) .....	95
Figure IV-30 Canal trapézoïdal en béton armé.....	97
Figure IV-31 section en travers 250.....	99
Figure IV-32 section en travers 650.....	99
Figure IV-33 section en travers 450.....	103
Figure IV-34 section en travers 700.....	103
Figure IV-35 Canal en béton armé.....	104
Figure IV-36 section en travers 100.....	106
Figure IV-37 section en travers 900.....	106
Figure IV-38 section en travers 850.....	109
Figure IV-39 section en travers 1050.....	109
Figure IV-40 Canal en enrochement .....	112
Figure IV-41 section en travers 300 et 1000 .....	113
Figure IV-42 section en travers 700.....	116
Figure V-1 Résultat de Flow Master.....	122
Figure V-2 Résultats de la simulation pour la station 1050 .....	125
Figure V-3 Résultats de la simulation pour la station 800 .....	125
Figure V-5 Résultats de la simulation pour la station 40 .....	126
Figure V-4 Résultats de la simulation pour la station 20 .....	126
Figure V-6 Résultats de la simulation pour la station 650 .....	126
Figure V-7 Résultats de la simulation pour la station 200 .....	126
Figure V-8Vue en 3D d'Oued Alyem V1. ....	127
Figure V-9 Vue en 3D pt de confluence .....	127
Figure V-10 Vue en 3D d'Oued Aouaoudja.....	128
Figure V-11 Vue en 3D deux oueds.....	128
Figure V-12 –situation des Ponts d'art O. Alyem et O.Aouaoudja. ....	130
Figure V-13 : Débit véhiculer par un seul dalot (obtenue par Flow Master) .....	132
Figure V-14 Section transversale des dalots au Pont N°1 (Oued Alyem) .....	132
Figure V-15 Vu 3D de l'oued avec le pont.....	132
Figure V-16 Section transversale des dalots au Pont N°1 (O Aouaoudja).....	133
Figure V-17 Débit véhiculer par un seul dalot (obtenue par Flow Master) .....	133
Figure V-18 Vu 3D de l'oued avec le pont.....	134

Figure V-19 Profil en long de l'oued Aouaoudja et Oued Alem avec les ponts.....	134
Figure V-20 Vue 3D avec les ponts de l'oued Aouaoudja et Oued Alem – Simulation HEC-RAS....	135
Figure VI-1 Relation entre les personnes du chantier.....	142

## Liste des planches

- Planche N°1 : Plan de masse
- Planche N°2 : Profile en long des oueds Alyem et Aouaoudja.
- Planche N°3 : Profil en travers de l'oued Alyem.
- Planche N°4 : Profil en travers de l'oued Aouaoudja.

## **Introduction Générale**

Les inondations sont définies comme un phénomène qui survient lorsque le débit d'eau dépasse la capacité naturelle de drainage des bassins et des systèmes hydriques, ce qui entraîne l'inondation de terres généralement sèches. Les inondations peuvent être causées par de fortes précipitations, une fonte rapide des neiges, des crues de rivières, des ruptures de barrages et des tempêtes maritimes. Le domaine hydraulique est confronté à un défi majeur en raison des inondations, ce qui demande des stratégies de gestion des eaux complètes. Cela englobe l'élaboration et la réalisation d'infrastructures comme des barrages et des digues, l'amélioration des systèmes de drainage, la création de systèmes d'alerte précoce et la mise en œuvre de plans d'intervention rapide afin de réduire leurs conséquences sur les populations et les biens.

L'Algérie est considérée comme l'un des pays les plus vulnérables aux catastrophes naturelles, en particulier aux inondations, en raison de l'accélération du changement climatique et des problèmes d'aménagement du territoire.

La région d'Alger a déjà connu des inondations catastrophiques. Depuis les années 1900, notamment le 10 novembre 2001 à Bab El Oued-Alger, en janvier 2020 à El Bayadh, en 2008 à Ghardaïa et en 2018 à Constantine.

Notre objectif est de protéger la commune de Beni Slimane dans la Wilaya de Médéa contre les risques d'inondations des oueds Alyem et Aouaoudja en estimant les débits de crue fréquents et en sélectionnant les meilleures méthodes de protection à travers des aménagements spécifiques et des ouvrages hydrauliques. En conclusion, nous examinerons différentes solutions sous forme de variantes afin de choisir celle qui convient le mieux à la protection des zones urbaines et périurbaines. Ce travail sera structuré en cinq chapitres pour une présentation complète de nos analyses et recommandations.

**Chapitre I :**

**Généralités sur les Inondations**

**et Étude de Cas de**

**Beni-Slimane**



# **I Généralités sur les Inondations et Étude de Cas de Beni-Slimane**

## **Introduction**

Les inondations représentent l'une des catastrophes naturelles les plus fréquentes et dévastatrices à travers le monde. Elles causent des pertes humaines considérables, des dommages matériels importants et ont des impacts socio-économiques et environnementaux significatifs. Comprendre les causes, les conséquences et les solutions possibles pour prévenir et gérer les inondations est essentiel pour élaborer des stratégies efficaces de protection et de gestion des risques. Ce chapitre présente une analyse générale des inondations, suivie d'une étude de cas spécifique sur la ville de Beni-Slimane, en se basant sur des articles et rapports récents.

## **I.1 Définition et Types d'Inondations**

Une inondation est un débordement d'eau qui submerge des terres habituellement sèches. Les inondations peuvent être classées en plusieurs types selon leur origine et leur nature :

- Inondations fluviales : Causées par le débordement des rivières et des fleuves suite à de fortes précipitations ou à la fonte des neiges.
- Inondations urbaines : Surviennent dans les zones urbanisées lorsque les systèmes de drainage sont dépassés par des précipitations intenses.
- Inondations côtières : Résultent de la montée des eaux marines due aux tempêtes, aux tsunamis ou à l'élévation du niveau de la mer.
- Inondations soudaines : Se produisent rapidement et avec peu ou pas d'avertissement, généralement à la suite de pluies torrentielles.
- Inondations par débordement de barrages ou de digues : Surviennent lorsque ces structures cèdent sous la pression de l'eau. (Smith.K & Petley D. N, 2009).

## **I.2 Causes des Inondations**

Les inondations sont généralement le résultat d'une combinaison de facteurs naturels et anthropiques :

### **I.2.1 Factures Naturels**

- Précipitations Intenses : Les pluies torrentielles sur une courte période peuvent saturer les sols et dépasser la capacité des cours d'eau et des systèmes de drainage.

- Fonte des Neiges et Glaciers : La fonte rapide peut augmenter le débit des rivières et provoquer des inondations.
- Tempêtes et Ouragans : Les conditions météorologiques extrêmes apportent des quantités massives de précipitations et provoquent des ondes de tempête.
- Relief et Topographie : Les zones basses et les vallées sont plus susceptibles d'être inondées.
- Obstruction Naturelle des Cours d'Eau : L'accumulation de débris naturels peut entraver l'écoulement normal de l'eau. (Benkaci. N & Cherif. A , 2019).

## **I.2.2 Facteurs Anthropiques**

- Urbanisation : Le développement urbain réduit les surfaces perméables, augmentant le ruissellement des eaux pluviales.
- Déforestation : La suppression de la couverture végétale diminue l'absorption de l'eau et accroît le ruissellement.
- Gestion Inadéquate des Systèmes de Drainage : Des infrastructures insuffisantes ou mal entretenues peuvent aggraver les risques d'inondation.
- Changements Climatiques : L'augmentation des événements météorologiques extrêmes liée au changement climatique intensifie la fréquence et la gravité des inondations.
- Occupation des Zones Inondables : La construction dans des zones à risque augmente la vulnérabilité des populations. (UNISDR ,2015).

## **I.3 Conséquences des Inondations**

Les inondations ont des impacts multidimensionnels:

### **I.3.1 Impacts Humains**

- Pertes de Vies Humaines et Blessures : Les inondations peuvent entraîner des décès et des blessures graves.
- Déplacement des Populations : Les habitants des zones touchées peuvent être contraints de quitter leurs domiciles.

- Problèmes de Santé Publique : Les eaux contaminées peuvent provoquer des maladies hydriques et sanitaires.

### **I.3.2 Impacts Économiques**

- Dommages aux Infrastructures : Destruction de routes, ponts, bâtiments, réseaux électriques et sanitaires.
- Pertes Agricoles : Inondation des terres cultivées entraînant des pertes de récoltes et d'élevage.
- Interruption des Activités Économiques : Fermeture d'entreprises et perturbation des services essentiels.

### **I.3.3 Impacts Environnementaux**

- Érosion et Dégradation des Sols : Les sols peuvent être lessivés, réduisant leur fertilité.
- Pollution de l'Eau : Mélange des eaux usées et industrielles avec les eaux de crue.
- Destruction des Habitats Naturels : Affectation de la flore et de la faune locales. (IPCC ,2014).

## **I.4 Solutions Hydrauliques pour la Gestion des Inondations**

Plusieurs mesures peuvent être mises en place pour prévenir et atténuer les effets des inondations:

### **I.4.1 Solutions Structurelles**

- Construction de Barrages et de Réservoirs : Réguler le débit des cours d'eau et stocker l'eau excédentaire.
- Aménagement de Dignes et de Levées : Protéger les zones habitées en retenant les eaux de crue.
- Systèmes de Drainage Améliorés : Installation et entretien de canalisations efficaces pour évacuer les eaux pluviales.
- Bassins de Rétention et d'Infiltration : Stocker temporairement les eaux de ruissellement pour réduire les pics de crue.
- Restaurations des Zones Humides : Utiliser les zones naturelles pour absorber et retenir l'eau.

### **I.4.2 Solutions Non-Structurelles**

- Systèmes d'Alerte Précoce : Mettre en place des mécanismes de surveillance et d'alerte pour informer rapidement les populations.
- Planification de l'Utilisation des Sols : Éviter la construction dans les zones inondables et adopter des pratiques d'aménagement durable.
- Éducation et Sensibilisation : Informer les communautés sur les risques et les mesures de sécurité à adopter.
- Assurances Contre les Inondations : Offrir des protections financières aux personnes et aux entreprises affectées.
- Plans d'Urgence et de Secours : Élaborer des protocoles clairs pour les interventions en cas de catastrophe. (UNISDR ,2015).

## **I.5 Étude de Cas : Inondations à Beni-Slimane**

### **I.5.1 Présentation de la Ville de Beni-Slimane**

Beni-Slimane est une commune située dans la wilaya de Médéa, en Algérie. Elle est caractérisée par une topographie variée et est traversée par des oueds Aouaoudja et Alyem, ainsi que par d'autres cours d'eau, ce qui la rend vulnérable aux inondations, particulièrement lors des épisodes de fortes précipitations.

### **I.5.2 Historique des Inondations Majeures à Beni-Slimane**

#### **Inondation du 3 Mai 2021**

##### 1) Description de l'Événement

Le 3 mai 2021, Beni-Slimane a été frappée par des pluies torrentielles exceptionnelles. En l'espace d'une heure, la région a reçu plus de 95 millimètres de précipitations, provoquant la crue soudaine des oueds Aouaoudja oued Alyem, ainsi que par d'autres cours d'eau, et entraînant des inondations dévastatrices dans toute la ville.

#### **Causes Principales**

- Précipitations Exceptionnelles : Les quantités de pluie enregistrées ont largement dépassé les moyennes saisonnières, saturant rapidement les sols et les systèmes de drainage.

- **Infrastructures Inadaptées** : Les travaux de réhabilitation des oueds Aouaoudja et Alyem n'ont pas été finalisés, en particulier sur l'une de leurs rives, ce qui a diminué la capacité de ces oueds à gérer les eaux de crue.
- **Urbanisation** : L'extension urbaine non planifiée a contribué à l'imperméabilisation des sols et à l'aggravation du ruissellement superficiel.
- **Manque de Systèmes d'Alerte Efficaces** : L'absence d'un système d'alerte précoce a empêché la mise en place de mesures d'évacuation et de protection rapides.

## 2) Conséquences de l'Inondation

- **Impacts Humains**

**Pertes de Vies Humaines** : Quatre décès ont été enregistrés, dont une fillette de 13 ans et trois hommes âgés entre 45 et 50 ans, emportés par les eaux en crue.

**Blessés et Personnes Affectées** : De nombreux habitants ont subi des traumatismes physiques et psychologiques, nécessitant une prise en charge médicale et un soutien psychologique.

- **Impacts Matériels**

**Dommages aux Infrastructures** : L'inondation a causé des effondrements partiels de plusieurs bâtiments, y compris une école pour sourds-muets et l'hôpital local.

**Véhicules Endommagés** : 116 voitures, deux ambulances et trois camions ont été détruits ou gravement endommagés par les eaux.

**Destructions Économiques** : De nombreux commerces ont été inondés, entraînant des pertes financières importantes pour les commerçants locaux.

**Pertes Agricoles et Animales** : Des exploitations agricoles ont été submergées et des têtes de bétail ont péri suite à l'effondrement de structures d'élevage.

- **Impacts Environnementaux**

**Érosion des Sols** : Les flux d'eau puissants ont provoqué une érosion significative des sols, affectant la stabilité des terrains.

Pollution de l'Eau : Les eaux de crue ont entraîné des déchets et des contaminants, polluant les cours d'eau et les nappes phréatiques locales



Figure I-1 Historique des Inondations de Beni Sliman (DRE)

### 3) Réponses et Mesures Prises

- **Interventions d'Urgence**

Mise en Place d'une Cellule de Crise : Les autorités locales ont rapidement instauré une cellule de crise pour coordonner les opérations de secours et d'assistance.

Mobilisation de la Protection Civile : Des équipes de la Protection civile, renforcées par des unités venues de wilayas voisines, ont été déployées pour effectuer des opérations de sauvetage, d'évacuation et de nettoyage.

Soutien Gouvernemental : Une délégation ministérielle comprenant les ministres de l'Intérieur, des Ressources en eau, des Travaux publics, et de la Solidarité s'est rendue sur place pour évaluer les dégâts et superviser les opérations de secours.

Assistance aux Sinistrés : Des mesures ont été prises pour fournir un abri temporaire, de la nourriture, et un soutien psychologique aux personnes affectées.

- **Mesures de Réhabilitation et de Prévention**

Évaluation Technique : Une commission technique a été mandatée pour étudier en profondeur les causes des inondations et proposer des solutions durables.

Actualisation des Plans d'Intervention : Les autorités ont insisté sur la nécessité de revoir et d'actualiser les plans d'intervention en cas d'inondation, en se basant sur des études approfondies.

Amélioration des Infrastructures Hydrauliques : Des projets ont été annoncés pour achever et renforcer les travaux de réhabilitation des oueds Aouaoudja et Alyem et améliorer les systèmes de drainage urbain.

Sensibilisation et Éducation : Des programmes de sensibilisation ont été envisagés pour informer la population sur les risques d'inondation et les mesures de sécurité à adopter.

Systèmes d'Alerte Précoce : La mise en place de systèmes de surveillance météorologique et d'alerte a été recommandée pour permettre des réponses plus rapides lors de futurs épisodes pluvieux intenses.

#### 4) **Leçons Tirées et Recommandations**

- Importance de la Prévention : L'événement a souligné la nécessité d'investir dans des infrastructures résistantes et des mesures préventives pour minimiser les impacts des inondations.
- Gestion Intégrée des Risques : Une approche holistique impliquant toutes les parties prenantes est essentielle pour une gestion efficace des risques d'inondation.
- Adaptation au Changement Climatique : Les stratégies doivent tenir compte des modèles climatiques changeants qui augmentent la fréquence et l'intensité des événements extrêmes.
- Participation Communautaire : Impliquer la communauté locale dans la planification et la mise en œuvre des mesures de prévention renforce la résilience collective.

#### **I.5.3 Comparaison avec les Inondations dans les Régions Voisines**

Des inondations concomitantes ont également été rapportées dans les wilayas voisines telles que Boumerdès et Tipaza, bien que de moindre ampleur. Ces incidents partagent des causes similaires liées aux précipitations intenses et mettent en évidence des défis communs en matière d'infrastructures et de préparation aux catastrophes.

#### **I.5.4 Perspectives Futures pour Beni-Slimane**

Afin de renforcer la résilience de Beni-Slimane face aux risques d'inondation, plusieurs actions sont envisagées :

- Investissement dans les Infrastructures : Prioriser la construction et la maintenance d'ouvrages hydrauliques efficaces.
- Planification Urbaine Durable : Intégrer des considérations de gestion des eaux pluviales dans le développement urbain.
- Renforcement Institutionnel : Améliorer la coordination entre les différentes institutions responsables de la gestion des risques.
- Engagement International : Collaborer avec des organisations internationales pour bénéficier de l'expertise et du financement nécessaires à la mise en œuvre de solutions innovantes.



## **Conclusion**

L'étude des inondations à Beni-Slimane offre un aperçu concret des défis complexes liés à la gestion des risques hydrauliques dans un contexte marqué par des changements climatiques et une urbanisation rapide. En combinant des solutions structurelles et non-structurelles, adaptées aux spécificités locales, il est possible de réduire significativement les impacts des inondations et de protéger les populations vulnérables. La mise en œuvre efficace de ces mesures nécessite un engagement soutenu de la part des autorités, de la communauté et des partenaires internationaux.

# **Chapitre II**

## **Présentation de la Zone d'étude**

## II Présentation de la Zone d'étude

### Introduction

Les risques d'inondations résultent de l'interaction complexe de plusieurs composantes. Pour mener à bien notre étude, il est essentiel de présenter en détail la zone concernée. Ce chapitre nous fournira des informations précieuses sur le terrain du point de vue topographique, géologique et hydrogéologique, ainsi que sur les conditions climatiques de la région.

La présentation de la zone d'étude des oueds Aliam et Aouaoudja à Beni Slimane permet de comprendre les caractéristiques physiques, géologiques et climatiques de la région, ainsi que les aspects démographiques et urbanisation. Cela est crucial pour élaborer des stratégies de gestion des risques d'inondations efficaces et pour minimiser les impacts des inondations sur les populations et les infrastructures.

### II.1 Présentation de la zone d'étude

La wilaya de Médéa est située dans le centre du pays à environ 80 kilomètres au sud d'Alger et au cœur de l'Atlas tellien. Elle consiste en une zone de transit et un trait d'union entre le Tell et le Sahara, et entre les hauts plateaux de l'Est et ceux de l'Ouest.

Beni Slimane est une commune de la wilaya de Médéa en Algérie, située dans le Tell central algérien. Elle se trouve à environ 98 km au sud d'Alger, 68 km au sud-est de Médéa, 92 km au sud-ouest de Boumerdès, 50 km à l'est de Berrouaghia, 31 km au sud-ouest de Tablat et 55 km à l'ouest de Bouira, à une altitude de 574 mètres et couvre une superficie de 92,8 km<sup>2</sup>. La population de Beni Slimane était de 33 779 habitants en 2008, avec une densité de 364 habitants par km<sup>2</sup>.

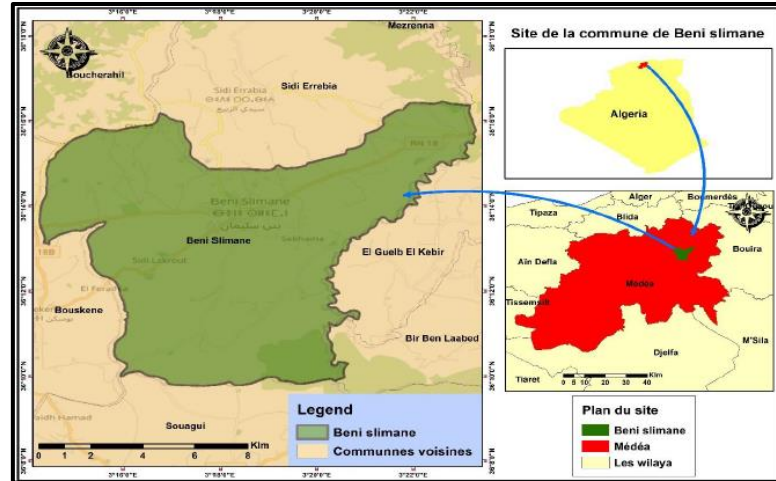


Figure II-1 Localisation de la commune de Beni Slimane(ArcGis).

Dans la zone d'étude, l'oued Aouaoudja est situé au sud de la ville de Beni Slimane, tandis que l'oued Alyem se trouve au sud-ouest.



Figure II-2 Localisation des cours d'eau sur Google Earth

## II.2 Géomorphologie

La Wilaya de Médéa se caractérise ainsi par une altitude élevée et un relief mouvementé enserrant quelques plaines de faible extension. Au Sud, elle s'étend aux confins des hautes plaines steppiques. Sur le plan géographique, elle se caractérise par quatre principales :

- Le Tell montagneux : région forestière au relief marqué, au climat rude et peu peuplée, ceinturant la wilaya à l'Ouest et au Nord, depuis l'Ouarsenis jusqu'au massif de Tablat ;
- Le Tell collinéen : région de peuplement à vocation agricole, située dans le centre de la wilaya.

- Les plaines du Tell : situées à l'intérieur du Tell collinéen, elles sont consacrées à la céréaliculture ;
- Le piémont méridional du Tell : zone de transition vers les hautes plaines steppiques caractérisé par une pluviométrie irrégulière.

Située au cœur de l'Atlas tellien, elle se caractérise par son altitude de 1000 m au-dessus du niveau de la mer, par une vocation agricole concentrée au niveau des plaines qui représentent environ 40 % de la surface de la wilaya, en plus de l'élevage ovin (surtout dans les daïras au sud).

La surface agricole totale est de l'ordre de 773.541 Ha avec une surface agricole utile de 338.359 Ha et un relief correctement arrosé constituent des potentialités en vue de nouvelles

Pratiques de l'agriculture intensive et d'échelle. À cela, s'ajoute l'activité pastorale pratiquée sur une superficie de parcours de plus de 200.000 ha situé dans la zone sud de la wilaya. La superficie La Forestière de la wilaya est estimée à 161.885 ha, où différentes espèces sont recensées : Pin d'Alep liège etc...

### **II.3 Caractéristiques Climatiques**

Nous sommes dans une région méditerranéenne, caractérisée par des hivers frais et pluvieux et des étés chauds et secs. La barrière montagneuse constituée par l'Atlas de TABLAT atténue les influences maritimes dans la gouttière des BENI-SLIMANE. Au sud de ces reliefs, le climat devient déjà semi-aride.

Le climat de Médéa se distingue par des caractéristiques dues à sa position sur les monts de l'Atlas tellien et à son altitude qui atteint 1240 m ainsi qu'à son exposition aux vents et aux vagues de courants venant de l'Ouest.

#### **II.3.1 Température**

La température joue un rôle essentiel dans les processus d'évaporation, la détermination du bilan hydrique et la classification climatique d'une région. C'est un facteur clé à prendre en compte pour comprendre et analyser les conditions environnementales d'un milieu.

Les données moyennes de la température mensuelle de la période de station de Beni Slimane sont consignées dans le tableau suivant :

Tableau II-1 La température moyenne mensuelle annuelle (Station de Béni).

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy
<b>M</b>	16,34	16,64	21,21	26,38	29,86	35,78	40,07	39,18	33,36	28,35	23,14	16,76	27,25
<b>m</b>	1,42	1,11	2,82	5,31	8,49	12,51	15,50	15,61	13,05	8,55	5,08	1,93	7,62
<b>(M+m)/2</b>	8,88	8,88	12,02	15,84	19,18	24,15	27,79	27,39	23,21	18,45	14,11	9,35	17,44

Avec :M : température maximale

m : température minimale

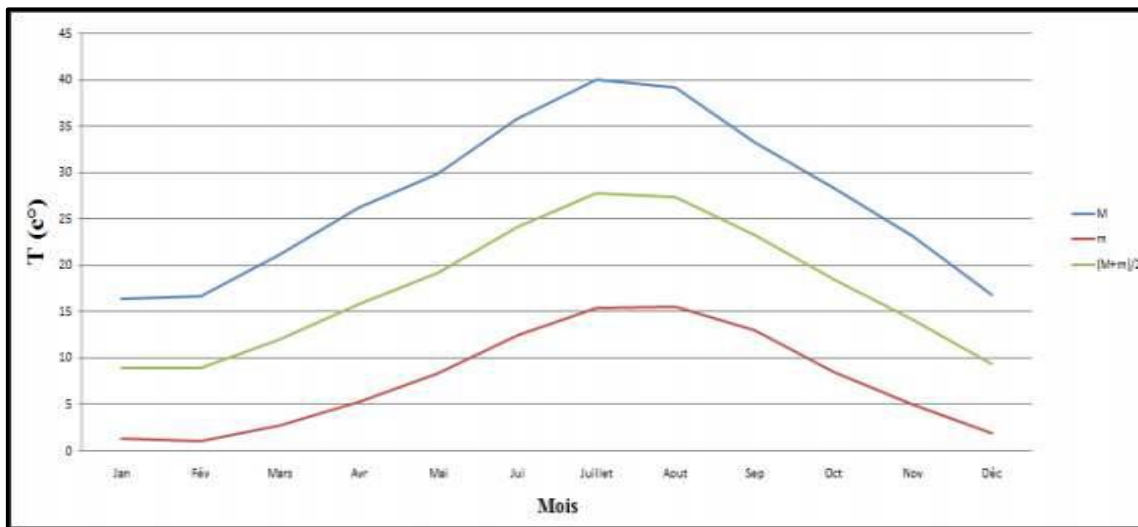


Figure II-3 Variation des températures moyennes mensuelles -station de Beni-Slimane.

On constate que les températures relevées à la station de Béni Slimane peuvent atteindre un maximum de 40 ° au mois de juillet et un minimum de 2° au mois de Décembre.

La moyenne mensuelle de la période station de Beni Slimane souligne l'existence de deux saisons:

- Une saison froide qui s'étend du mois de Novembre au mois d'Avril.
- Une saison chaude qui s'étend du mois de Mai au mois d'Octobre.

### II.3.2 Les Vents

Dans cette région, les vents dominants sont :

- Les vents du Nord et du Nord-Ouest – lors de la saison d'hiver – sont humides et froids.
- Les vents du Sud et du Sud-Est en saison d'été sont secs et chauds, fréquents, mais non violents.

### II.3.3 Humidité

La région de Beni Slimane connaît une forte variation saisonnière de l'humidité relative, avec des valeurs basses en été et des valeurs élevées en hiver. Cette dynamique est typique du climat méditerranéen de la région.

Tableau II-2 Humidité relative annuelle (DRE).

mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy annuelle
Humidité %	78	74	68	62	57	52	43	41	55	64	71	78	61.92

### II.3.4 Les Gelées

Les gelées causant de graves accidents à la végétation font leur apparition depuis la fin d'hiver jusqu'à la mi- printemps (environ 40 jours).

## II.4 Géologie

La région des Beni Slimane présente une géologie complexe, avec la présence de terrains sédimentaires, volcaniques et métamorphiques allant du primaire au quaternaire, dominés par les formations du tertiaire et du quaternaire. Les principales caractéristiques géologiques de la zone sont :

- Une structure géologique complexe, avec des terrains sédimentaires, volcaniques et métamorphiques
- Des formations géologiques du primaire au quaternaire, avec une prédominance des terrains du tertiaire et du quaternaire.

- Une géomorphologie marquée par la présence de plaines, plateaux et massifs montagneux.

L'étude géologique détaillée de la plaine de Béni-Slimane a permis de mettre en évidence cette structure complexe des terrains présents dans la région.

## II.5 Sismicité

Le bassin Méditerranéen est une zone où la plaque Africaine et Eurasiatique sont en perpétuel mouvement de convergence, ce rapprochement se traduit par de nombreux séismes, faibles ( $M \leq 4$ ) modérés ( $4 < M < 6.5$ ) ou violents ( $M > 6.5$ ).

Le contexte tectonique ainsi défini est le résultat de mouvements compressifs Nord-Sud induisant des déformations, en grande majorité, sur les éléments de déformation (faible). D'après le C.G.S (RPA 99/version 2003), l'Algérie est divisée en 05 zones de sismicité croissante :

- Zone 0 : Sismicité nulle.
- Zone I : Sismicité faible.
- Zone II-a : Sismicité moyenne.
- Zone II-b : Sismicité moyenne.
- Zone III : Sismicité élevée.

La région d'étude fait partie de la Zone II-a (sismicité moyenne).

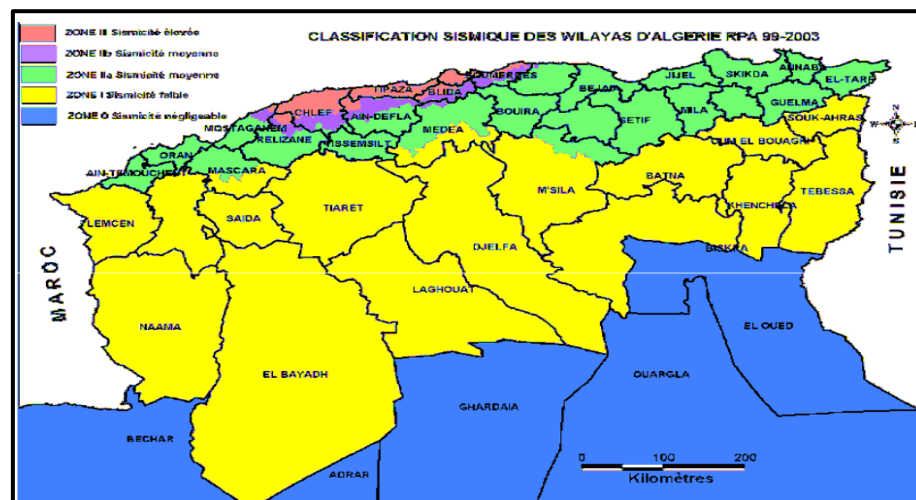


Figure II-4 Carte de zonage sismique du territoire national



## **II.6 Conclusion :**

Ce chapitre a présenté en détail les caractéristiques géographiques, géologiques, climatiques de la zone d'étude des oueds Aliam et Aouaoudja à Beni Slimane. La diversité du relief et l'altitude élevée de la wilaya de Médéa influencent directement les risques d'inondation. Le climat méditerranéen, marqué par des hivers pluvieux et des étés chauds et secs, ainsi que la complexité géologique, jouent un rôle clé dans la gestion des eaux et des risques associés. La compréhension approfondie de ces éléments est cruciale pour élaborer des stratégies efficaces de gestion des risques d'inondation, adaptées aux spécificités locales, afin de mieux protéger les populations et les infrastructures.

# **Chapitre III**

## **Etude hydrologique**

## III Etude hydrologique

### III.1 Introduction

L'hydrologie est une discipline essentielle qui se concentre sur l'étude de l'eau dans son cycle naturel, englobant sa distribution, sa circulation et sa qualité sur la surface terrestre. Ce chapitre introduit les concepts fondamentaux de l'hydrologie, en mettant l'accent sur l'importance de cette science pour la gestion des ressources en eau et la compréhension des processus hydrologiques. L'étude hydrologique est indispensable pour la conception des infrastructures hydrauliques, car elle permet d'estimer les débits de pointe pour des périodes de retour spécifiques (10, 20, 50 et 100 ans). Les étapes clés de cette étude comprennent :

- Délimitation des bassins versants.
- Caractérisation des bassins versants.
- Analyse des données pluviométriques.
- Calcul des débits de crue.

### III.2 Description des Bassins Versants

Un bassin versant, également appelé bassin hydrographique, est une unité géographique bien définie qui correspond à l'ensemble du territoire recevant les précipitations et alimentant un cours d'eau, un lac ou un océan. Il est délimité par des lignes de partage des eaux, qui sont des frontières naturelles formées par les reliefs, comme les crêtes des montagnes.

La ville de Béni Slimane est localisée sur les cartes d'état-major à l'échelle 1/50 000 e ; Comme Précisé dans le tableau suivant :

Tableau III-1 Coordonnées de la ville de Beni Slimane

Commune	Coordonnées UTM (m)		Altitude (m)	Carte d'état-major	Echelle
	X	Y	Z		
Béni Slimane	527 408.00	4 009 500.00	582.00	Feuille n° NJ.31.IV-7 Est Béni Slimane	1/50 000

Ce chapitre fait le point sur les caractéristiques hydrologiques essentielles, en l'occurrence :

- Les caractéristiques morpho métriques et physiques.
- La climatologie.

- Les précipitations.
- Les apports liquides.
- Les caractéristiques des crues.
- Les apports solides.

Les deux oueds se rencontrent au sud de la ville en amont du pont à savoir :

- Oued Aouaoudja situé au Sud de Béni Slimane
- Oued Alyem dont le bassin versant qui prend naissance du Sud-Ouest

Selon l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) le bassin versant l'Isser est situé à environ 70 km au sud Est d'Alger. Il est constitué de l'Atlas Tellien algérois au Nord qui culmine à 1130 m au djebel Tamesguida et de la chaîne Bibans au Sud qui culmine à 1810 m au djebel Dhira ; les deux chaînes étant séparée par la plaine des Aribis, avec une altitude de 550 m .

Il présente une forme allongée sur l'axe Sud-ouest (Ain Boucif, Beni Slimane)

Les limites des deux bassin versants par rapport à la ville de Béni Slimane sont présentées dans la figure suivante :

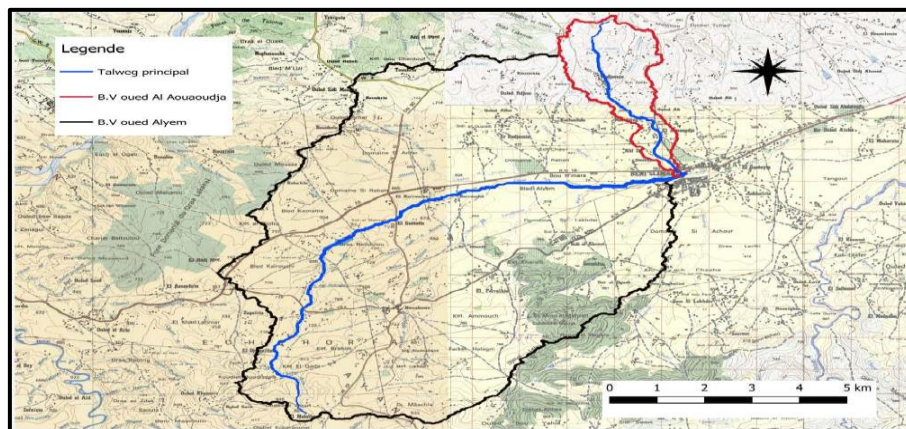


Figure III-1 Les limites des deux bassin versants par rapport à la ville de Béni Slimane(ArcGis).

### III.2.1 Caractéristiques Morphométriques des Bassins Versants

Les caractéristiques morphométriques et hydrographiques ont été calculées à partir des relevés topographiques de la carte au 1 / 50 000e.

- La superficie du bassin versant est obtenue par mesure sur la carte après délimitation.
- Le périmètre est défini par la ligne de crêtes formant le contour du bassin versant et mesurés au curvimètre.
- Les longueurs des thalwegs les plus longs de ce bassin versant.
- La largeur moyenne est calculée suivant la relation :

$$B_{moy} = \frac{S}{L} \quad \text{III-1}$$

Où : S - superficie du bassin versant en Km<sup>2</sup>.

L - longueur du thalweg le plus long en Km.

Le coefficient d'allongement est obtenu à partir de la relation :

$$Ca = \frac{L^2}{S} \quad \text{III-2}$$

Ce qui donne après calcul :

- L'indice de forme appelé indice de compacité de Gravelius est calculé par la relation suivante :

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}} \quad \text{III-3}$$

S : Superficie du bassin (Km<sup>2</sup>).

P : Périmètre du bassin (Km).

Kc : Indice de compacité de Gravelius.

La compacité du bassin traduit la réponse du bassin pour un épisode de crue.

Quand le bassin versant est de forme allongée, le temps mis par une goutte d'eau pour parcourir la distance entre un point éloigné et l'exutoire est plus grand ; le temps de réponse est donc plus important

et le débit de pointe peut être atténué. Tandis que la forme ramassée traduit par un indice de Gravelius faible favorise un temps court de circulation des eaux jusqu'à l'exutoire avec une augmentation du risque des crues. On adopte la classification du coefficient de Gravelius suivante:

Tableau III-2 Différentes classes du coefficient de Gravelius (Laborde, 2003).

$K_c$	Classe	Type de réponse
$k_c < 1.25$	Bassin compact	Réponse rapide
$1.25 < k_c < 1.5$	Bassin de forme moyenne	Réponse moyenne
$k_c > 1.5$	Bassin allongé	Réponse plus lente

- **Rectangle équivalent :**

On définit le rectangle équivalent comme le rectangle de longueur L et de largeur l qui a même surface et même périmètre que le bassin versant, soit à l'aide de :

$$P = 2 \cdot (L + l) \quad \text{et} \quad S = L \cdot l$$

Les caractéristiques du rectangle équivalent sont évaluées à l'aide des formules suivantes :

$$L_e = \frac{K_c \cdot \sqrt{S}}{1.12} \cdot \left[ 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c}\right)^2} \right] \quad \text{III-4}$$

Et

$$l_e = \frac{K_c \cdot \sqrt{S}}{1.12} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c}\right)^2} \right] \quad \text{III-5}$$

Avec :

«  $L_e$  » et «  $l_e$  » : la longueur la largeur du rectangle (Km).

S : la surface du bassin versant (Km<sup>2</sup>).

$K_c$  : l'indice de compacité.

Application numérique :

Les paramètres géomorphologiques des deux bassins versants des oueds Alyem et Aouaoudja sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III-3 Les paramètres géomorphologiques des deux bassins versants des oueds Alyem et Aouaoudja

Bassin	S (km <sup>2</sup> )	P (Km)	L(Km)	Bmoy	Ca	Kc	Lre	lre
-	(Km <sup>2</sup> )	(Km)	(Km)	(Km)	-	-	(Km)	(Km)
<b>Béni Slimane</b>								
Oued Aouaoudja	6.07	21.00	6.66	0.91	7.31	2.39	9.81	0.62
Oued Alyem	73.15	59.16	15.36	4.76	3.23	1.94	26.62	2.75

A partir de la carte topographique, nous avons extrait les altitudes minimale et maximale des bassins versants.

- Pente du cours d'eau principal : Le temps pris par les écoulements dépend directement de la longueur du trajet et de sa pente. Celle-ci influe sur la distribution temporelle de l'hydrogramme.
- La pente moyenne s'exprime par le rapport de la différence de niveau entre la source h1(m) et l'exutoire h2(m) et distance L (km) entre les deux points.

$$P_{\text{moy}} = \frac{(h_1 - h_2)}{L} \quad \text{III-6}$$

Où : h1 : Altitude maximale (Hmax) du cours d'eau principale.

h2 : Altitude minimale (Hmin) du cours d'eau principale.

L : Longueur totale du thalweg principal.

Les résultats de calcul obtenus sont les suivants :

Tableau III-4 Pente moyenne des bassins versants

B.V	L(Km)	H max	Hmin	Pmoy
-	(Km)	(m)	(m)	%
<b>Béni Slimane</b>				
Oued Aouaoudja	6.66	833	580	3.83
Oued Alyem	15.36	840	580	1.69

### III.2.2 Etude du relief

L'étude détaillée du relief, via la courbe hypsométrique notamment, est essentielle pour caractériser le comportement hydrologique d'un bassin versant, en particulier sa réactivité aux précipitations et son exposition aux crues soudaines. Cette connaissance est cruciale pour la gestion des risques et la conception des ouvrages hydrauliques.

#### III.2.2.1 Courbes hypsométriques

Les courbes hypsométriques fournissent des informations clés sur la topographie d'un bassin versant, permettant de mieux comprendre son comportement hydrologique et de comparer différents bassins entre eux. Elles sont donc un outil précieux pour l'analyse et la gestion des ressources en eau.

- Oued Aouaoudja:

Tableau III-5 Répartition hypsométrique du bassin versant Oued Aouaoudja

Classe d'altitude	Surfaces partielles		Altitude	Surface partielle cumulée
	km <sup>2</sup>	%		
			833	0
800-833	0.19	3.13	800	3.13
800-750	1.14	18.78	750	21.91
750-700	0.93	15.32	700	37.23
700-650	1.32	21.75	650	58.98
650-600	2.02	33.28	600	92.26
600-580	0.47	7.74	580	100.00
	<b>6.07</b>	<b>100.00</b>		



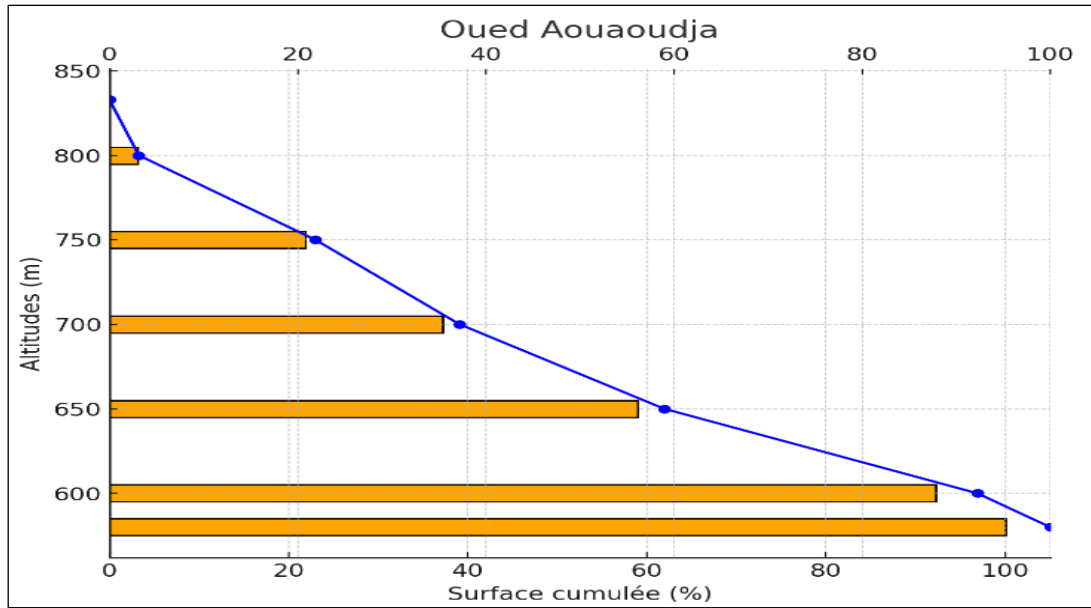


Figure III-2 Courbe hypsométrique de Oued Aououdja

- Oued Alyem :

Tableau III-6 Répartition hypsométrique du bassin versant Oued Alyem

Classe d'altitude	Surfaces partielles		Altitude	Surface partielle cumulée
	km2	%		
			1078	0
1078-1050	0.10	0.43	1050	0.43
1050-1000	1.74	7.51	1000	7.94
1000-950	2.65	11.44	950	19.39
950-900	7.29	31.48	900	50.86
900-858	11.38	49.14	858	100.00
			1078	
	<b>23.16</b>	<b>100.00</b>		

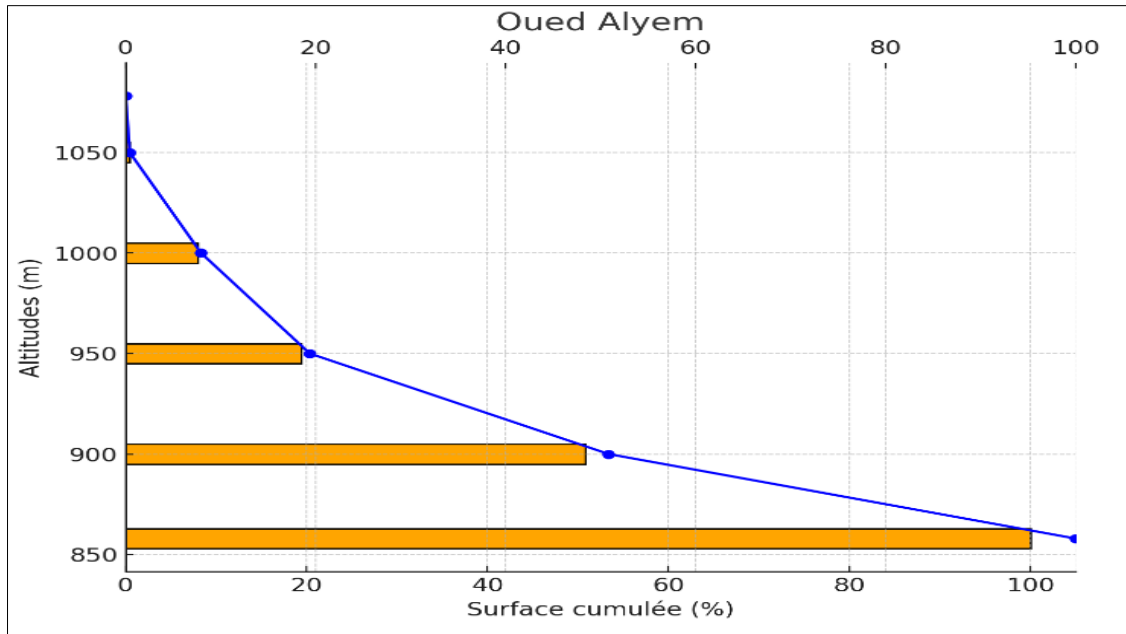


Figure III-3 Courbe hypsométrique de Oued Alyem

### III.2.2.2 Les altitudes

- **Altitude maximale et minimale Hmax – Hmin**

Les altitudes maximale et minimale d'un bassin versant sont des paramètres clés obtenus directement à partir des cartes topographiques. L'altitude maximale indique le point le plus élevé du bassin, tandis que l'altitude minimale correspond généralement au point le plus bas, situé à l'exutoire.

- **Altitude moyenne Hmoy**

C'est le rapport entre la somme des surfaces élémentaires multipliées par leur altitude moyenne correspondante et la surface totale du bassin versant (S).

$$H_{\text{moy}} = \frac{\sum S_i \cdot H_i}{S} \quad \text{III-7}$$

Avec :

$S_i$  : Surface élémentaire entre deux courbes de niveau en (Km<sup>2</sup>).

$H_i$  : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau en (m).

$S$  : Surface totale du bassin versant en (Km<sup>2</sup>).

- **Altitude H5%**

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

- **Altitude médiane H50%**

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

- **Altitude médiane H95%**

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

La présence de barrières orographiques influe sur le parcours des masses d'air humides donc sur l'écoulement. Les altitudes sont relevées de la courbe hypsométrique sont les suivantes :

Tableau III-7 Altitudes caractéristiques des bassins versants

Désignation	Symboles	Valeurs par BV	
		Aouaoudja	Oued Alyem
-Altitude maximale (m)	H max	833.00	980.00
-Altitude minimale (m)	H min	580	580
-Altitude fréquentielle (m)	H <sub>5%</sub>	825.00	790.00
-Altitude fréquentielle (m)	H <sub>50%</sub>	700.00	665.00
-Altitude fréquentielle (m)	H <sub>95%</sub>	595.00	585.00
-L'altitude moyenne (m)	Hmoy	682.65	802.85

L'information de base pour le calcul de l'altitude moyenne est présentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau III-8 Répartition altimétrique des superficies du bassin versant Oued Aouaoudja

Courbes de niveau (m)	Surface partielle (km <sup>2</sup> )	Altitudes moyennes (H moy)	S *Hmoy
800-833	0.19	816.50	155.135
800-750	1.14	755.00	860.70
750-700	0.93	725.00	674.25
700-650	1.32	675.00	891.00
650-600	2.02	625.00	1262.5
600-580	0.47	590.00	277.3
		Hmoy	<b>686.81</b>

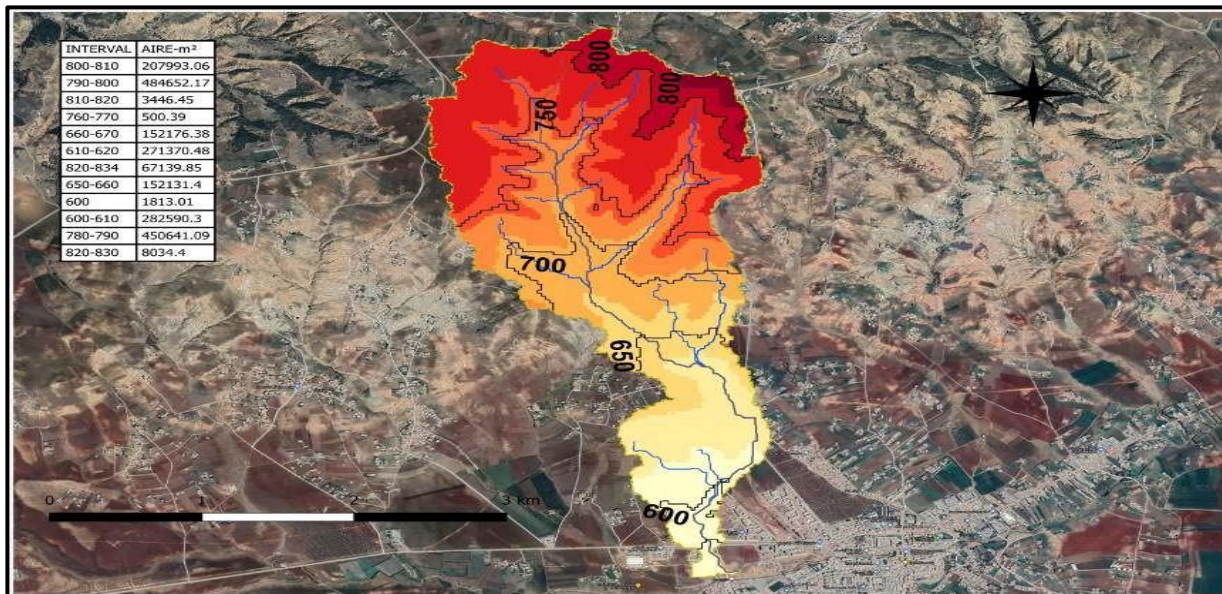


Figure III-4 : Limites du bassin versant de oued Aouaoudja et courbes de niveau

Tableau III-9 Répartition altimétrique des superficies du bassin versant Oued Alyem

Courbes de niveau	Surface partielle	Altitudes moyennes	S *Hmoy
(m)	(km2)	(H moy)	
1078-1050	0.10	1064.00	106.40
1050-1000	1.74	1025.00	1783.50
1000-950	2.65	975.00	2583.75
950-900	7.29	925.00	6743.25
900-858	11.38	879.00	10003.02
	23.16		21219.92
	Hmoy		<b>916.23</b>

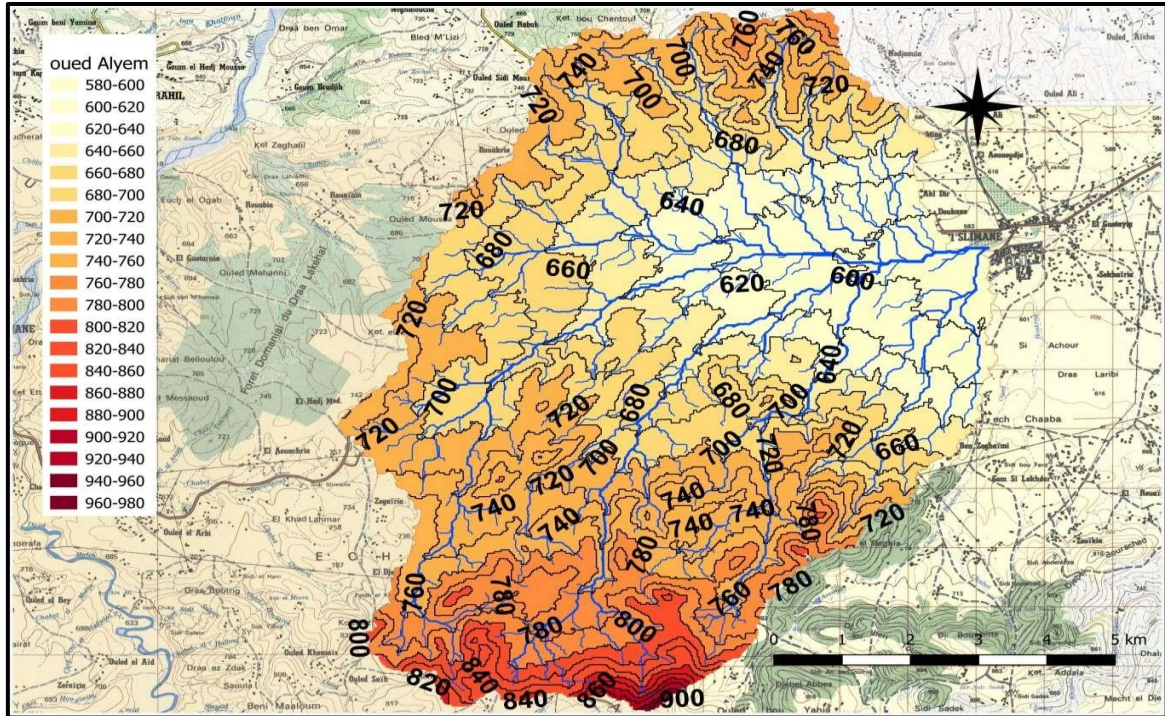


Figure III-5 Limites du bassin versant d'Oued Alyem et courbes de niveau

### III.2.3 Les pentes

La pente générale du bassin versant est reliée de façon complexe au phénomène de ruissellement étant donné son influence sur le temps de concentration.

#### III.2.3.1 Pente du cours d'eau principal

Le temps pris par les débits le long du cours d'eau dépend directement de la longueur du trajet et de sa pente. La pente moyenne s'exprime par le rapport de la différence de niveau entre la source et l'exutoire et la distance entre les deux points (du cours d'eau), et elles peuvent être tirées du profil en long du cours d'eau principal.

Tableau III-10 Calcul de la pente du cours d'eau principal des différents Bassins Versants

<b>B.V</b>	<b>L(Km)</b>	<b>H<sub>max</sub></b>	<b>H<sub>min</sub></b>	<b>P<sub>moy</sub></b>
	<b>(Km)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>%</b>
<b>Béni Slimane</b>				
Oued Aouaoudja	0.77	833	580	3.80
Oued Alyem	1.38	952	580	2.60

### III.2.3.2 L'indice de pente Roche Ip

L'indice de pente de ROCHE tient compte de la répartition hypsométrique, il se calcule d'après la relation :

$$I_p = \left( \frac{1}{\sqrt{Lr}} \right) \sum \sqrt{S_i(H_i - H_{i-1})} = I_p = \left( \frac{1}{\sqrt{Lr}} \right) \sum \sqrt{S_i \cdot H_i} \quad \text{III-8}$$

Avec :

**S<sub>i</sub>** : surface entre deux courbes de niveaux compris entre H1 et H2 en pourcentages,

**H<sub>i</sub>...H<sub>i-1</sub>** : Distance (largeur) qui sépare les deux courbes de niveau du bassin versant considéré comme rectangle, égale au produit de Lr par le pourcentage de la surface intéressé,

**Lr** : est la longueur du rectangle équivalent (en mètres).

### III.2.3.3 Indice de pente globale Ig

La pente moyenne globale peut être également obtenue par la relation qui tient compte de la répartition hypsométrique.

$$P_{\text{moy}} = \frac{(H5\% - H95\%)}{L} \quad \text{III-9}$$

Avec :

**L** : longueur du rectangle équivalent.

Du fait qu'elle tient compte de la répartition hypsométrique, nous la retiendrons comme pente représentative.

$$I_g = \frac{D}{L} \quad \text{III-10}$$

**D** : dénivelée (h5%-h95%).

**L** : longueur du rectangle équivalent.

Tableau III-11 Classification O.R.S.T.O.M du relief à partir de l'indice de pente global.

	<b>Relief</b>	<b>Valeur de I<sub>g</sub></b>
1	Relief très faible	I <sub>g</sub> < 0.002
2	Relief faible	0.002 < I <sub>g</sub> < 0.005
3	Relief assez faible	0.005 < I <sub>g</sub> < 0.01
4	Relief modéré	0.01 < I <sub>g</sub> < 0.02
5	Relief assez fort	0.02 < I <sub>g</sub> < 0.05
6	Relief fort	0.05 < I <sub>g</sub> < 0.1
7	Relief très fort	0.1 < I <sub>g</sub>

Application numérique :

Tableau III-12 Résultats de calculs de la pente globale

Désignation	Symboles	Valeurs par BV	
		O.Aouaoudja	Oued Alyem
-Altitude fréquentielle (m)	H <sub>5%</sub>	<b>825.00</b>	<b>790</b>
-Altitude fréquentielle (m)	H <sub>95%</sub>	<b>595.00</b>	<b>585</b>
-Longueur rectangle équivalent (m)	L <sub>re</sub>	<b>9.81</b>	<b>26.62</b>
-Indice de pente globale	I <sub>g</sub>	<b>23.45</b>	<b>7.70</b>

#### III.2.3.4 Dénivelée spécifique

Produit de l'indice de pente global (I<sub>g</sub>) par la racine carrée de la superficie du bassin (S). Elle s'exprime en mètres, en théorie de l'aire du bassin.

$$D_s = I_g \cdot \sqrt{S} = D \cdot \sqrt{\frac{l}{Lr}} \quad \text{III-11}$$

Tableau III-13 Classification des reliefs d'après l'O.R.S.T.O.M.

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

**O.R.S.T.O.M** : L'Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer (O.R.S.T.O.M) est une institution française dédiée à la recherche scientifique, principalement dans les domaines liés aux territoires d'outre-mer.

### III.2.4 Indice de densité de drainage

Le réseau hydrographique ou de drainage, est constitué d'un cours d'eau principal et d'une multitude de cours d'eau qui peuvent être temporaires ou permanents, qui sont caractérisés par :

- **Densité de drainage**

C'est le rapport entre la longueur totale des cours d'eau et la superficie du bassin versant.

$$D_d = \sum L_i / S \quad \text{III-12}$$

$$D_d = 1.67 \text{ km/km}^2$$

Avec :

$L_i$  : longueurs de tous les cours d'eau, mesurées sur la carte du chevelu hydrographique.

$S$  : Surface du bassin versant ( $\text{Km}^2$ ).

La densité de drainage est élevée, donc les eaux précipitées seront rapidement évacuées.

- **Coefficient de torrentialité**

Le coefficient de torrentialité ( $C_t$ ) est un indicateur utilisé pour évaluer la densité du drainage dans un bassin versant. Il est calculé selon la formule :

$$C_t = D_d \cdot F_i \quad \text{III-13}$$

$$C_t = 2.46$$



Où :

- Ct est le coefficient de torrentialité,
- Dd représente la densité de drainage,
- Fi désigne la fréquence des cours d'eau d'ordre élémentaire (d'ordre 1).

- **Fréquence (densité) des oueds élémentaires**

La fréquence des oueds élémentaires, notée Fi, est calculée selon la formule suivante :

$$F_i = \frac{N1}{S} \quad \text{III-14}$$

$$F_i = 1.47$$

Avec :

N1- Nombre de thalwegs d'ordre n°1, N1=34.

- Pour chiffrer la ramification du réseau hydrographique, chaque cours d'eau reçoit un numéro en fonction de son importance, appelée ordre du cours d'eau.
- Tout cours d'eau n'ayant pas d'affluent est d'ordre 1.
- Au confluent de deux cours d'eau de même ordre n, le cours d'eau résultant est d'ordre n+1.
- Un cours d'eau recevant un influent d'ordre inférieur garde son ordre.

Les bassins versants (selon les cartes du réseau hydrographique) disposent :

Tableau III-14 Chevelu hydrographique

Désignation	Symbole	Unités	Nombre	
			Oued Aouaoudja	Oued Alyem
Densité de drainage	Dd	km/km <sup>2</sup>	3.14	3.38
Coefficient de torrentialité	Ct	km/km <sup>2</sup>	4.30	5.55
Densité des oueds élémentaires	Fi	Km <sup>2</sup>	3.79	4.72
Talweg d'ordre				
1			23	345
2			7	42
3			1	18
4				5
5				2
6				1

### III.2.5 Profil en long

Il s'agit de représenter graphiquement la variation altimétrique du fond du cours d'eau en fonction de la distance de l'émissaire. Le profil est établi en portant en abscisse les longueurs développées et en ordonnées les côtes de l'eau dans le cours d'eau. Le profil en long permet de définir sa pente moyenne. Elle détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire donc le temps de concentration.

Distances cumulées	Altitudes
0	833
1389.81	800
2606.5	750
3299.79	700
4819.86	650
6138.76	600
6660	580

Figure III-6 Profil en long du cours d'eau principal –Oued Aouaoudja

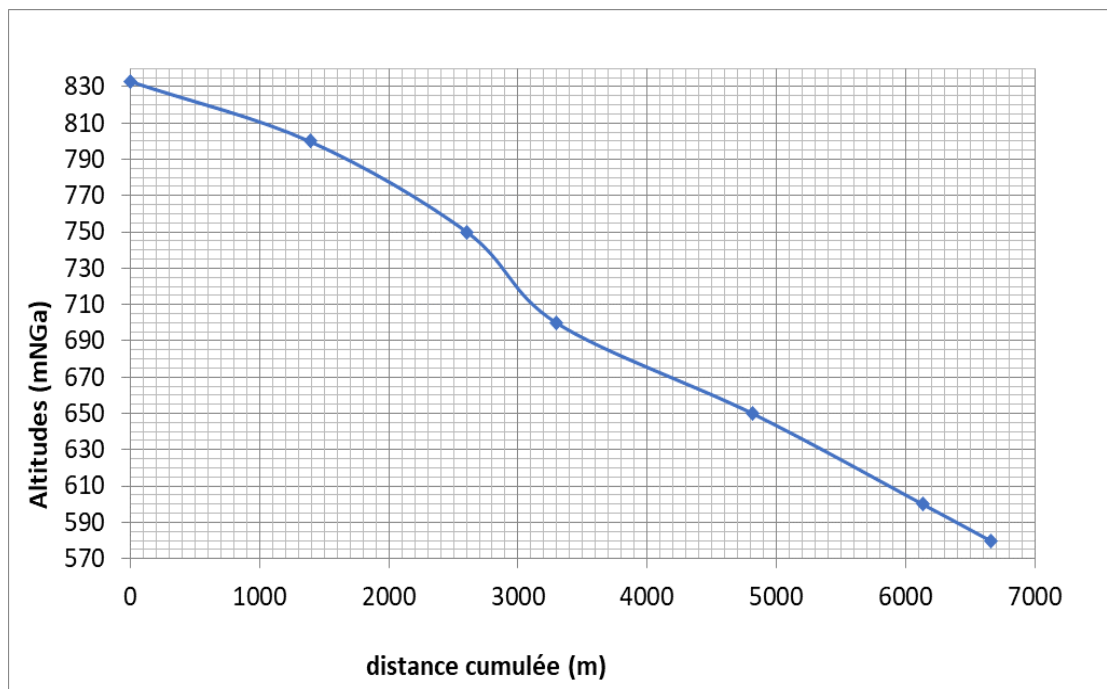


Figure III-7 Profil en long – oued Aouaoudja

Tableau III-15 Profil en long du cours d'eau principal Oued Alyem

<b>Altitudes - m</b>	<b>Distances cumulées – ml</b>
840	0
780	1 163.66
720	4 335.72
660	7 820.16
600	12 857.19
580	15 360.00

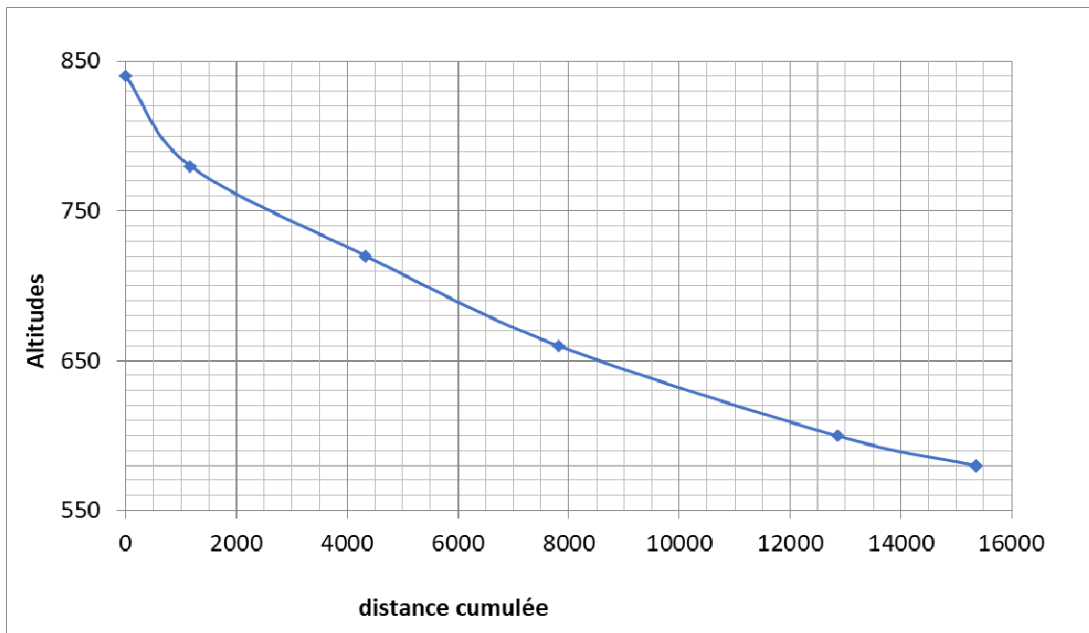


Figure III-8 Profil en long – Oued Alyem

### III.2.6 Temps de concentration $T_c$

Il existe 102 formules de calcul issues de la littérature. Elles expriment toutes  $t_c$  en heures en fonction de  $L$  la longueur du plus long thalweg (en m), de la pente moyenne (en m/m) et de la surface du bassin versant ( $\text{km}^2$ ).

La valeur du temps de concentration  $t_c$  peut se déterminer par le recoupement de différentes méthodes empiriques de calcul (moyenne des résultats). Parmi les formules existantes permettant de calculer le temps de concentration, nous citons :

- GIANDOTTI :

$$T_c = \frac{1.5 \cdot L + 4 \cdot \sqrt{S}}{0.8 \cdot \sqrt{H_{\text{moy}} - N}} \quad \text{III-15}$$

Avec :

**S** - superficie du bassin versant.

**L** - longueur du thalweg le plus long  $H_{\text{moy}}$ .

N - altitudes moyenne et minimale du bassin versant.

- TURAZZA :

$$T_c = 65.10 \times S^{0.5} \quad \text{III-16}$$

Avec :

S - superficie du bassin versant - km<sup>2</sup> et T<sub>c</sub> en minutes

- VENTURA :

$$T_c = 0.1272 \cdot \sqrt{\frac{S}{I}} \quad \text{III-17}$$

Avec :

I - pente moyenne du thalweg principal

En se référant au résultat de calcul des caractéristiques hydro-morphologiques des bassins versants récapitulés, les temps de concentration de ces bassins versants calculés par les relations citées ci-dessus, sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau III-16 Récapitulatif du calcul du temps de concentration

Bassin versant	Données de base									Temps de concentration en heures			
	S		L		Hmax	Hmoy	Hmin	Hmoy-Hmin	Pente	Giandotti	Ventura	Turazza	Adopté
	km <sup>2</sup>	ha	km	m	m	m	m	m	m/m				
Alyem	73.15	7315	15.36	15360	980	660	580	80	0.01	8.00	12.38	9.28	8.00
Aouaoudja	6.07	607	6.66	6660	833	660	580	80	0.023	2.77	2.04	2.67	2.77

### III.2.7 Vitesse de ruissellement V<sub>r</sub>

La vitesse de ruissellement est un paramètre clé à prendre en compte dans l'étude des bassins versants, car elle conditionne l'écoulement de l'eau en surface, l'infiltration dans le sol et les phénomènes

d'érosion. Elle est calculée en utilisant le temps de concentration selon la formule de Turazza, car c'est la méthode la plus utilisée en Algérie par la formule suivante :

$$Vr = \frac{Lcp}{Tc} \quad \text{III-18}$$

Avec : Vr : vitesse de ruissellement (Km/h).

Lcp : Longueur du cours d'eau principal (Km).

Tc : Temps de concentration (h).

Tableau III-17 La vitesse de ruissellement.

BV	Lcp (Km)	Tc (h)	Vr (Km/h)
Alyem	15.36	8.00	1.92
Aouaoudja	6.66	2.77	2.40

Tableau III-18 Récapitulatif des caractéristiques des bassins versants.

Bassins versants		Oued Aouaoudja	Oued Alyem
Coordonnées	X	527 408.00	527 408.00
	Y	4 009 500.00	4 009 500.00
	Z (m)	582.00	582.00
Surfaces	Km <sup>2</sup>	6.07	73.15
Périmètres	Km	21.00	59.16
Longueur du talweg principal	Km	6.66	15.36
Altitudes maximales	M	833.00	980.00
Altitudes minimales	M	580	580.00
Altitudes moyennes	M	682.65	802.85
Altitudes 5%	M	825.00	790.00
Altitudes 50%	M	700.00	665.00
Altitudes 95%	M	595.00	585.00
Indice compacité	Kc	2.39	1.94
Indice de ROCHE	Ir	49.81	33.04
Pente du cours d'eau	m/km	37.99	26.04
Pente globale en %	%	3.80	2.60
Coefficient d'allongement	Ca	7.31	3.23
Largeur moyenne	M	0.91	4.76
Longueur équivalent	Km	9.81	26.62
Largeur équivalent	Km	0.62	2.75
Densité de drainage	km/km <sup>2</sup>	3.14	3.38
Coefficient de torrentialité	km/km <sup>2</sup>	4.30	5.55
Temps de concentration	h	2.77	8.00
vitesse de ruissellement	km/ h	2.40	1.92

### III.3 Etude des précipitations

Les conditions climatiques et d'autres facteurs qui régissent l'écoulement superficiel, jouent un rôle important dans le régime hydrologique des cours d'eau. Les facteurs climatiques les plus déterminants sont les précipitations, les températures de l'air et de l'eau, le vent et l'évaporation.

Sous le terme de « précipitation », on englobe toutes les eaux météoriques qui tombent à la surface d'un bassin versant (pluies, neiges, grêles...). Les précipitations constituent l'élément le plus important du bilan hydrique.

En régime climatique méditerranéen, on distingue deux origines principales de précipitations :

- Les précipitations frontales de convergences, dues à l'opposition des grandes masses d'air polaires et tropicales. Elles sont en partie responsables des chutes de neige en altitude.
- Les précipitations de convection dues à l'ascension rapide des masses d'air chaudes tropicales provoquant ainsi une situation instable orageuse et des averses très violentes.

En Algérie, les changements climatiques observés à l'échelle de la planète se sont traduits par une hausse de la température moyenne minimale et maximale enregistrée sur l'ensemble des stations de l'Algérie du Nord depuis les années soixante-dix et qui se prolonge jusqu'à nos jours. Ils ont provoqué une sécheresse endémique depuis 1970 (Meddi & Humbert, 2000) et un déficit pluviométrique d'environ 25% (Meddi et al. (2003)).

#### III.3.1 Equipement des Bassins Versants

Pour la détermination des paramètres hydrologiques, nous avons choisi de traiter les données des stations pluviométriques de Béni Slimane pour les oueds Alyem et Aouaoudja

L'étude du régime des précipitations mensuelles des bassins versants sera effectuée à partir des données de précipitations mensuelles enregistrées au niveau de la station pluviométrique située à l'intérieur du bassin versant pour Béni Slimane qui appartient au bassin hydrographie 9- Issers dont la qualité des observations est jugée bonne et les séries des données paraissent fiables.



Tableau III-19 station pluviométrique - bassin versant Beni Slimane

Nom de la station	Code	COORDONNEES			Années D'observations
		X	Y	Z	
Beni Slimane	090302	557.20	322.65	600	1965-2022 avec des lacunes

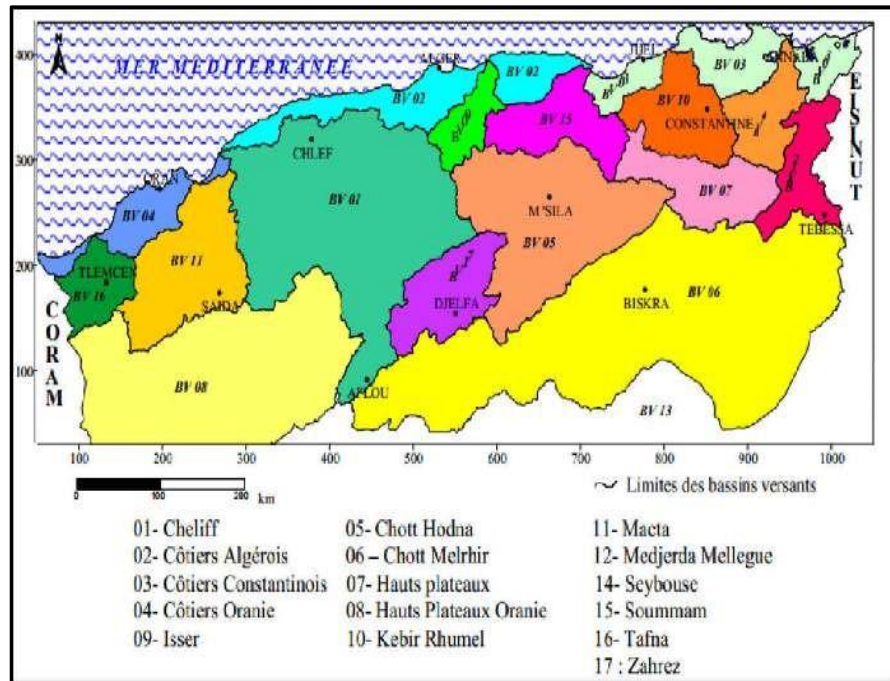


Figure III-10 Situation des bassins versants ( ANRH).

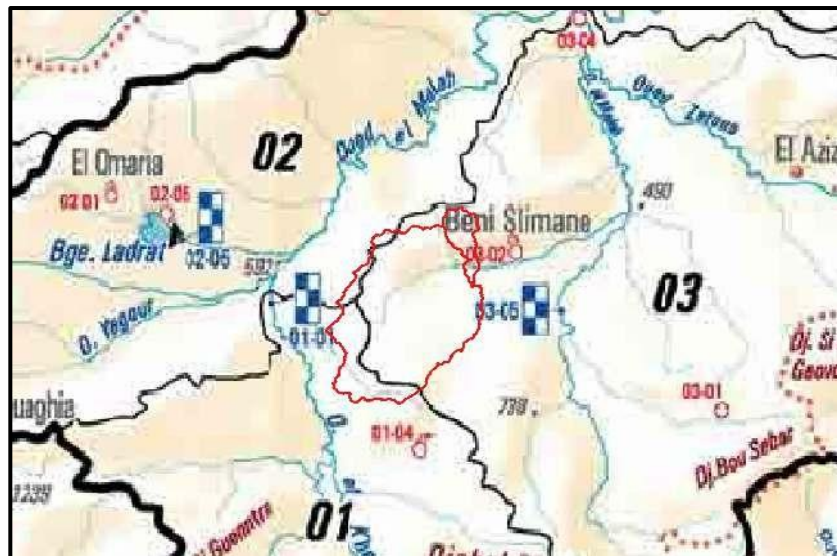


Figure III-9 Bassin versant de Beni-Slimane sur carte du réseau ANRH

### III.3.2 Précipitations moyennes annuelles

La précipitation moyenne annuelle représentative du bassin versant en étude peut être déterminée soit à partir des observations enregistrées au niveau de la station pluviométrique de Béni Slimane soit au niveau de la carte pluviométrique de l'Algérie élaborée par l'ANRH.

Malgré le fait que la carte de l'ANRH ait été établie sur la base d'une très grande base de données nous allons comparer les valeurs obtenues du dépouillement des observations avec celles de la carte ANRH, sachant qu'une réduction de la pluviométrie moyenne annuelle est observée ces dernières décennies, comme l'ont d'ailleurs bien fait ressortir des études élaborées dans le domaine.

L'irrégularité de la répartition des précipitations durant l'année et leur relative concentration pendant une période donnée sont à l'origine soit des inondations soit de la sécheresse. Par leur volume, les précipitations semblent être importantes mais en réalité elles représentent un caractère torrentiel pernicieux à l'origine des crues de la région.

Le tableau ci-dessous donne la répartition moyenne annuelle établie sur la base des observations faites à la station ANRH :

Tableau III-20 répartition des pluies moyennes annuelles

Mois	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	août	annuel
Pluie Mensuelle en (mm)	23.13	34.7	42.4	50.1	50.1	42.4	42.4	38.5	34.7	15.42	3.8	7.7	385.54
Répartition en %	6	9	11	13	13	11	11	10	9	4	1	2	100

Pour donner un aperçu sur l'évolution annuelle des précipitations, nous avons représenté la répartition moyenne annuelle dans le graphique suivant :

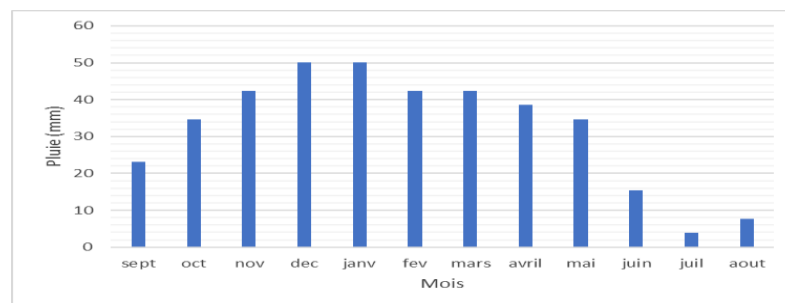


Figure III-1 Répartition mensuelle de la pluviométrie Station Béni Slimane

### III.3.3 Précipitations maximales journalières

L'étude des précipitations maximales se basera sur les maximums mensuels des précipitations, observées en 24 heures sur le poste pluviométrique du bassin versant. Les séries d'observation des maximums mensuels et journaliers des précipitations dans l'annexe 01.

Au cours des calculs des pluies maximales journalières, appartenant aux différentes fréquences, il est admis d'utiliser plusieurs lois de distribution. Parmi les lois de distributions qui peuvent rendre compte de la statistique des phénomènes extrêmes, les lois de Gumbel, Galton et Pearson III s'adaptent le mieux aux variables pluviométriques. L'application de ces lois nécessite les valeurs de la pluviométrie maximale journalière et celle du coefficient de variation.

Tableau III-21 Caractéristiques de l'échantillon

Paramètres	Caractéristiques de l'échantillon
Pluie moyenne	38.42
Ecart type	15.03
Pluie maximale	103.0
Pluie minimale	17.9
Pluie médiane	35.8
Coefficient de variation	0.39
Coefficient d'asymétrie	1.18
Nombre d'observations	54

#### ➤ Logiciel HYFRAN

Le logiciel HYFRAN (HYdrologie FRéquentielle ANalyse) est un outil essentiel pour les hydrologues et les professionnels de l'eau, conçu pour effectuer des analyses statistiques approfondies et estimer les quantiles associés à différentes périodes de retour. Développé par l'équipe du Pr. Bernard Bobée à l'INRS-ETE, il offre une gamme de fonctionnalités qui facilitent l'analyse fréquentielle.

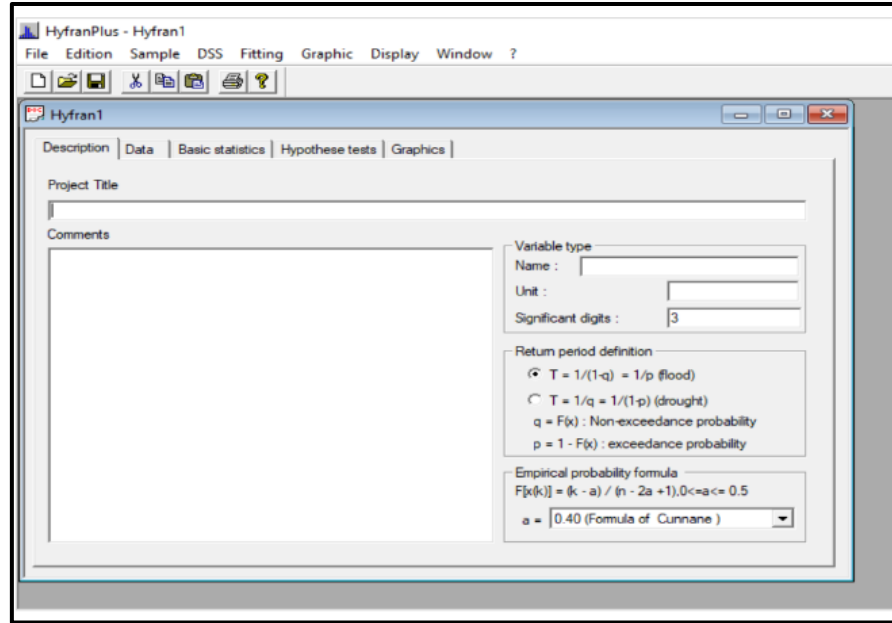


Figure III-12 Interface du logiciel HYFRAN.

### ➤ Ajustement des pluies maximales journalières

L'échantillon est soumis à un dépouillement et un ajustement selon un ensemble de lois statistiques et à partir d'une analyse comparative des résultats, nous choisirons la meilleure adéquation.

#### 1) Ajustement de la série à la loi de GUMBEL

La forme suivante est utilisée pour représenter la fonction de répartition :

$$F(x) = e^{-e^{\frac{x-\beta}{\alpha}}} \quad \text{III-19}$$

La variable réduite  $u$  de Gumbel est définie par l'expression suivante :

$$u = \frac{x - \beta}{\alpha} \quad \text{III-20}$$

On obtient :

$$F(x) = e^{-e^u} \quad \text{III-21}$$

Les paramètres de la loi de Gumbel peuvent être déterminés en utilisant la méthode des moments, de la manière suivante :

$$\alpha = 0.78\bar{x} \quad \text{III-22}$$

$$\beta = \bar{x} - 0.45\sigma \quad \text{III-23}$$

Avec :

$\bar{x}$ : La moyenne de l'échantillon.

$\sigma$  : L'écart type de l'échantillon.

F(x) : Probabilité au non dépassement.

La variable réduite u de Gumbel se calcule par :

$$u = -\log(-\log F(x)) \tag{III-24}$$

Le logiciel HYFRAN a été utilisé pour ajuster la série de données à la loi de Gumbel. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III-22 Résultats d'ajustement à la loi de Gumbel.

T (ans)	Fréquence (q)	Pjmax (mm)	Ecart Type	Intervalle de confiance
1000	0.9990	147	9.11	138 - 191
100.0	0.9900	110.1	6.34	92.6 - 128
50.0	0.9800	86.2	5.51	71.7 - 96.6
20.0	0.9500	75.5	4.42	65.4 - 87.0
10.0	0.9000	67.3	3.61	56.9 - 74.2
5.0	0.8000	58.8	2.81	50.3 - 64.4
3.0	0.6667	52.0	2.23	43.3 - 54.3
2.0	0.5000	45.8	1.82	32.3 - 39.4

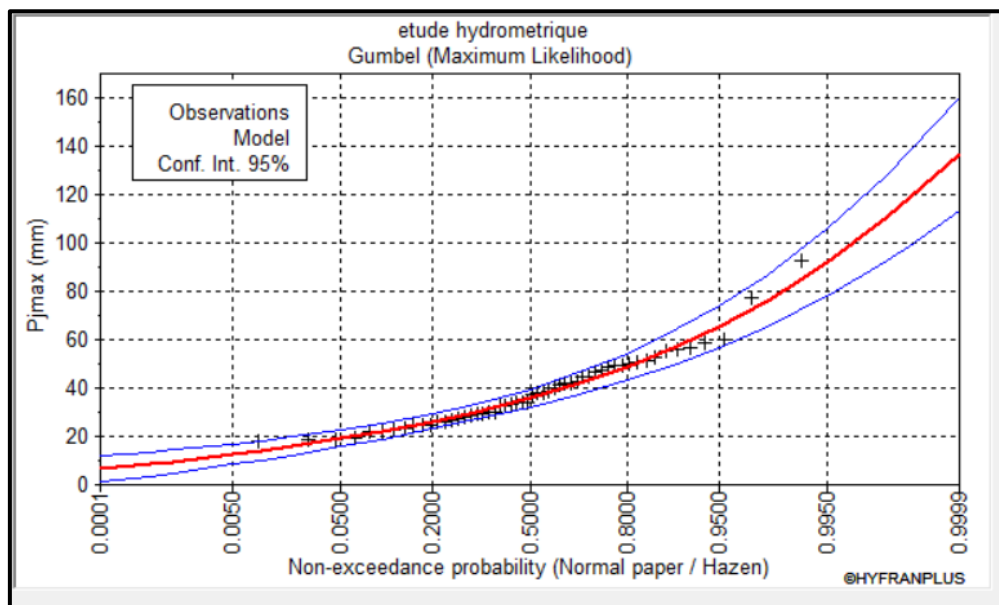


Figure III-13 Graphique d'ajustement à la loi de Gumbel. Etude Hydrometrique

## 2) Ajustement à la loi Log Normale (Loi de Galton) :

Sa fonction de répartition pour des fréquences au non dépassement est la suivante :

$$F(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^u \exp \frac{-u^2}{2} \quad \text{III-25}$$

Calcul des fréquences expérimental (au non dépassement) :

$$T = \frac{1}{1-q} \quad \text{et} \quad q = \frac{m-0.5}{n} \quad \text{III-26}$$

Avec :

m : Numéro d'ordre de la valeur.

N : Taille de l'échantillon.

Paramètres d'ajustement à la loi normale

$$X_{p\%} = X_{moy} + \sigma U_{p\%} \quad \text{III-27}$$

Avec :

$\sigma$  : Écart-type.

$X_{moy}$  : Hauteur de pluie moyenne

$U_{p\%}$  : Variable réduite de Gauss.

Le logiciel HYFRAN a été utilisé pour ajuster la série à la loi Log Normale, et les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III-23 Résultats d'ajustement à la loi de Log Normale.

T (ans)	Fréquence (q)	Pjmax (mm)	Ecart Type	Intervalle de confiance
1000.0	0.9990	134	14.1	128.2 - 190
100.0	0.9900	100.7	8.47	86.5 - 142
50.0	0.9800	87.4	7.00	69.1 - 102
20.0	0.9500	76.4	5.22	63.6 - 91.1
10.0	0.9000	67.9	4.00	56.1 - 76.6
5.0	0.8000	59.1	2.92	50.1 - 65.8
3.0	0.6667	52.1	2.25	43.4 - 54.8
2.0	0.5000	45.8	1.83	37.7 - 46.5

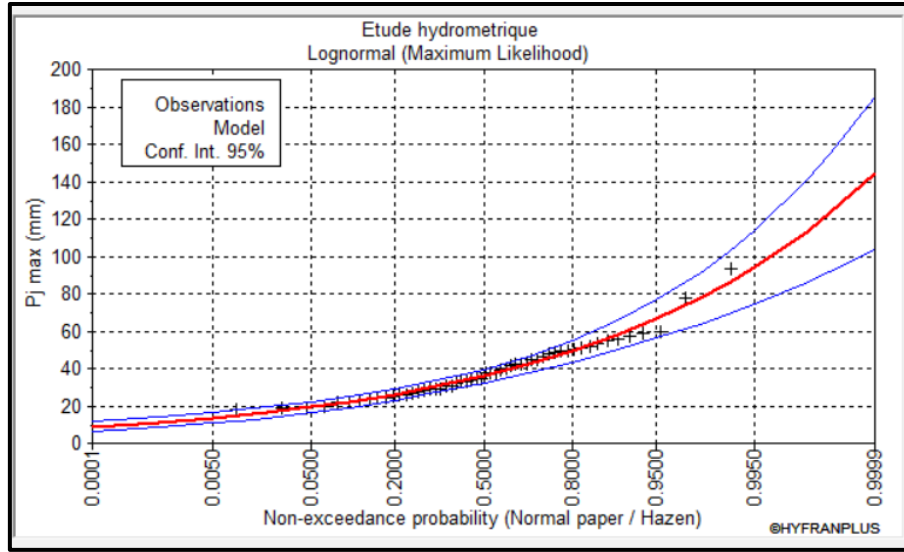


Figure III-14 Graphique d'ajustement à la loi Log normale

3) Log Pearson Type III :

Tableau III-24 Résultats d'ajustement à la loi de Log Pearson Type III

T (ans)	Fréquence (q)	Pjmax (mm)	Ecart Type	Intervalle de confiance
1000.0	0.9990	131	28.5	74.9 - 183
100.0	0.9900	98.0	12.8	65.0 - 177
50.0	0.9800	88.7	9.54	62.8 - 113
20.0	0.9500	76.8	6.13	60.0 - 97.4
10.0	0.9000	67.9	4.26	54.8 - 78.8
5.0	0.8000	58.8	2.98	49.5 - 66.2
3.0	0.6667	51.8	2.34	43.0 - 54.6
2.0	0.5000	45.5	1.93	37.3 - 46.4

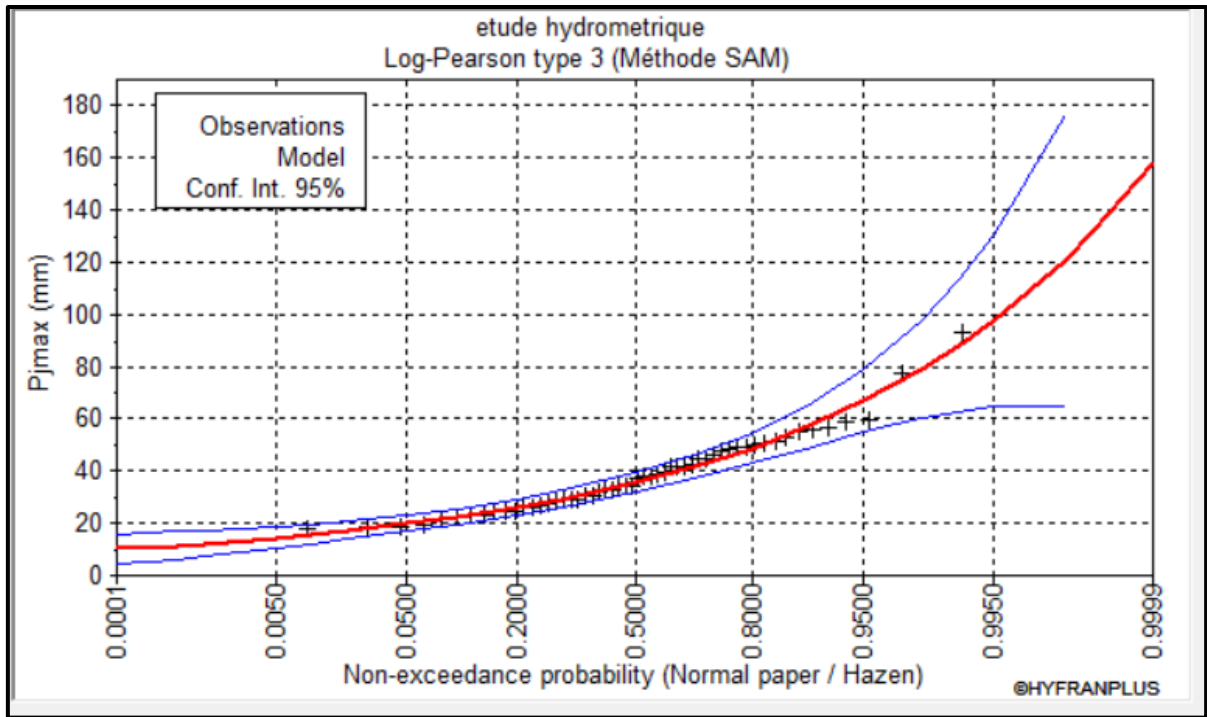


Figure III-15 Graphique d'ajustement à la loi Log Pearson type III

➤ Comparaison entre les lois d'ajustement

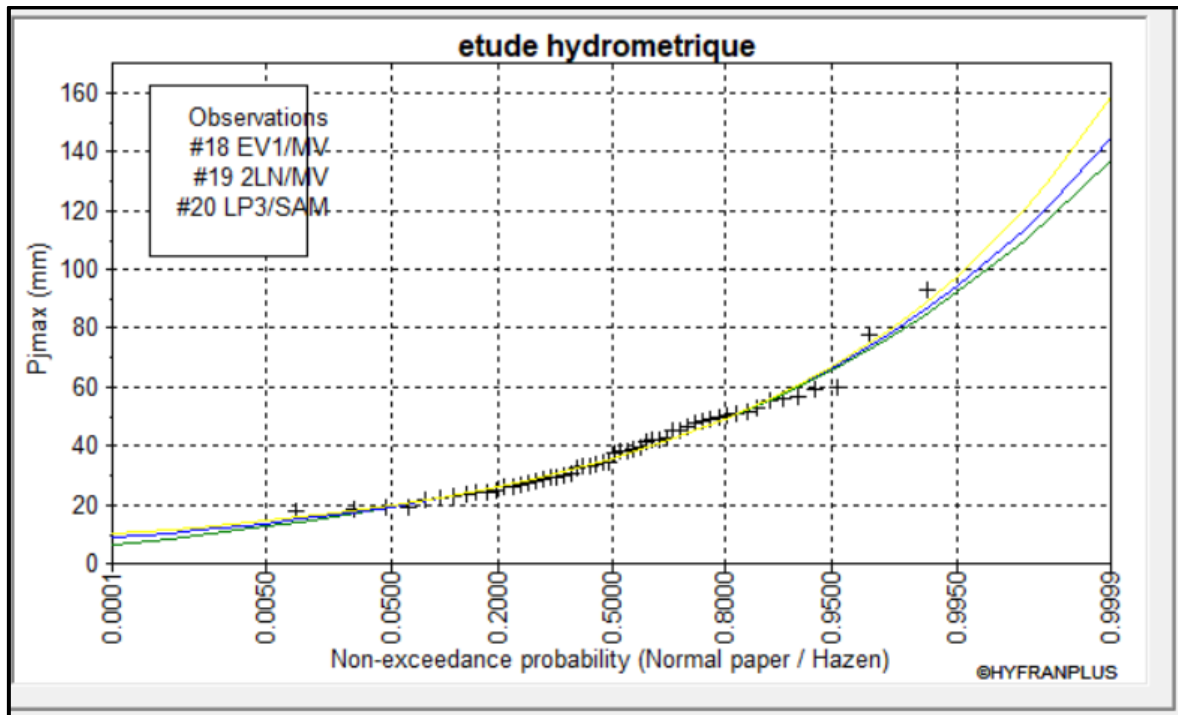


Figure III-16 Comparaison entre les lois d'ajustement



Tableau III-25 Comparaison des résultats d'ajustement des  $P_{jmax}$  avec les différentes périodes de retour

Loi d'ajustement	Période de retour - ans					
	2	5	10	20	50	100
Log Normal	45.8	59.1	67.9	76.4	87.4	100.7
Gumbel	45.8	58.8	67.3	75.5	86.2	110.1
Log Pearson Type III	45.5	58.8	67.9	76.8	88.7	98.0

4) Test d'adéquation du  $\chi^2$  :

Le test d'adéquation du  $\chi^2$  (chi-deux) est un test statistique utilisé pour vérifier si les distributions observées d'une variable catégorique correspondent à une distribution théorique attendue.

Pour évaluer la pertinence de ce test pour chaque ajustement, il est d'abord nécessaire d'utiliser le logiciel Hyfran afin de calculer la valeur de  $\chi^2$ . Ensuite, en se référant à la table de Pearson, on détermine la valeur théorique de  $\chi^2$ .

Pour que l'ajustement soit considéré fiable, la condition suivante doit être remplie :

- Si  $\chi^2$  calculé  $>$   $\chi^2$  théorique : la loi d'ajustement est rejetée.
- Si  $\chi^2$  calculé  $<$   $\chi^2$  théorique : la loi d'ajustement est acceptée.

Tableau III-26 Comparaison des caractéristiques des lois.

Lois statistiques	Degré de liberté	$\chi^2_{calculer}$	$\chi^2_{théorique}$
Log normal	6	6.00	12.59
Gumbel	6	5.00	12.59
Log Pearson Type III	5	7.33	11.07

**Interprétation :**

D'après le test d'adéquation, nous avons trouvé que  $\chi^2_{calculé} < \chi^2_{théorique}$ , confirmant que les trois lois sont compatibles avec notre série de données. Donc après avoir analysé les trois graphiques résultant des trois lois d'ajustement, nous observons que notre série s'ajuste le mieux à la loi de Gumbel. D'où nous optons pour la loi de Gumbel est  $P_{jmax1\%} = 110.1$  mm.

### III.3.4 Courbes IDF

#### ➤ A quoi servent les IDF ?

L'information sur la pluviométrie est de première importance pour la vie quotidienne. Plus spécifiquement les ingénieurs ont besoin de connaître les paramètres de la pluie probable afin de dimensionner les ouvrages qu'ils projettent où qu'ils entretiennent. Les autorités ont, elles, besoins de ces mêmes paramètres pour décider des objectifs de protection.

#### ➤ Loi de Montana

Une façon commode de présenter une relation est de l'exprimer par une équation : cela permet, à partir d'un petit nombre de paramètres, d'extraire avec précision la valeur désirée, d'autant plus que chacun dispose aujourd'hui d'outils informatiques.

Pour un temps de retour T donné la relation établie par Montana elle s'écrit comme :

$$I(t; T) = \frac{a(T)}{t^b} \quad \text{III-28}$$

I : Intensité de pluie exprimée en mm/h.

T : Période de retour exprimé en ans.

t : temps exprimé en heures .

« a » et « b » : paramètres de Montana.

Les séries de données des pluies journalières maximales ont été ajustées à une loi de Gumbel :

Les paramètres g (le gradex) et X0 (le mode) sont estimés à partir de la moyenne X et de l'écart type  $\sigma$  des précipitations :

$$g : 0,78 \cdot \sigma \quad \text{et} \quad X_0 = X - 0,577g \quad \text{III-29}$$

$$F(x) = X + \sigma(0,78 \cdot u - 0,45) \quad \text{III-30}$$

Avec

$$u = -\text{LN}(-\text{LN}(f)) \quad \text{III-31}$$

X : Moyenne de la série d'observations.

$\sigma$  : Ecart type de la série d'observations.

u : Variable de Gumbel.

f : Fréquence.

Le coefficient a de Montana, pour la région d'étude, se présente comme suit :

Tableau III-27 Paramètres coefficient "a" de Montana par période de retour – Station de Béni Slimane

T	2	5	10	20	50	100
a(T)	13.63	20.6	25.2	29.6	35.4	39.67

➤ **Formulation IDF**

Tableau III-28 Formulation IDF- Station de Béni Slimane

I(t,T)	2 Ans	5 Ans	10 Ans	20 Ans	50 Ans	100 Ans
1	13.6	20.6	25.2	29.6	35.4	39.7
2	8.5	12.9	15.7	18.5	22.1	24.8
3	6.5	9.8	11.9	14.0	16.8	18.8
6	4.0	6.1	7.5	8.8	10.5	11.7
9	3.1	4.6	5.7	6.7	7.9	8.9
12	2.5	3.8	4.7	5.5	6.5	7.3

A la base des valeurs des coefficients de Montana "a" et  $b=0.64$  (exposant climatique), nous avons établi la courbe IDF suivante pour les périodes de retour 2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans :

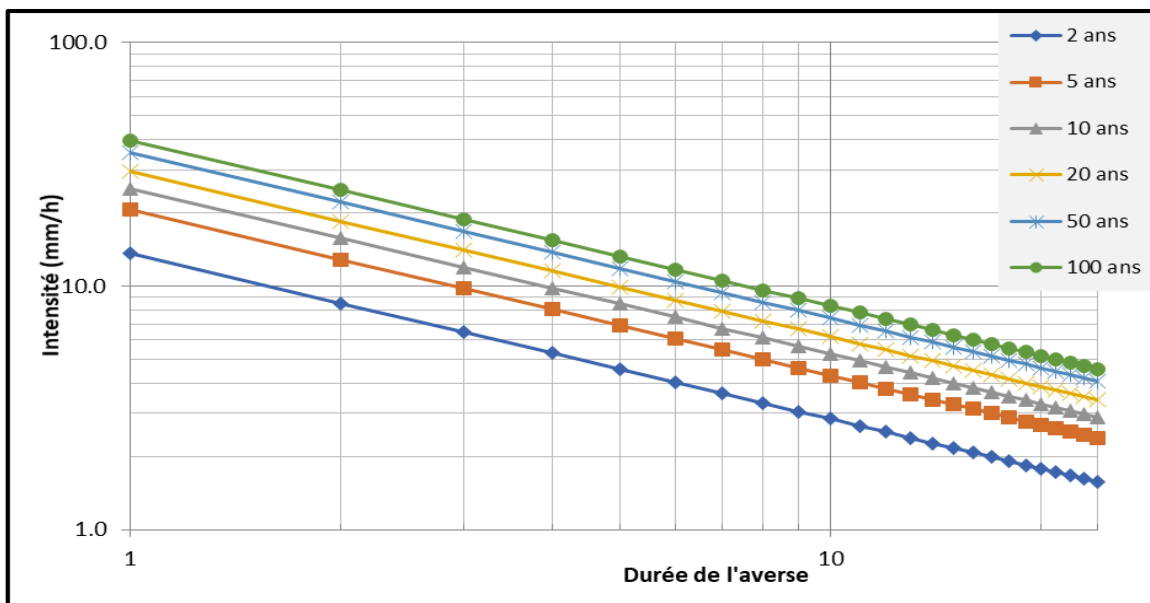


Figure III-17 Courbes IDF pour différentes périodes de retour

### III.4 Etude des apports

#### III.4.1 Apports liquides

Calcul de l'apport moyen annuel avec les relations empiriques.

➤ **Formule de Deri:**

$$M_0 = 11.8 \cdot (P_0^{2.82}) \quad \text{III-32}$$

$M_0$  - module spécifique d'écoulement annuel exprimé en l/s/km<sup>2</sup>

$P_0$  – pluie moyenne annuelle exprimée en mm

➤ **Formule de Deri – Savary :**

$$A = 0.915 \cdot P_0^{2.684} \cdot S^{0.842} \quad \text{III-33}$$

$A_0$  – apport moyen annuel en m<sup>3</sup>

$P_0$  – pluie moyenne annuelle exprimée en mm

$S$  – surface du bassin versant en m<sup>2</sup>

➤ **Formule de Adjel et Smail :**

$$E = (P_0/60)^{2.15} \quad \text{III-34}$$

$E$  – lame d'eau écoulée – mm

$P_0$  – pluie moyenne annuelle exprimée en mm

➤ **Formule de Saidi:**

$$M_0 = 13.23 \cdot (P_0/1000)^{2.2} \quad \text{III-35}$$

$M_0$  - module spécifique d'écoulement annuel exprimé en l/s/km<sup>2</sup>

$P_0$  – pluie moyenne annuelle exprimée en mm

➤ **Formule Sogreah Nord:**

$$E = 720 \cdot (P_0 - 250/1000)^{1.85} \quad \text{III-36}$$

$E$  – lame d'eau écoulée – m

$P_0$  – pluie moyenne annuelle exprimée en mm.

➤ **Formule Algerienne:**

$$A_0 = P_0 \cdot (1 - 10^{-kP_0^2})S \quad \text{III-37}$$

Où : k - coefficient dépendant de la surface du bassin versant

$$K = a - (\log S) \cdot 0,01 \quad \text{III-38}$$

Et

a = 0,175 pour des conditions favorables à l'écoulement

a = 0,200 pour des conditions défavorables à l'écoulement

Tous les résultats de calculs obtenus par différentes formules pour le bassin versant sont présentés dans les tableaux ci-après :

Tableau III-29 Calcul des apports Oued Alyem

N°	Auteur	Formules	Données	S	P <sub>0</sub> (mm)	a	k	Temp	hmoy	L(km)	D	-kP <sub>0</sub> <sup>2</sup>	Mo	Apports	lame ruissellée	Coeff éclmnt	
				(km2)	mm			°C		KM	mm		l/s/km2	m3	mm	Ce	
				73.15	385			16.5	802.85	15.36							
1	SAMIE	$A_0 = 0.784 (P_0 - 0.232)^2 \cdot S$											0.58	1 342 497	18.35	0.05	
2	ALGERIENNE	$A_0 = P_0 * \left(1 - 10^{-kP_0^2}\right) * S$	k = a - (log S) * 0.01 a=0.175 -cond. fav a=0.20 -cond. défav			0.175	0.156						-0.02				
													0.63	1 463 509	20.01	0.05	
3	PADOUN	$M_0 = k (0.0019 P_0)^{3.57}$				1.25782711							0.41	950 358	12.99	0.03	
4	SAIDI	$M_0 = 13.23 * (P_0/1000)^{12.27}$											1.52	3 496 042	47.79	0.12	
5	ADJEL ET SMAIL	$E = (P_0/60)^{2.15}$											1.73	3 984 219	54.41	0.14	
6	DERI 1	$M_0 = 11.8 (P_0^{2.82})$											0.80	1 844 600	25.22	0.07	
7	DERI - SAVARY	$A = 0.915 \cdot P_0^{2.684} \cdot S^{0.842}$											1.14	2 620 995	35.83	0.09	
8	TURC	$D = P_0 - (P_0 / (0.9 + P_0^2 / L^2)^{0.5})$	$L = 300 + 25 T + 0.05 T^3$					16.5		937.11	372.40		0.40	921 370	12.60	0.03	
													<b>A0 moyen</b>	<b>1.07</b>	<b>2 458 644</b>	<b>33.61</b>	<b>0.09</b>

Nous allons adopter la moyenne des formules dont les résultats sont plus ou moins proches La valeur moyenne calculée est A0 =2 458 644 m3 avec M0=1.07 l/s/km2, et une lame d'eau écoulée E = 33. 61 mm.

Tableau III-30 Calcul des apports Oued Aouaoudja

N°	Auteur	Formules	Données	S	P <sub>0</sub> (mm)	a	k	Temp	hmoy	L(km)	D	-kP <sub>0</sub> <sup>2</sup>	Mo	Apports	lame ruissellée	Coeff éclmnt	
				(km2)	mm			°C		KM	mm		l/s/km2	m3	mm	Ce	
				6.07	385			16.5	682.65	21.00							
1	SAMIE	$A_0 = 0.784 (P_0 - 0.232)^2 \cdot S$											0.58	111 401	18.35	0.05	
2	ALGERIENNE	$A_0 = P_0 * \left(1 - 10^{-kP_0^2}\right) * S$	k = a - (log S) * 0.01 a=0.175 -cond. fav a=0.20 -cond. défav			0.175	0.167						-0.02				
													0.68	129 601	21.35	0.06	
3	PADOUN	$M_0 = k (0.0019 P_0)^{3.57}$				1.215363072							0.40	76 199	12.55	0.03	
4	SAIDI	$M_0 = 13.23 * (P_0/1000)^{12.27}$											1.52	290 102	47.79	0.12	
5	ADJEL ET SMAIL	$E = (P_0/60)^{2.15}$											1.73	330 611	54.41	0.14	
6	DERI 1	$M_0 = 11.8 (P_0^{2.82})$											0.80	153 065	25.22	0.07	
7	DERI - SAVARY	$A = 0.915 \cdot P_0^{2.684} \cdot S^{0.842}$											1.68	322 287	53.10	0.14	
8	TURC	$D = P_0 - (P_0 / (0.9 + P_0^2 / L^2)^{0.5})$	$L = 300 + 25 T + 0.05 T^3$					16.5		937.11	372.40		0.40	76 455	12.60	0.03	
													<b>A0 moyen</b>	<b>1.16</b>	<b>222 845</b>	<b>36.71</b>	<b>0.10</b>

Nous allons adopter la moyenne des formules dont les résultats sont plus ou moins proches La valeur moyenne calculée est A0 =222 845 m3 avec M0=1.16 l/s/km2, et une lame d'eau écoulée E = 36. 71 mm.

### III.4.2 Variabilité de l'Apport moyen annuel

La relation utilisée est basée sur des observations faites sur 42 oueds de l'Algérie du Nord.

$$Cv = \frac{0.93}{M_0^{0.23}} Ks \quad \text{III-39}$$

Ks - coefficient de réduction, fonction de la pérennité du cours d'eau= 0,80

M0 - module d'écoulement spécifique (=0,32 l / s / km<sup>2</sup>)

➤ **Formule de KRITSKLY-MENKENL.**

$$Cv = \frac{0.83}{S^{0.06} M_0^{0.27}} \quad \text{III-40}$$

S- surface du bassin versant.

Mo-Module spécifique l/s/km<sup>2</sup>.

➤ **Formule de SOKOLOVSKY.**

$$Cv = a - 0.063 \log_{10}(S + 1) \quad \text{III-41}$$

$$a = 0.78 - 0.29 \log_{10} M_0 \quad \text{III-42}$$

Tableau III-31 Récapitulatif des résultats du coefficient de variation

Désignation des oueds	Formules de CV		
	Algérienne	Kritskly	Sokolovsky
Alyem	0.73	0.63	0.65
Aouaoudja	0.72	0.71	0.71

Tableau III-32 Estimation des apports à différentes fréquences

Fréquence %	Période sèche			Médiane	Période humide		
	95	90	80		80	90	95
<b>u</b>	-1.645	-1.282	-0.842	0	0.842	1.282	1.645
<b>Apports – m<sup>3</sup></b>							
Oued Aylem	677 664	859 113	1 145 359	1 985 814	3 442 989	4 590 153	5 819 192
Oued Aouaoudja	62 461	78 975	78 975	180 846	311 625	414 120	523 612

### III.5 Etude des crues

Les crues constituent une situation extrême dans le comportement des cours d'eau. Les cubes liquides qu'elles mettent en jeu peuvent parfois en quelques heures remplir les réservoirs aménagés, elles exposent les installations humaines à des dommages même catastrophiques.

Le type de crues le plus fréquent sous climat méditerranéen est les crues d'averses qui sont provoquées par des averses exceptionnelles soit par leur durée, intensité, extension géographique, leur répétition ou la combinaison de plusieurs de ces caractères. La puissance des crues dépend des intensités des averses, de la nature des sols et surtout de la couverture végétale, de la morphométrie, du réseau hydrographique et du relief.

L'élément caractéristique de la crue est son débit de pointe instantané (débit max.). Elle est caractérisée aussi par la forme de l'hydrogramme et sa durée correspondant au temps de base.

Le manque de données observées et la difficulté pour conjuguer, toutes les variables font que le problème est très complexe et nécessite l'utilisation de différentes méthodes d'estimation des crues. Pour déterminer cette importante caractéristique hydrologique, permettant de dimensionner les ouvrages hydrauliques et particulièrement l'évacuateur de crue, on doit faire une analyse détaillée des allures de l'hydrogramme.



### III.5.1 Calcul des débits Max avec les relations empiriques

Nous allons essayer de définir les débits de crues par les relations empiriques couramment utilisées en Algérie.

La relation recommandée pour la détermination de la crue de projet de fréquence centennale.

- La formule élaborée par TURAZZA et qui s'établit comme suit :

$$Q_{1\%} = \frac{PT_c\% \cdot S \cdot Cr}{3.6 \cdot T_c} \quad \text{III-43}$$

Où  $PT_c\%$  - pluie de fréquence 1% de durée  $T_c$  estimée à partir de  $a(T)$  à l'aide de la loi de Montana :

$$PT_c\% = a(T) \cdot T_c^{1-b} \quad \text{III-44}$$

$Cr$  - coefficient de ruissellement pris égal à 0.85 pour les oueds Aylem et Aouaoudja et

$a(T)$  - paramètre de Montana pour les différentes fréquences

$T$  - période de retour exprimé en ans ;

$b$  - exposant climatique pris égal à :  $b = 0.68$

$T_c$  – temps de concentration

$S$  – surface du bassin versant

- Formule de Samie

$$Q_{1\%} = \frac{PT_c\% \cdot S \cdot Cr}{3.6 \cdot T_c} \quad \text{III-45}$$

- Formule Italie

$$Q_{max} = \left( \frac{2.35 \cdot 500}{S + 125} + 0.5 \right) \cdot S \quad \text{III-46}$$

- Formule de Sokolovsky

$$Q_{max} = \frac{0.28 \cdot S \cdot P_{tc}\%}{T_c} \cdot f \quad \text{III-47}$$

Où  $f$  – coefficient de forme  $f = 1.20$ :

- Formule de Mallet et Gauthier



$$t_d = \gamma \cdot t_m$$

$$t_b = t_m + t_d$$

III-51

Où :  $\gamma$  - coefficient estimé à partir de certaines caractéristiques physiques du cours d'eau et de son bassin versant, nous adoptons  $\gamma = 2.5$ , cf. tableau suivant :

Tableau III-34 Temps caractéristiques – méthode Sokolovsky

Description du cours d'eau	Valeur de $\gamma$
<ul style="list-style-type: none"> <li>Petit cours d'eau et vallons dans des BV dénudés et faiblement perméables</li> <li>Petit cours d'eau et vallons dans des BV boisés ou perméables, moyens cours d'eau avec terrasses de lits moyennes et normales</li> <li>Grands et moyens cours d'eau avec des terrasses de déboisement</li> </ul>	2 à 2.5
étendues	3 à 4
	4 à 7

Tableau III-35 Temps caractéristiques – méthode Sokolovsky – Oued Alyem

Bassin Versant	Amont
Temps	
Tc (heures)	8
t <sub>m</sub> (heures)	8
t <sub>d</sub> (heures)	16
t <sub>b</sub> (heures)	24

Pour la représentation graphique de  $Q_{\max 1\%}$ , en fonction de  $t$ , nous avons élaboré le tableau de calcul suivant :

Tableau III-36: Calcul de l'hydrogramme de crue – méthode Sokolovsky – Oued Alyem

MONTEE DE LA CRUE				DECRUE			
T	T/t	(T / tm)^2	Qmax1%	Td - t	(Td - t)/td	((Td - t)/td)^3	Qmax1%
(Heures)	m		(m3/s)	(Heures)			(m3/s)
0	0	0	0				
1	0.125	0.016	2.71				
2	0.250	0.063	10.84				
3	0.375	0.141	24.38				
4	0.500	0.250	43.34				
5	0.625	0.391	67.72				
6	0.750	0.563	97.52				
7	0.875	0.766	132.73				
7.5	0.938	0.879	152.37				
8	1.000	1.000	173.36				
9				15.00	0.94	0.824	142.85
10				14.00	0.88	0.670	116.14
11				13.00	0.81	0.536	92.99
12				12.00	0.75	0.422	73.14
13				11.00	0.69	0.325	56.33
14				10.00	0.63	0.244	42.32
15				9.00	0.56	0.178	30.85
16				8.00	0.50	0.125	21.67
17				7.00	0.44	0.084	14.52
19				5.00	0.31	0.031	5.29
20				4.00	0.25	0.016	2.71
21				3.00	0.19	0.007	1.14
24				0.00	0.00	0.000	0.00

L'hydrogramme de crue pour Q1% est présenté ci-dessous :

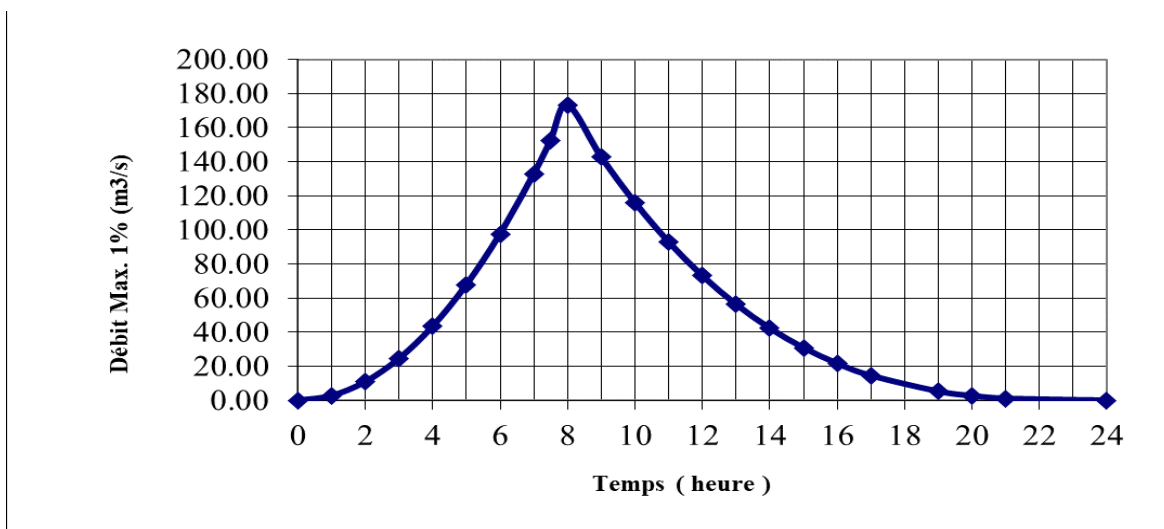


Figure III-18 hydrogramme de crue Q1% - méthode Sokolovsky -Oued Alyem

Tableau III-37 Temps caractéristiques – méthode Sokolovsky – Oued Aouaoudja

Bassin Versant	Valeurs - h
Temps	
Tc (heures)	2.54
tm (heures)	2.54
td(heures)	5.08
tb (heures)	7.62

Pour la représentation graphique de  $Q_{max1\%}$ , en fonction de  $t$ , nous avons élaboré le tableau de calcul suivant :

Tableau III-38 Calcul de l'hydrogramme de crue – méthode Sokolovsky – Oued Aouaoudja

MONTEE DE LA CRUE				DECRUE			
T	T/tm	(T / tm)^2	Qmax1%	Td - t	(Td - t)/td	((Td - t)/td)^3	Qmax1%
(Heures)			(m3/s)	(Heures)			(m3/s)
0	0	0	0				
0.3	0.118	0.014	0.40				
0.4	0.500	0.025	0.71				
0.6	0.600	0.056	1.60				
0.8	0.700	0.099	2.84				
1	1.000	0.155	4.44				
1.2	1.200	0.223	6.39				
1.6	1.500	0.397	11.36				
1.8	2.000	0.502	14.37				
2.54	2.540	1.000	28.62				
3				4.62	0.91	0.752	21.53
3.5				4.12	0.81	0.533	15.27
4				3.62	0.71	0.362	10.36
4.5				3.12	0.61	0.232	6.63
5				2.62	0.52	0.137	3.93
5.5				2.12	0.42	0.073	2.08
6				1.62	0.32	0.032	0.93
7.62				0.00	0.00	0.000	0.00

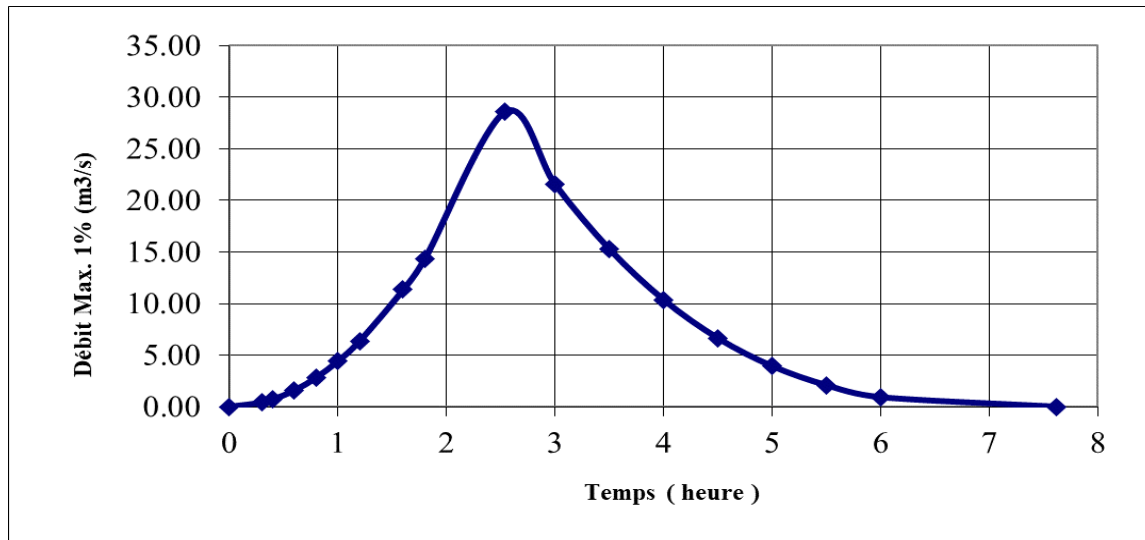


Figure III-19 hydrogramme de crue Q1% - méthode Sokolovsky -Oued Aouaoudja

### III.7 Apports solides

#### Généralités :

Les apports solides sont constitués d'une part de matériaux grossiers charriés sur le fond du lit de l'oued et d'autre part d'éléments fins transportés en suspension.

Les apports solides dépendent de l'étendue du relief du bassin versant, de la nature géologique des sols et de leur résistance à l'érosion, liée elle-même à la couverture végétale, au régime des pluies et des températures.

Les apports solides en Algérie, où l'érosion est intensive, sont importants et sont soumis à des précipitations mal réparties dans l'année.

Les crues de l'automne et du printemps sont responsables de l'essentiel du transport solide. En effet, pendant l'été connu pour ces chaleurs intenses, le sol se dessèche, se fissure, se fragmente et voit son couvert végétal réduit, ce qui permet aux premières averses de l'automne de laver le sol de ces éléments fins détachés.

D'autres causes y concourent, et elles sont nombreuses, les plus déterminantes et significatives étant les suivantes :

- le défrichage des terres forestières pour en faire des espaces de parcours ;
- la transformation des terres agricoles en terrains de parcours ;

- l'occupation fluctuante des terres incultes selon les conditions climatiques ;
- l'augmentation des terrains de parcours ;
- la stabilité de la pratique de l'association céréaliculture-jachère.

### III.7.1 Evaluation des apports solides

On tentera de définir l'importance du transport solide par les formules ci – après :

- **Formule de GAVRILOVIC :**

Ce calcul est fait selon la méthode de Gavrilovic qui a été utilisée pour la détermination du coefficient d'érodibilité des sols et des paramètres de la production des apports solide dans le Nord de l'Algérie.

$$q_s = W \cdot Cr \quad \text{III-52}$$

$$W = T \cdot P_m \cdot \sqrt{Z^3} \cdot n \quad (\text{m}^3/\text{an}) \quad \text{III-53}$$

W-Production totale de débit solide dû à l'érosion exprimée en m<sup>3</sup>/an

T-Coefficient qui dépend de la température moyenne

$$T = \sqrt{\frac{t^\circ}{10}} + 0.1 \quad \text{III-54}$$

t°-Température moyenne annuelle exprimée en degrés Celsius égale à 14.2 C°.

P<sub>m</sub> -Pluie moyenne annuelle prise égale à 388.36 mm

n- Nombre de Ludoff égale à 3.14.

F- Surface du bassin versant

Z=0.5

Cr- coefficient de rétention tenant compte des discontinuités spatio-temporelles dans le flux des matériaux arrachés aux versants.

$$Cr = \frac{P \cdot 0.5 \cdot H_{moy}}{(0.2(L + 10))} \quad \text{III-55}$$

P- Périmètre du bassin versant (km)

L- longueur du thalweg le plus long (km)

Tableau III-39 Transport solide - FORMULE DE GAVRILOVIC

Bassin versant	Surface s km <sup>2</sup>	Cr	qs
		-	m <sup>3</sup> /an/km <sup>2</sup>
Oued Alyem	73.15	1217.5	721478
Aouaoudja	6.07	938.86	556361

- **Formule de FOURNIER :**

Cet auteur a établi des relations entre les érosions du sol par l'eau (Es) (t/km<sup>2</sup>/an) et un coefficient climatique Pm<sup>2</sup> / Po.

$$Es = \frac{1}{36} \cdot \left[ \frac{P_m^2}{P_0} \right]^{2.65} \cdot \left[ \frac{H^2}{S} \right]^{0.46} \quad \text{III-56}$$

Où : Pm : pluviométrie mensuelle moyenne du mois le plus pluvieux, mm

Po : pluviométrie moyenne annuelle, mm

H : 45% (Hmax – Hmin), m

S : surface du bassin versant en km<sup>2</sup>.

Tableau III-40 Apports solides – Fournier

Bassin versant	qs	qs
	t/an/km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /an
Oued Aouaoudja	260.25	11 898
Oued Alyem	704.38	2 672

- **Formule de TIXERONT :**

Cette formule a été calée sur la base des corrélations entre l'apport moyen annuel ( A ) et la perméabilité ( α ) établis à partir de données d'observations sur des oueds Algériens et Tunisiens :

$$qS = a \cdot A^{0.15} \quad \text{III-57}$$

Où : qS -l'apport solide moyen annuel (en suspension) exprimé en T/Km<sup>2</sup>/an

A - apport moyen annuel exprimé en mm dans cette relation



$\alpha$  - paramètre caractérisant la perméabilité du bassin versant. Il varie de 3.5 à 3200 ; il est d'autant plus important que la perméabilité est faible. Nous prenons  $\alpha = 350$ .

Tableau III-41 Apports solides – Tixeront

Bassin versant	qS(t/km <sup>2</sup> /an)	qS(t/an)	qS(m <sup>3</sup> /an)
Oued Alyem	592.98	43 376	27 110
Aouaoudja	600.88	3 647	2 280

La valeur des apports solides obtenue par la formule de Tixeront.

### Conclusion

En conclusion, ce chapitre a permis d'analyser les caractéristiques physiques des bassins versants, telles que les pentes, altitudes, et densités de drainage, afin de comprendre les dynamiques de ruissellement et d'érosion. L'étude des précipitations a montré leur impact sur les crues, avec des outils comme les courbes IDF pour estimer les débits maximaux. L'évaluation des apports liquides et solides a mis en évidence les flux d'eau et de sédiments, essentiels pour la gestion des ressources hydrologiques. Cette étude fournit ainsi une base solide pour mieux gérer les risques et les ressources dans les bassins versants étudiés.

# **Chapitre IV :**

# **Etude Hydraulique**

## IV Etude Hydraulique

### IV.1 Introduction

Ce chapitre vise à fournir une compréhension détaillée des enjeux hydrauliques liés aux inondations à Beni Slimane. En s'appuyant sur des méthodes scientifiques rigoureuses, il établit une base solide pour la prise de décisions éclairées en matière de gestion des risques d'inondation et de protection des communautés vulnérables.

### IV.2 Paramètres hydrauliques

Les paramètres hydrauliques sont des variables et des propriétés qui caractérisent l'écoulement de l'eau au sein d'un système hydraulique. Ils permettent d'analyser et d'évaluer les performances hydrauliques de ce système. Voici quelques-uns des principaux paramètres hydrauliques couramment utilisés :

- **Débit (Q) :**

Le débit représente la quantité d'eau qui s'écoule à travers un canal par unité de temps. C'est un paramètre fondamental pour comprendre le volume d'eau circulant dans un système hydraulique. Il est généralement exprimé en mètres cubes par seconde ( $m^3/s$ ) ou en litres par seconde (l/s).

- **Vitesse de l'écoulement (V) :**

La vitesse de l'écoulement désigne la rapidité avec laquelle l'eau se déplace dans le système. Cette vitesse peut varier en fonction de la géométrie du canal, de la pente et de la rugosité de la surface. Elle est essentielle pour évaluer les performances hydrauliques et le transport des sédiments, et est généralement mesurée en mètres par seconde (m/s).

- **Pente hydraulique (i) :**

La pente hydraulique représente la déclivité du terrain sur lequel l'eau s'écoule. Elle influence les performances hydrauliques d'un système. La pente est souvent exprimée en pourcentage

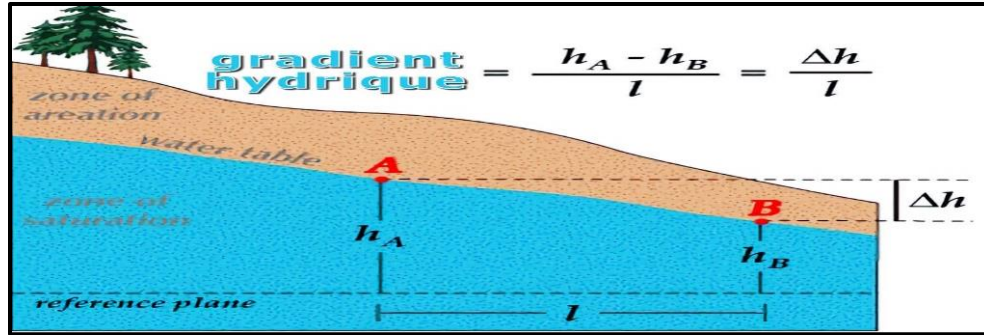


Figure IV-1 Illustration du gradient hydraulique

On calcule la pente par la relation suivante :

$$I = \frac{\Delta h}{L} \quad \text{IV-1}$$

Où :  $\Delta Z$  : la différence de niveau entre les altitudes ( $h_1 - h_2$ ).

L : la longueur.

- **Profondeur critique ( $h_c$ ) :**

La profondeur critique est la profondeur d'eau à laquelle l'énergie spécifique est minimisée pour un écoulement donné. Elle est un indicateur important pour déterminer si un écoulement est subcritique ou supercritique, influençant ainsi le comportement de l'eau dans un canal.

- **Pression :**

La pression dans un système hydraulique est la force exercée par l'eau sur les parois du canal ou des structures environnantes. Elle est un facteur clé dans l'analyse des forces agissant sur les infrastructures hydrauliques et peut être mesurée en pascals (Pa) ou en bars.

- **Poids volumique  $\gamma_w$  :**

Le poids volumique de l'eau ( $\gamma_w$ ) est la masse d'eau par unité de volume.

$$\gamma_w = g\rho_w \quad \text{IV-2}$$

-  $\rho_w$  désigne la masse volumique de l'eau et vaut 1000 kg/m<sup>3</sup>.

- g désigne l'accélération de la pesanteur et vaut 9.81 m/s<sup>2</sup>.

- **Coefficient de Manning ( $n$ ) :**

Le coefficient de Manning est un paramètre qui quantifie la rugosité d'un canal ou d'une surface. Il est utilisé pour estimer la vitesse de l'écoulement dans les canaux ouverts. Des valeurs plus

élevées de  $n$  indiquent une surface plus rugueuse, ce qui réduit la vitesse de l'eau. Ce coefficient est essentiel dans les calculs de débit et d'écoulement.

Tableau IV-1 Valeurs de rugosité selon le lit

Caractéristiques du lit ou du Revêtement	Valeur de la rugosité $n$
Canal en béton.	0.014
Canal en terre	0.022
Canal en enrochement	0.025
Canal en Gabion	0.030
Matelas Reno	0.033

### IV.3 Paramètres géométriques

Les paramètres géométriques sont des caractéristiques essentielles qui décrivent la forme et les dimensions d'un canal ou d'un système hydraulique. Ils jouent un rôle crucial dans l'analyse des écoulements d'eau et la conception des infrastructures hydrauliques. Voici quelques paramètres géométriques importants, accompagnés de références pertinentes :

- **Section transversale (A) :** La section transversale est la superficie de la section à travers laquelle l'eau s'écoule. Elle est déterminante pour le calcul du débit et est généralement exprimée en mètres carrés ( $m^2$ ).
- **Périmètre mouillé (P) :** Le périmètre mouillé est la longueur de la surface de contact entre l'eau et les parois du canal. Il est utilisé dans le calcul du rayon hydraulique et est exprimé en mètres (m).
- **Rayon hydraulique (R) :** Le rayon hydraulique est défini comme le rapport entre la section mouillée (A) et le périmètre mouillé (P) :

$$R = \frac{P}{A} \quad \text{IV-3}$$

Ce paramètre est essentiel pour caractériser l'écoulement dans un canal.

- **Largeur de la surface libre (B) :** La largeur de la surface libre est la distance entre les rives du canal à la surface de l'eau, mesurée perpendiculairement à la direction de l'écoulement. Elle influence la profondeur de l'écoulement et la distribution de la vitesse.

- **Profondeur d'eau (h) :** La profondeur d'eau est la distance verticale entre le fond du canal et la surface libre de l'eau. Elle est un facteur clé dans le calcul du débit et des caractéristiques d'écoulement.
- **Profondeur d'eau moyenne (hm) :** La profondeur moyenne est définie comme le rapport entre la section mouillée (A) et la largeur de la surface libre (B) :

$$h_m = \frac{A}{B} \quad \text{IV-4}$$

Elle donne une indication générale de la profondeur d'écoulement dans le canal.

- **Pente longitudinale (i) :** La pente longitudinale désigne l'inclinaison du fond du canal dans le sens du flux d'eau.
- **Largeur au fond (b) :** C'est la mesure horizontale qui sépare les deux parois ou les bords inférieurs d'un canal.

#### IV.4 Cours d'eau

Un cours d'eau est un écoulement naturel d'eau qui coule de façon continue ou temporaire entre une source et une embouchure ou une confluence.

Les cours d'eau peuvent être classés en deux catégories principales : les cours d'eau naturels et les cours d'eau artificiels. Chacune de ces catégories présente des caractéristiques distinctes et joue des rôles variés dans l'écosystème et l'aménagement du territoire.

- **Cours d'eau naturels :**

Les cours d'eau naturels sont des formations qui se sont développées sans intervention humaine. Ils se forment par des processus géologiques et hydrologiques au fil du temps. Voici quelques caractéristiques clés :

**Formation :** Les cours d'eau naturels se créent à partir de l'érosion et du ruissellement des eaux de pluie, des sources et des glaciers. Ils suivent souvent le relief du terrain, serpentant à travers les vallées et les plaines.

**Composants :** Un cours d'eau naturel est composé de plusieurs éléments, notamment :

**Lit mineur :** La partie la plus basse où l'eau s'écoule normalement.

**Lit majeur:** La zone qui est inondée lors des crues.

**Berges :** Les côtés du lit qui maintiennent le cours d'eau en place.

**Ripisylve :** La végétation qui borde le cours d'eau, jouant un rôle crucial dans la protection des berges et l'habitat des espèces aquatiques.

**Écosystème :** Les cours d'eau naturels abritent une biodiversité riche, y compris des poissons, des invertébrés, et des plantes aquatiques. Ils sont essentiels pour le maintien des écosystèmes locaux et la régulation du cycle de l'eau (Vikidia, 2024; SMABV, 2024).

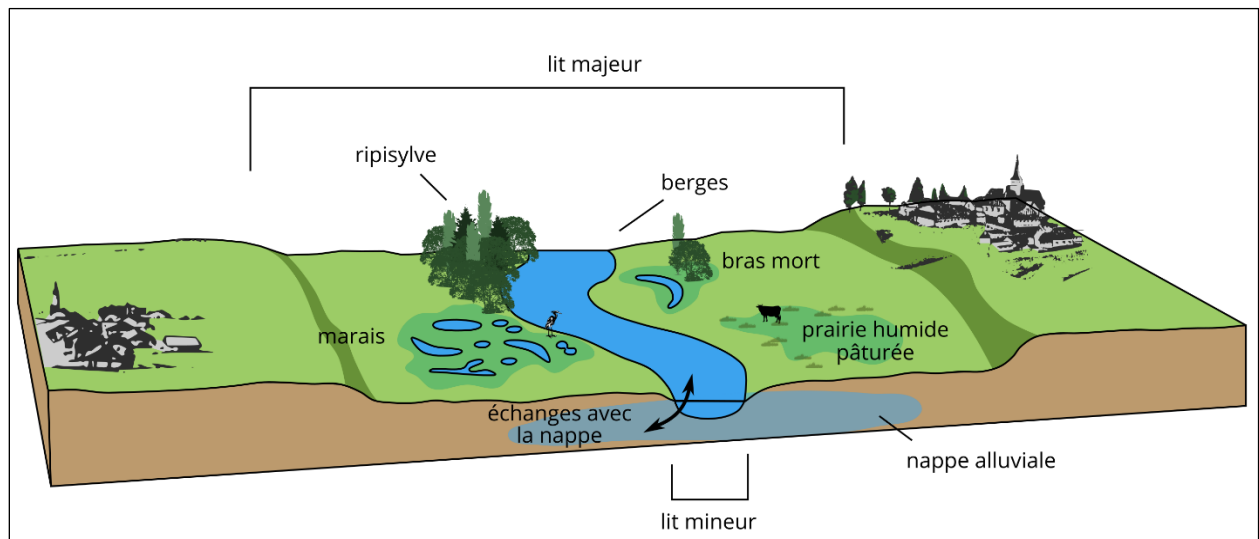


Figure IV-2 Cours d'eau naturel

- **Cours d'eau artificiels :**

Les cours d'eau artificiels sont créés par l'homme pour répondre à des besoins spécifiques, tels que l'irrigation, le drainage, ou le transport. Voici leurs principales caractéristiques :

**Construction :** Ces cours d'eau sont souvent conçus avec des dimensions et des pentes spécifiques pour optimiser le flux d'eau. Ils peuvent inclure des infrastructures telles que des canaux, des barrages, et des écluses.

**Fonctionnalité :** Les cours d'eau artificiels sont utilisés pour gérer les ressources en eau, contrôler les inondations, et faciliter le transport de marchandises. Ils peuvent également être intégrés dans des systèmes d'irrigation pour l'agriculture.

Impact environnemental : Bien que ces cours d'eau puissent offrir des avantages économiques, ils peuvent également avoir des effets négatifs sur l'environnement, tels que la fragmentation des habitats, la pollution et la modification des régimes hydrologiques (Wikipedia, 2024; Aquaportail, 2024).



Figure IV-3 Cour d'eau artificiel

## IV.5 Mode d'écoulement dans les Oueds

Les écoulements dans les cours d'eau naturels et artificiels peuvent présenter une variabilité significative de leurs caractéristiques hydrauliques, notamment en termes de tirant d'eau et de vitesse. Cette variabilité peut être analysée selon deux dimensions principales : dans le temps et dans l'espace.

### IV.5.1 Variabilité dans le Temps

- Écoulement Permanent :

Dans un écoulement permanent, les caractéristiques telles que la profondeur, la vitesse et le débit du fluide restent constantes au fil du temps. Cela signifie que les conditions d'écoulement ne changent pas, ce qui est souvent observé dans des systèmes bien régulés ou dans des rivières à débit stable.

- Écoulement Non Permanent :



À l'inverse, dans un écoulement non permanent, ces caractéristiques varient dans le temps. Cela se produit fréquemment lors de précipitations ou de variations saisonnières, comme dans le cas des oueds qui peuvent être à sec pendant de longues périodes et connaître des crues soudaines.

#### IV.5.2 Variabilité dans l'Espace

- Écoulement Uniforme :

Dans un écoulement uniforme, la vitesse et la profondeur du fluide restent constantes le long du cours d'eau. Ce type d'écoulement se produit généralement dans des sections de rivières où le lit est homogène et la pente constante.

- Écoulement Non Uniforme:

L'écoulement non uniforme se produit lorsque les conditions d'écoulement ne respectent pas les hypothèses d'un écoulement uniforme. Cela signifie que la ligne d'eau, la pente du fond et la ligne d'énergie ne sont pas parallèles. Ce type d'écoulement est courant dans les rivières et les canaux, surtout en présence d'obstacles ou de variations de pente. Ce type d'écoulement peut être subdivisé en deux catégories :

- Écoulement Non Uniforme Graduellement Varié
- Écoulement Non Uniforme Rapidement Varié

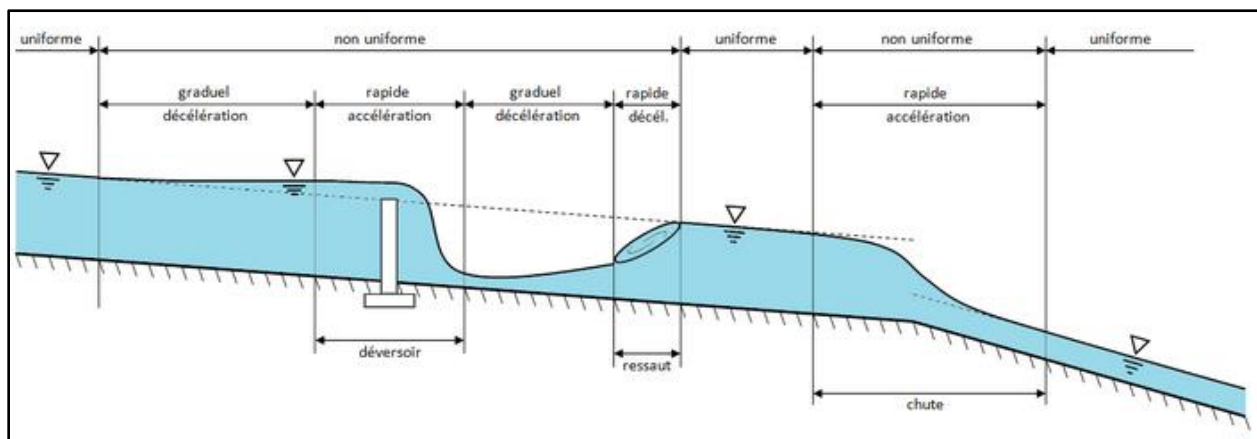


Figure IV-4 Schéma des écoulements permanents, uniformes et variés dans un canal à surface libre

#### Régimes d'Écoulement :

Les régimes d'écoulement permettent de classer le comportement des fluides selon des critères comme le nombre de Reynolds ( $Re$ ) et le nombre de Froude ( $Fr$ ) :

- Écoulement Laminaire :

$Re < 2000-2300$ . Écoulement lisse et ordonné, avec des filets parallèles. Associé à une viscosité élevée et de faibles vitesses.



Figure IV-5 Écoulement laminaire

- Écoulement Turbulent :

$Re > 4000$ . Écoulement chaotique avec des tourbillons. Associé à une faible viscosité et de hautes vitesses.

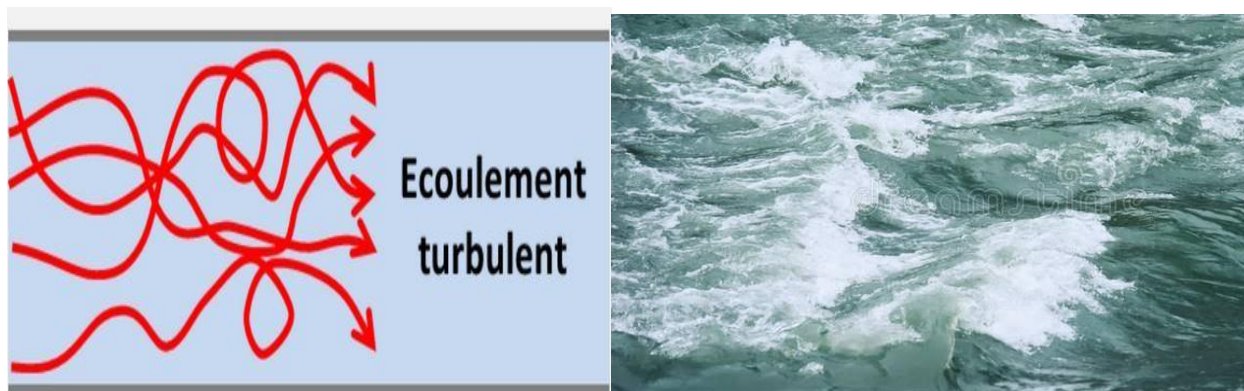


Figure IV-6 Écoulement turbulent

- Écoulement Fluvial (subcritique):

$Fr < 1$ . Hauteur d'eau importante, supérieure à la hauteur critique. Célérité des ondes  $>$  vitesse d'écoulement.

- Écoulement Torrentiel :

$Fr > 1$ . Hauteur d'eau faible, inférieure à la hauteur critique. Célérité des ondes  $<$  vitesse d'écoulement

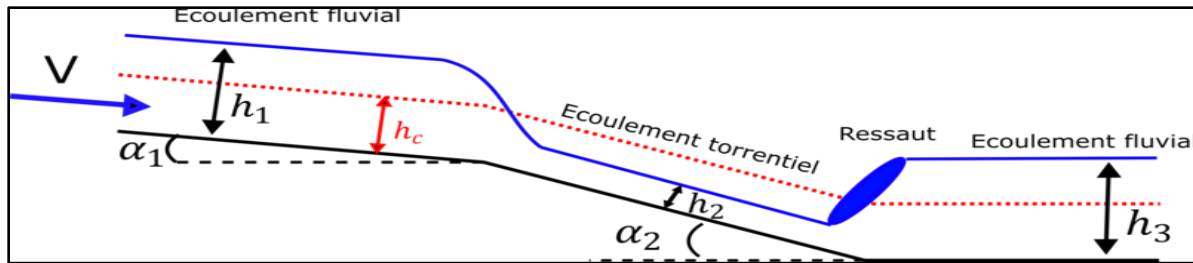


Figure IV-7 Écoulement Torrentiel

## IV.6 Modélisation d'écoulement

La modélisation d'écoulement est un outil essentiel pour comprendre et gérer les risques d'inondation lors des crues. En utilisant des logiciels de simulation et des données hydrologiques, elle permet de modéliser le comportement des cours d'eau pendant les événements extrêmes. Cette approche vise à évaluer les zones vulnérables et les impacts potentiels des inondations, afin de proposer des aménagements adaptés pour réduire ces risques.

### IV.6.1 Présentation du logiciel HEC-RAS :

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) est un logiciel intégré de modélisation hydraulique développé par le Hydrologic Engineering Center du U.S. Army Corps of Engineers. Il permet de simuler les écoulements à surface libre dans les cours d'eau et les canaux.

HEC-RAS englobe plusieurs aspects hydrologiques et hydrauliques :

- Analyse du ruissellement des précipitations
- Hydraulique fluviale
- Analyse des dommages d'inondation
- Simulation des écoulements permanents et non permanents
- Transport de sédiments
- Analyse de la qualité d'eau
- Conception d'ouvrages hydrauliques

Le centre de contrôle d'HEC-RAS permet de gérer et de combiner différents types de données :

- Géométrie
- Débits et conditions aux limites
- Conditions de calcul

- Résultats

HEC-RAS est largement utilisé dans les firmes d'ingénierie et les organismes gouvernementaux pour :

- Étudier l'impact de la construction d'ouvrages (ponts, seuils, épis)
- Simuler des ruptures de barrages
- Réaliser des études d'inondation
- Modéliser le transport de traceurs chimiques ou de polluants
- Délimiter les zones inondables

#### IV.6.2 Étapes de la modélisation d'écoulement avec HEC-RAS

- **Création du TIN (Triangulated Irregular Network) :** À l'aide de logiciel ArcGIS, un modèle de terrain numérique est généré pour représenter fidèlement la topographie de la zone d'étude.

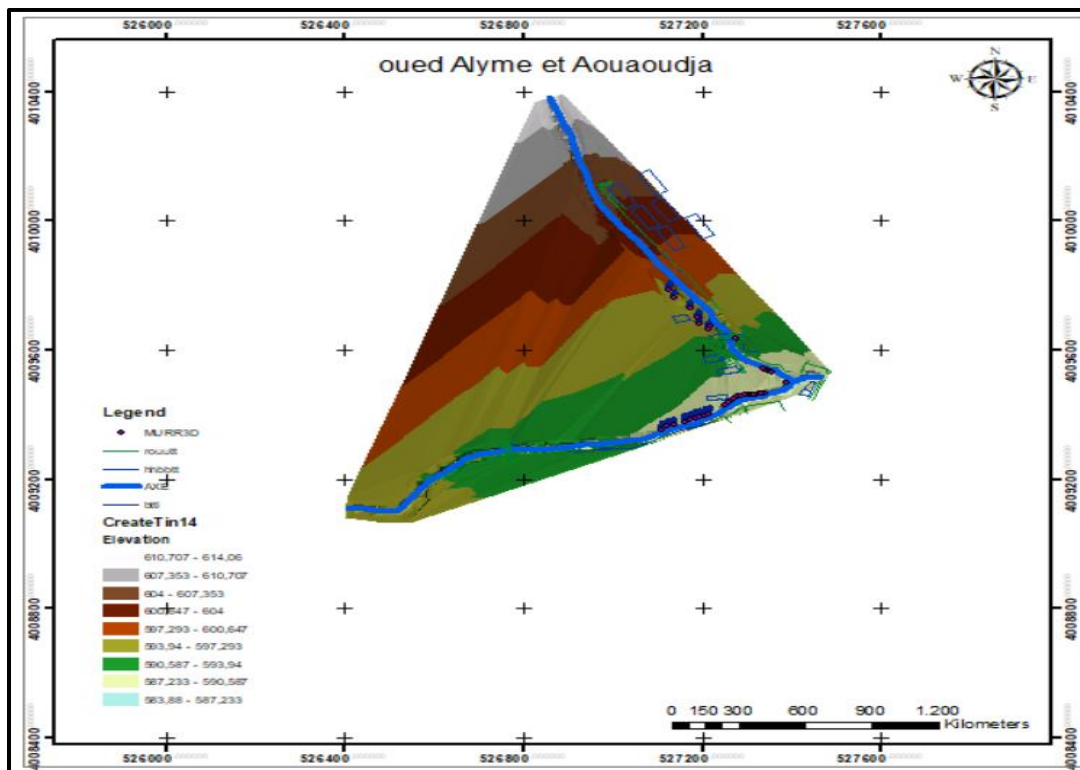


Figure IV-8 TIN des oueds Alyem et Aouaoudja

- **Importation dans HEC-RAS** : Une fois le TIN créé, il est importé dans HEC-RAS avec un fichier de projection (ESRI (extension de fichier. PRJ)) pour garantir un alignement correct du modèle avec le système de coordonnées géographiques.
- **Tracé de l'axe du cours d'eau et des sections transversales** : Dans HEC-RAS, l'axe du cours d'eau est défini, ainsi que les sections transversales à intervalles réguliers. Ces sections doivent représenter avec précision les variations du lit du cours d'eau.

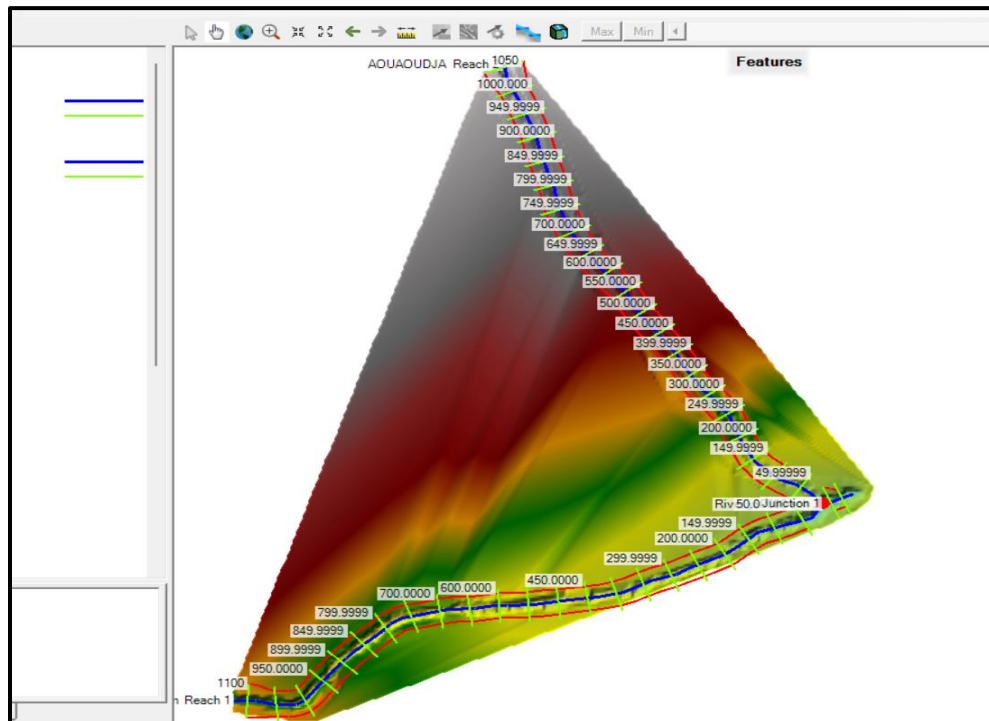


Figure IV-9 Modèle de Terrain et Sections Transversales dans RAS Mapper

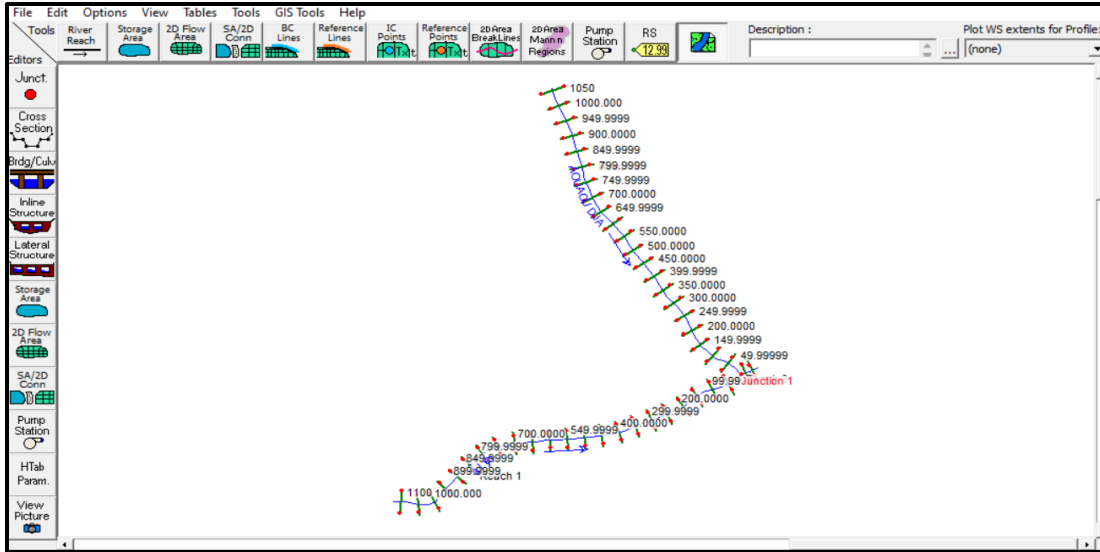


Figure IV-10 Importation des données géométriques dans HEC-RAS.

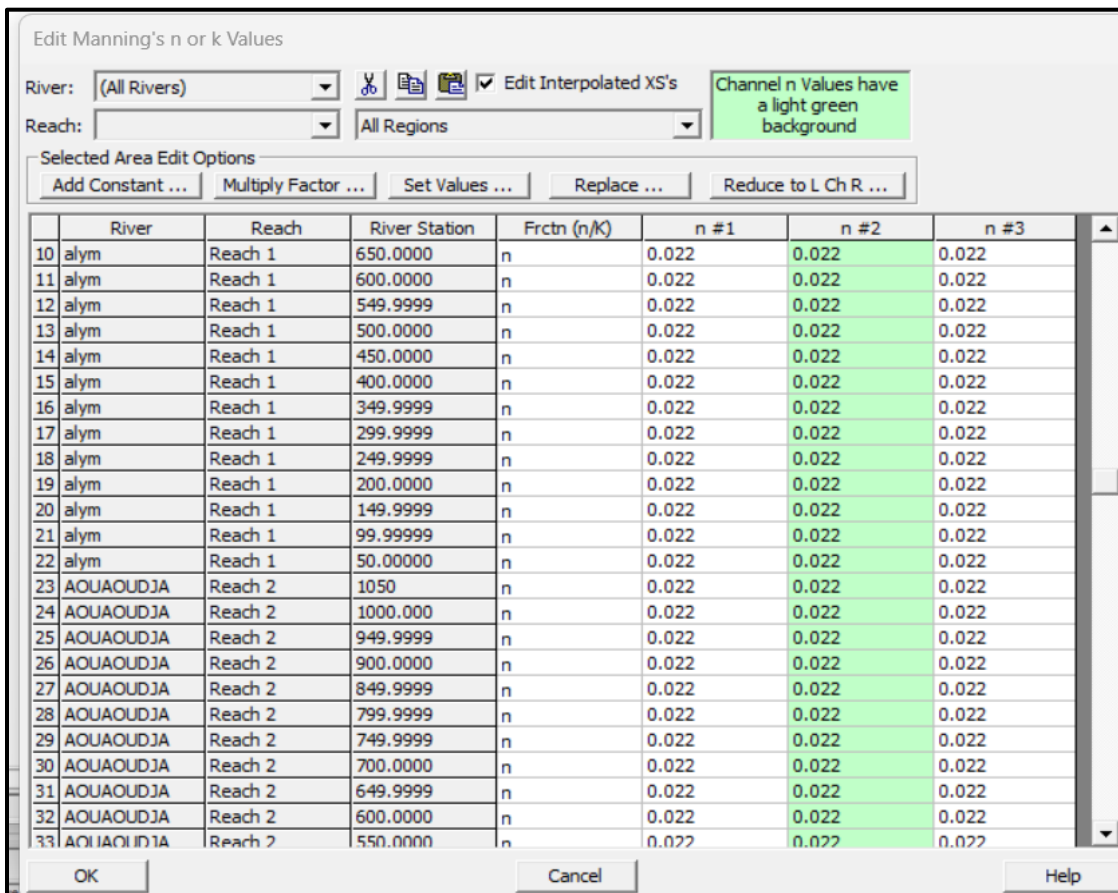


Figure IV-11 Introduction des valeurs de Manning (terrain naturel).

- **Conditions aux limites**

Dans le domaine de la modélisation hydraulique, les conditions aux limites déterminent le comportement de l'eau aux frontières de la zone étudiée. Elles régissent l'écoulement de l'eau aux extrémités amont et aval du modèle, influençant ainsi les résultats de la simulation.

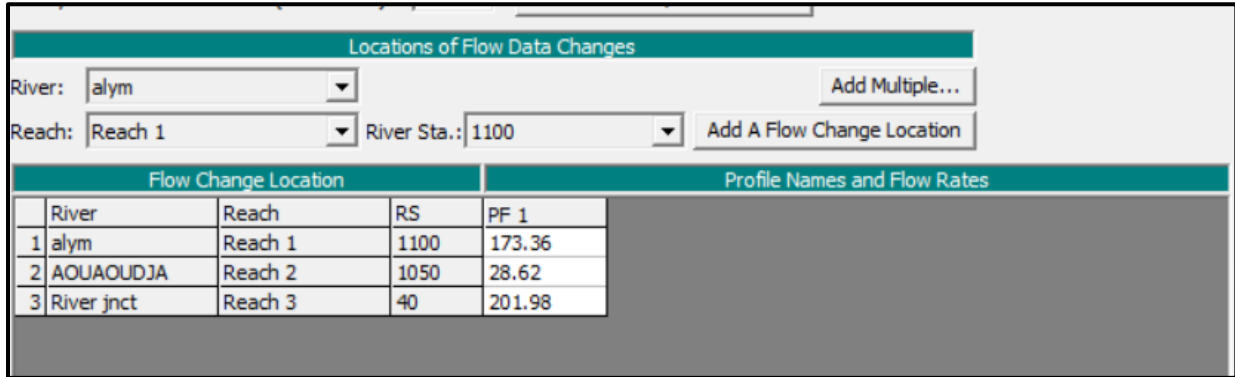


Figure IV-12 Introduction du débit de projet (crues centennales).

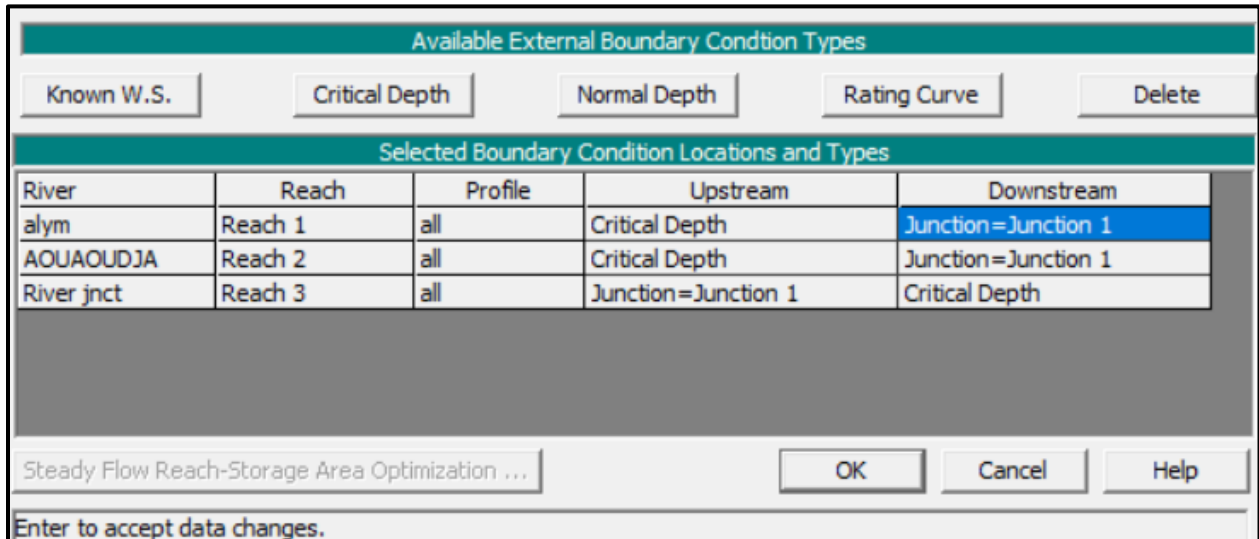


Figure IV-13 Conditions aux limites.

### IV.6.3 Simulation

Après avoir configuré le modèle et les paramètres, la simulation est lancée dans HEC-RAS. Le logiciel calcule les profils d'écoulement, les vitesses et les niveaux d'eau à travers les sections définies.

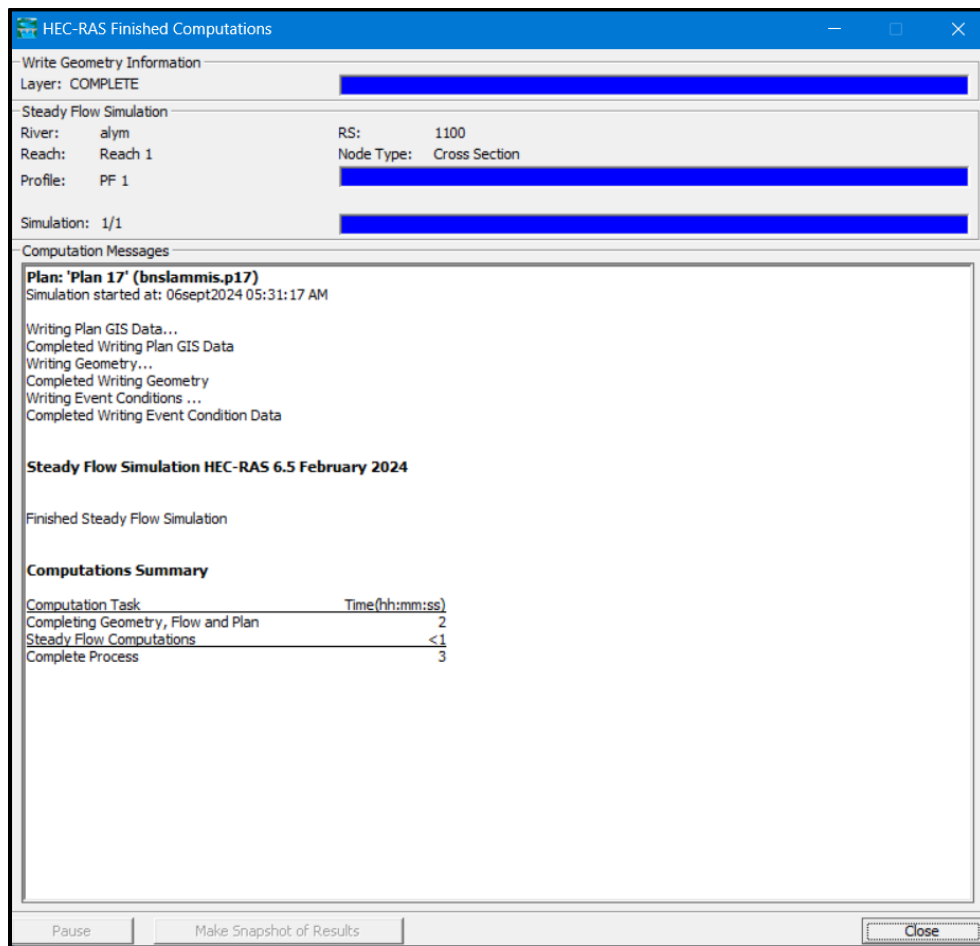


Figure IV-14 fin de simulation

### Résultats de la simulation

Les résultats de la simulation réalisée avec HEC-RAS offrent une compréhension approfondie de l'écoulement dans un système fluvial ou hydraulique spécifique. Cette simulation permet d'examiner en détail la distribution des vitesses, des niveaux d'eau et des débits au sein du réseau hydrographique. Ces analyses sont essentielles pour anticiper les risques d'inondation.

Après avoir effectué les simulations, nous présentons ci-dessous les résultats pour chaque oued :



- **Oued Alyem**

Voici la vue 3D de l'oued Alyem avant l'aménagement :

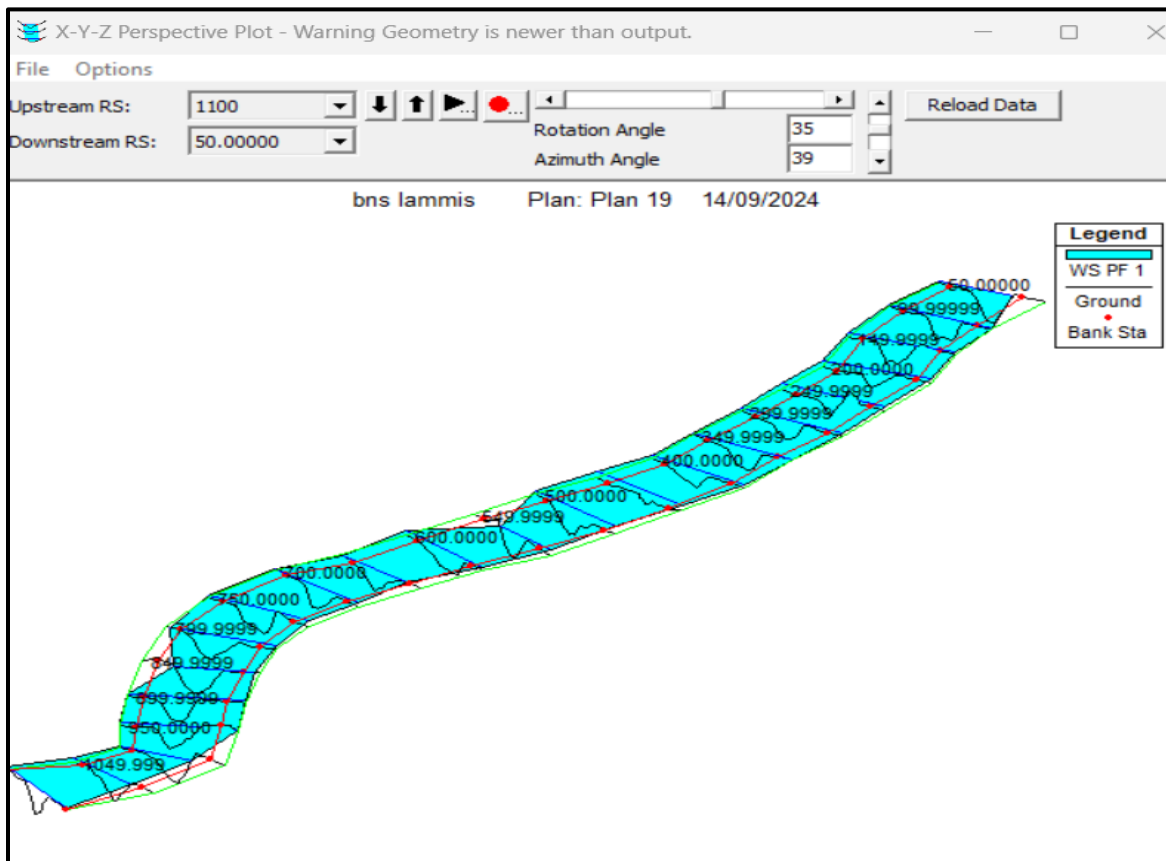


Figure IV-15 Vue 3D de l'oued Alyem

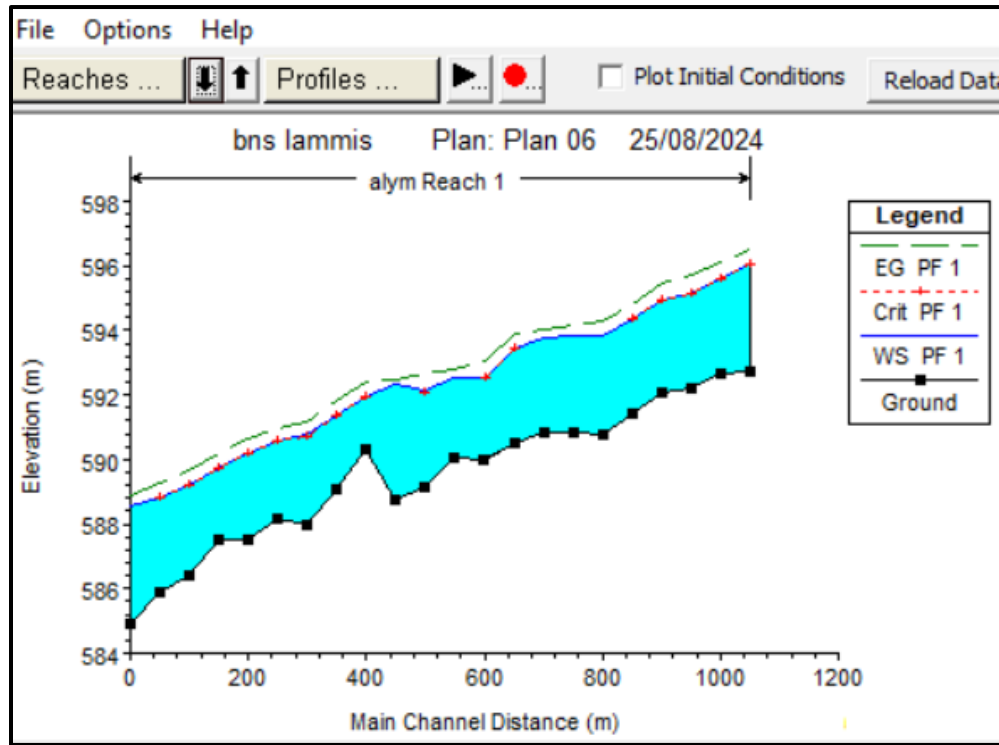


Figure IV-16 profils en long de l'oued Alyem

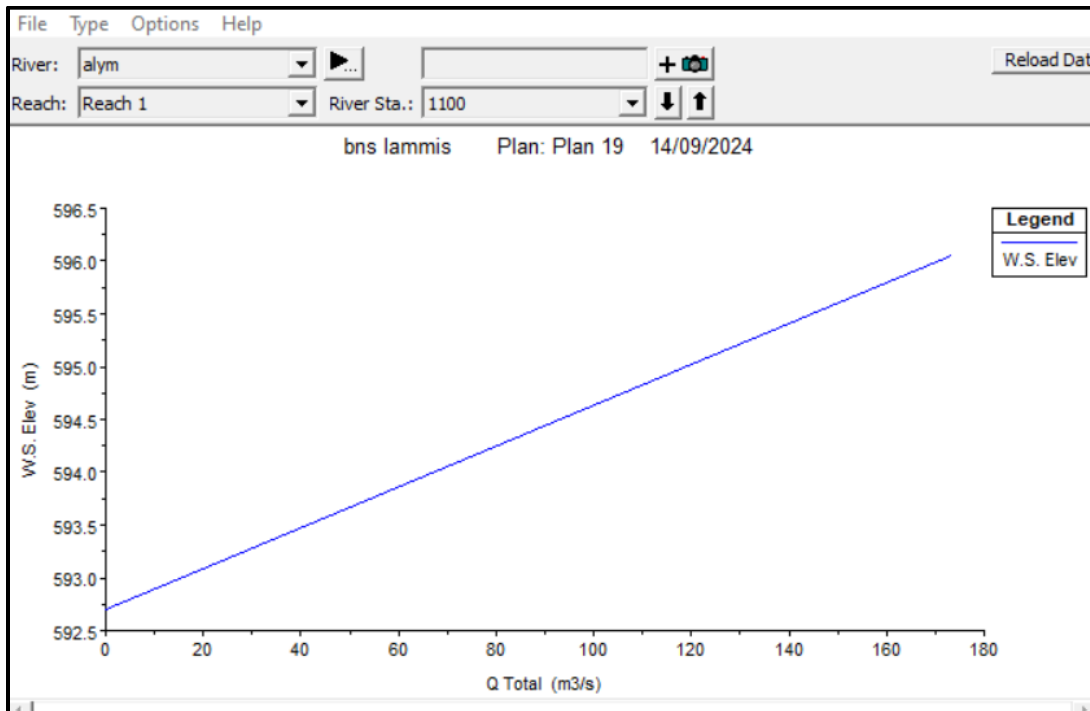


Figure IV-17 Courbe de tarage de l'oued Alyem

Les figures suivantes représentent des sections en travers de l'oued :

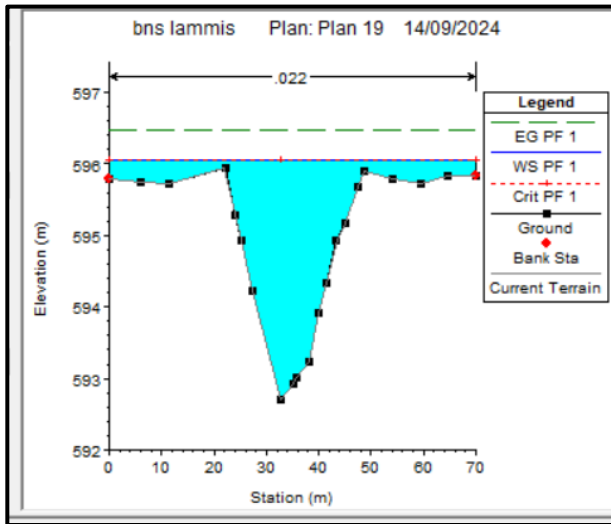


Figure IV-19 sections 650

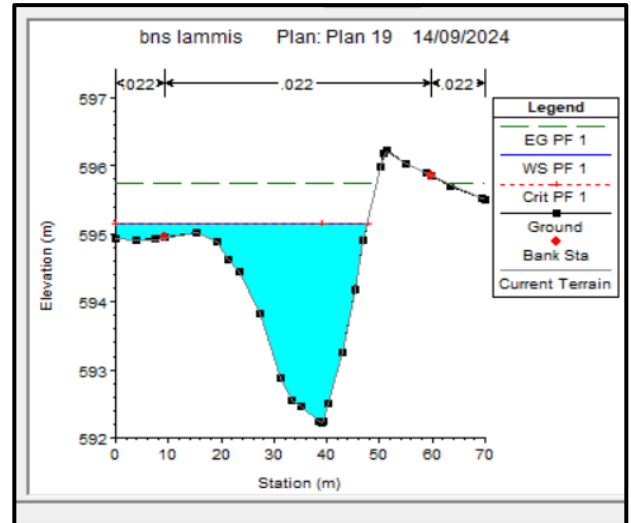


Figure IV-18 sections 900

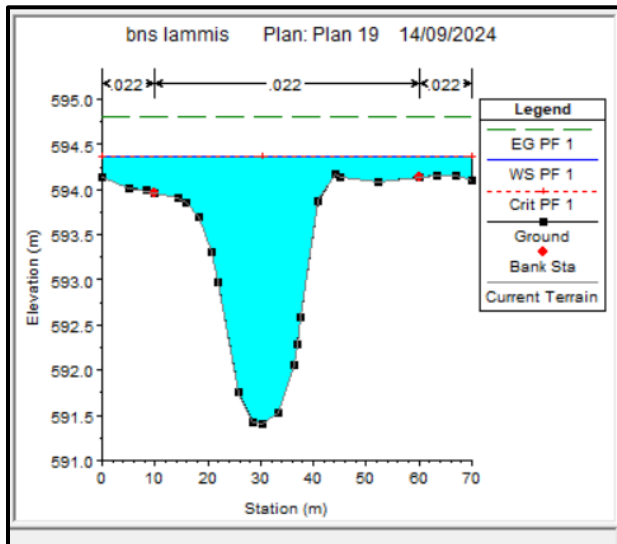


Figure IV-21 sections 1000

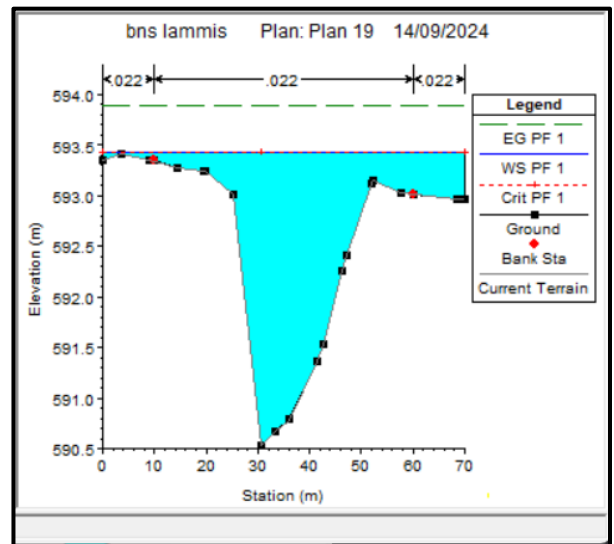


Figure IV-20 sections 1100

- **Oued Aouaoudja**

Voici la vue 3D de l'oued Aouaoudja avant l'aménagement :

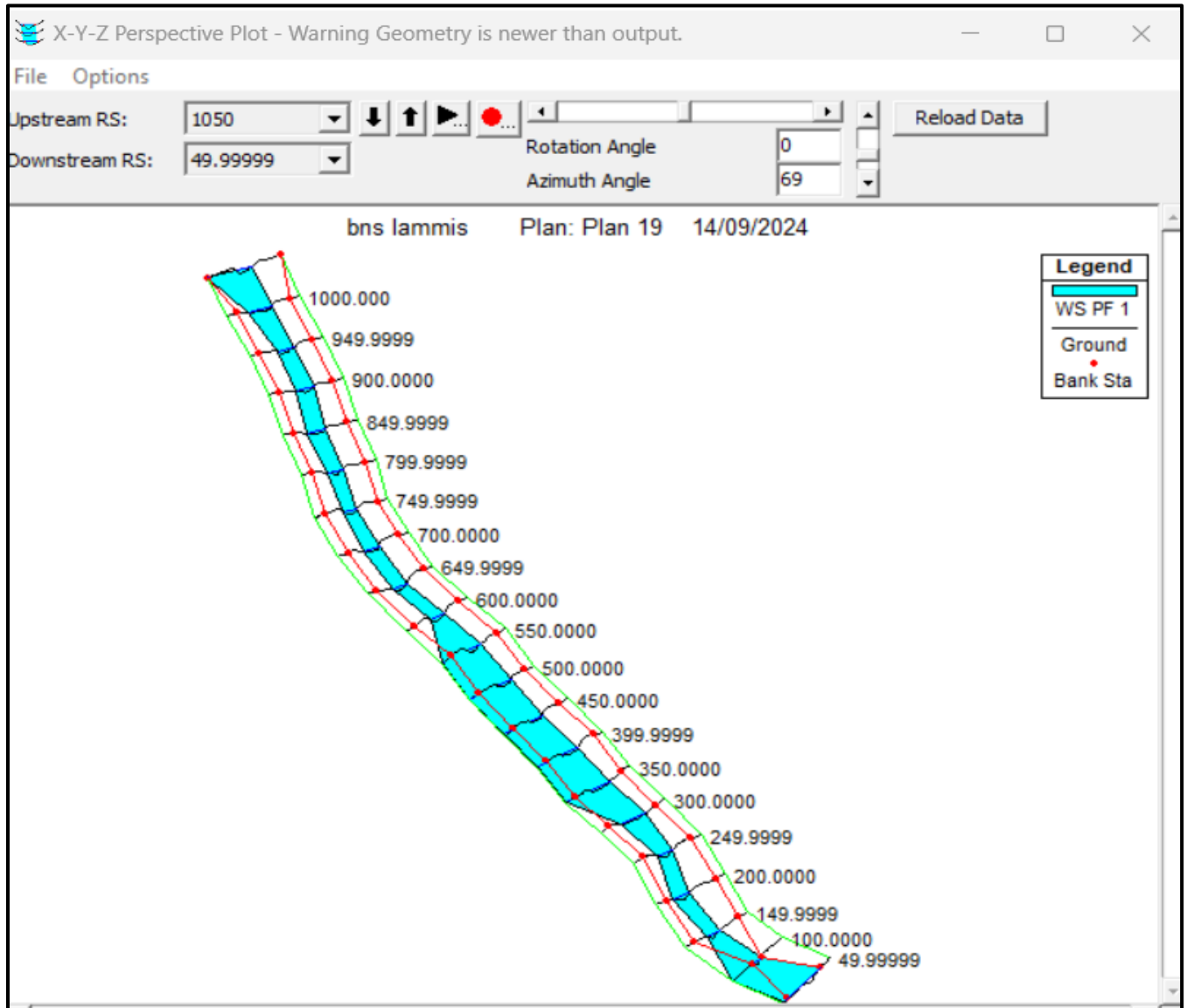


Figure IV-22 Vue 3D de l'oued Aouaoudja

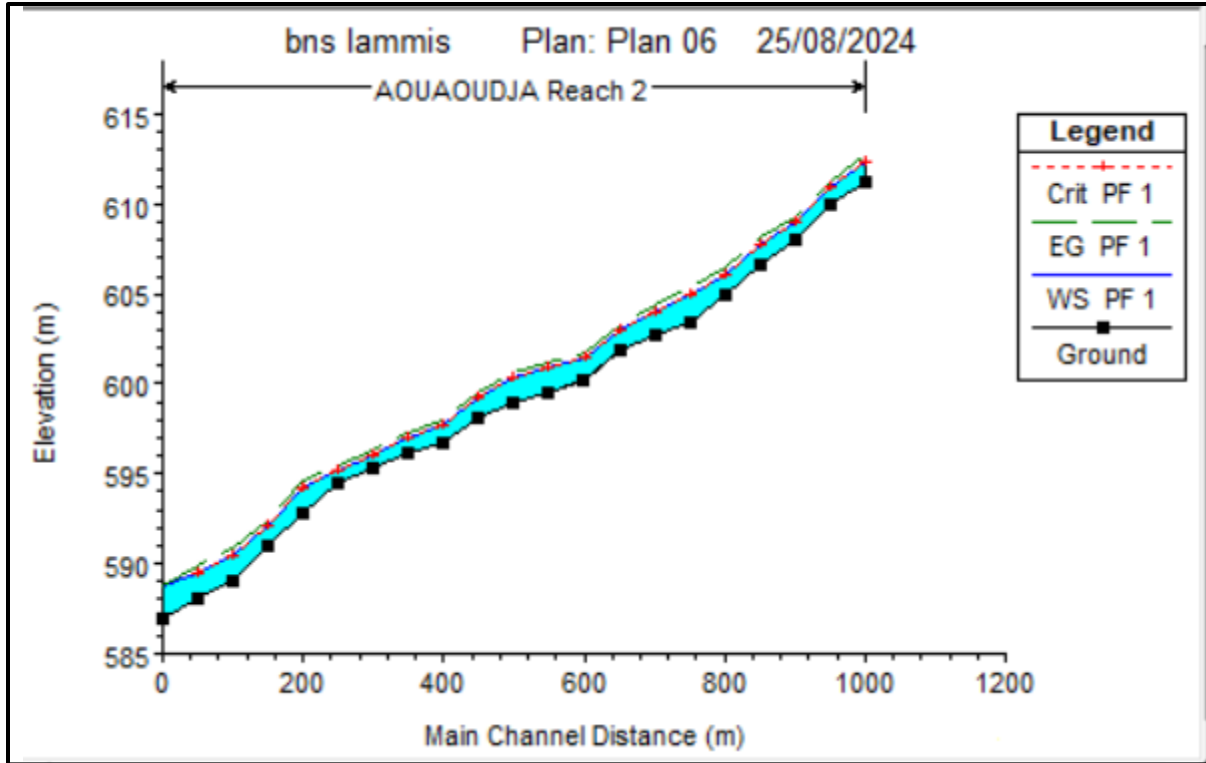


Figure IV-23 profils en long de l'oued Aouaoudja

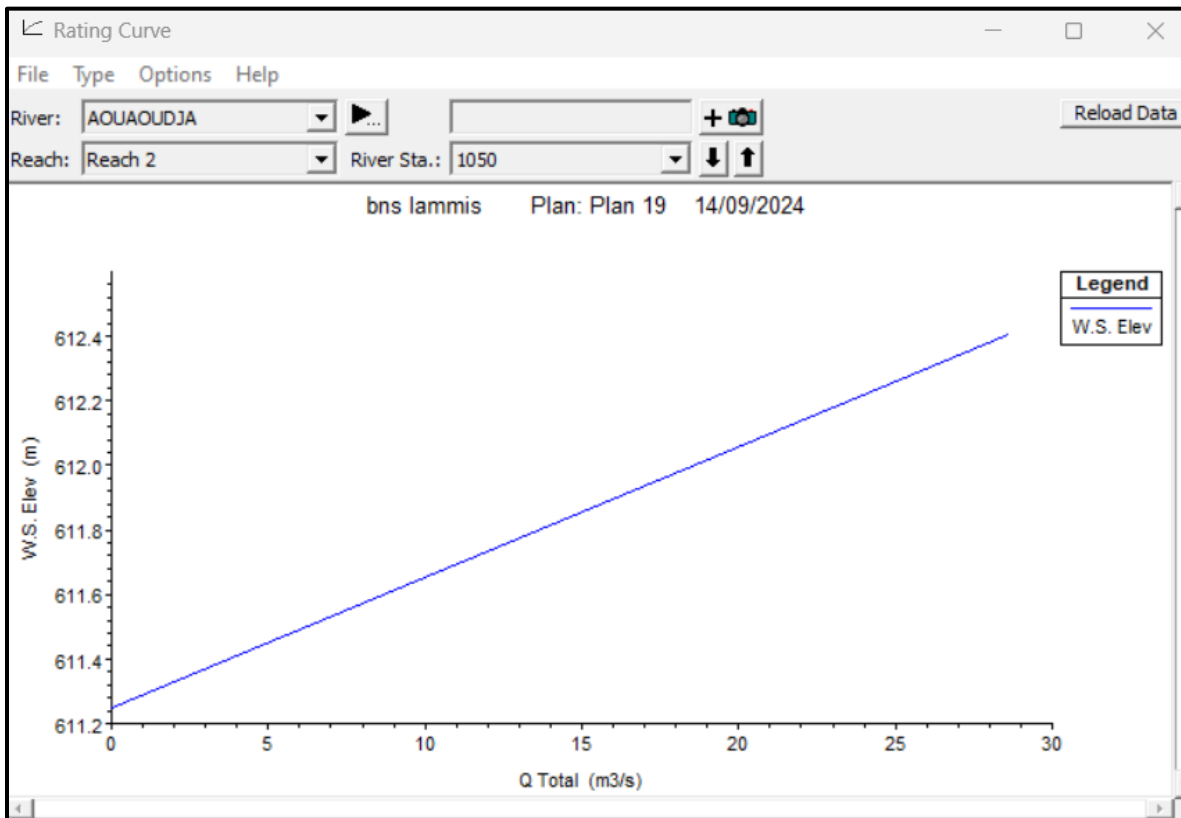


Figure IV-24 Courbe de tarage de l'oued Aouaoudj

Les figures suivantes représentent des sections en travers de l'oued :

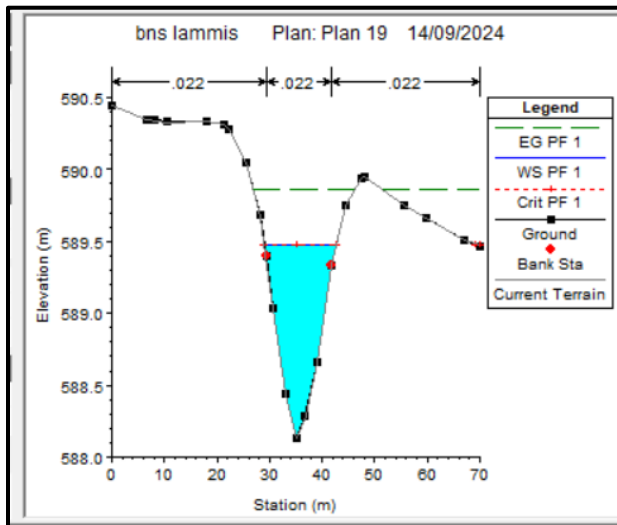


Figure IV-25 station 250

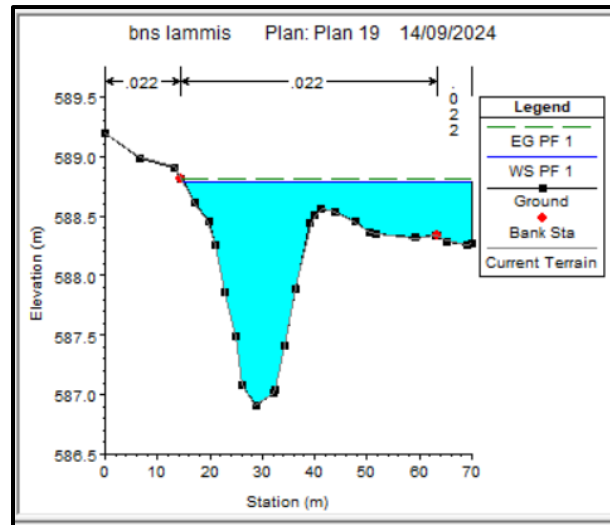


Figure IV-26 station 50

Le tableau suivant résume les résultats de la simulation avec le débit centennal Q100 ans.

Avec :

- Min Ch. El : Altitude du radier du canal (m).
- W.S Elev : Altitude du plan d'eau calculé (m).
- Crit W.S : Altitude du plan d'eau critique (m).
- E.G Elev : Altitudes de la ligne d'énergie (m).
- E.G Slope : Pente de la ligne d'énergie (m/m).
- Vel Ch : Vitesse d'écoulement (m/s).
- Flow Area : Section mouillée (m<sup>2</sup>).
- Top Width : Largeur au miroir (m).
- Froude #Chl : Nombr

Tableau IV-2 Principaux paramètres hydraulique des oueds Alyem et Aouaoudja

River	River Sta	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
River jct	40	201,98	584,42	588,66		588,78	0,00346	1,55	138,79	70	0,31
River jct	20	201,98	584,85	588,02	588,02	588,71	0,003892	3,7	56,05	44,72	0,96
AOUAOUUDJA	1050	28,62	611,25	612,41	612,41	612,76	0,005386	2,64	10,86	15,18	0,99
AOUAOUUDJA	1000	28,62	610,03	611	611	611,28	0,005933	2,35	12,19	22,01	1,01
AOUAOUUDJA	949,9999	28,62	607,99	608,97	608,97	609,32	0,005542	2,62	10,91	15,79	1,01
AOUAOUUDJA	900	28,62	606,67	607,79	607,79	608,12	0,005581	2,53	11,31	17,39	1
AOUAOUUDJA	849,9999	28,62	604,97	606,14	606,14	606,46	0,005586	2,52	11,34	17,51	1
AOUAOUUDJA	799,9999	28,62	603,44	604,97	604,97	605,34	0,00545	2,68	10,68	14,63	1
AOUAOUUDJA	749,9999	28,62	602,75	604,03	604,03	604,45	0,005261	2,87	9,96	11,84	1
AOUAOUUDJA	700	28,62	601,93	602,98	602,98	603,33	0,005575	2,61	10,98	16,11	1,01
AOUAOUUDJA	649,9999	28,62	600,24	601,44	601,44	601,79	0,005451	2,63	10,87	15,43	1
AOUAOUUDJA	600	28,62	599,55	600,84	600,84	601,21	0,005472	2,7	10,58	14,42	1,01
AOUAOUUDJA	550	28,62	599	600,29	600,29	600,62	0,005196	2,57	11,29	17,55	0,98
AOUAOUUDJA	500	28,62	598,17	599,21	599,21	599,53	0,004891	2,53	11,97	20,06	0,95
AOUAOUUDJA	450	28,62	596,75	597,73	597,73	598,02	0,005856	2,51	12,08	20,91	1,02
AOUAOUUDJA	399,9999	28,62	596,11	596,97	596,97	597,23	0,005306	2,37	13,13	25,76	0,97
AOUAOUUDJA	350	28,62	595,3	596,04	596,04	596,31	0,00546	2,31	12,65	24,87	0,97
AOUAOUUDJA	300	28,62	594,48	595,16	595,16	595,41	0,0061	2,22	12,9	26,04	1,01
AOUAOUUDJA	249,9999	28,62	592,86	594,26	594,26	594,62	0,00543	2,67	10,72	14,77	1
AOUAOUUDJA	200	28,62	590,98	592,12	592,12	592,44	0,005579	2,53	11,33	17,47	1
AOUAOUUDJA	149,9999	28,62	589,09	590,47	590,47	590,84	0,005448	2,68	10,67	14,63	1,3
AOUAOUUDJA	100	28,62	588,13	589,48	589,48	589,86	0,005371	2,73	10,48	14,57	0,91
AOUAOUUDJA	49,99999	28,62	586,91	588,78		588,81	0,000472	0,78	37,51	55,09	0,3
alym	1100	173,36	592,7	596,05	596,05	596,47	0,00505	2,88	60,14	70	0,99
alym	1049,999	173,36	592,66	595,6	595,6	596,14	0,00404	3,28	54,73	51,37	0,95
alym	1000	173,36	592,23	595,16	595,16	595,74	0,003999	3,4	52,53	47,74	0,95
alym	950	173,36	592,1	594,93	594,93	595,49	0,003976	3,35	53,98	50,19	0,94
alym	899,9999	173,36	591,41	594,36	594,36	594,8	0,003798	2,99	61,33	70	0,9
alym	849,9999	173,36	590,74	593,86		594,3	0,002664	2,93	59,62	48,93	0,78
alym	799,9999	173,36	590,85	593,83		594,14	0,002037	2,49	72,19	60,2	0,68
alym	750	173,36	590,81	593,75		594,04	0,001875	2,45	75,64	65,96	0,66
alym	700	173,36	590,53	593,43	593,43	593,89	0,004079	3,05	59,4	70	0,93
alym	650	173,36	589,99	592,51	592,51	593,05	0,00425	3,24	54,4	55,24	0,96
alym	600	173,36	590,07	592,55		592,8	0,001475	2,25	82,05	70	0,59
alym	549,9999	173,36	589,15	592,13	592,09	592,66	0,003528	3,29	55,23	45,93	0,89
alym	500	173,36	588,74	592,35		592,49	0,000561	1,65	112,09	70	0,38
alym	450	173,36	590,34	591,97	591,97	592,39	0,004962	2,96	60,35	70	1
alym	400	173,36	589,05	591,35	591,35	591,78	0,004011	2,99	62	70	0,93
alym	349,9999	173,36	588	590,76	590,69	591,18	0,003354	2,91	61,99	70	0,86
alym	299,9999	173,36	588,18	590,56	590,56	590,99	0,00417	3	61,82	70	0,94
alym	249,9999	173,36	587,49	590,16	590,16	590,64	0,004311	3,2	58,08	60,14	0,96
alym	200	173,36	587,51	589,72	589,72	590,16	0,004718	3,01	60,38	70	0,98
alym	149,9999	173,36	586,41	589,18	589,18	589,65	0,003784	3,09	59,86	64,17	0,91
alym	99,99999	173,36	585,9	588,8	588,8	589,26	0,003898	3,02	59,91	70	0,91
alym	50	173,36	584,93	588,56		588,88	0,001709	2,53	69,8	48,71	0,64

**Interprétation des résultats :**

Le tableau présente des paramètres hydrauliques pour les oueds Alyem et Aouaoudja, notamment la vitesse d'écoulement (Vel Chnl) et le régime d'écoulement (Froude #).

La vitesse d'écoulement varie de **0,22 m/s** à **4,46 m/s**.

Le nombre de Froude varie de **0,31** à **1,01**. Ce qui indique un **écoulement fluvial**

**Les zones inondables :**

Dans cette partie nous avons basé sur les résultats de la simulation précédente avec utilisation de l'application RAS-Mapper intégré dans HEC-RAS

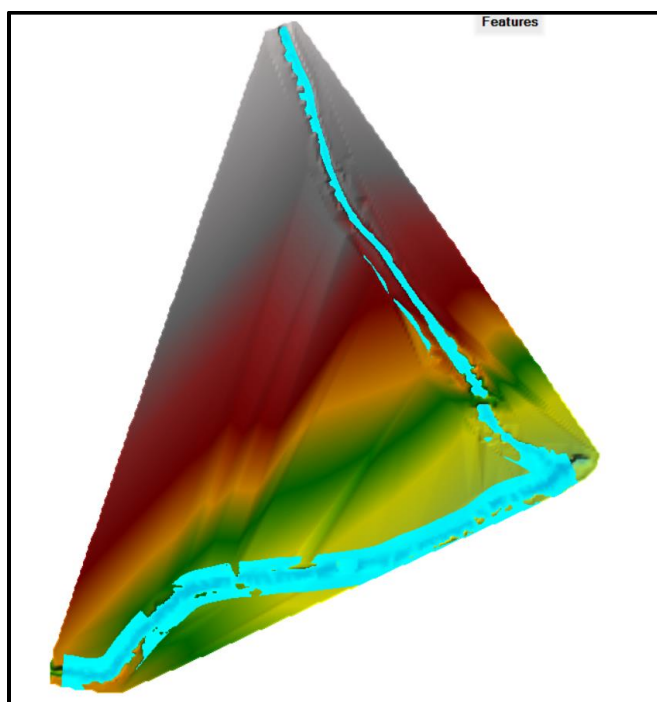


Figure IV-27 Les zones inondables



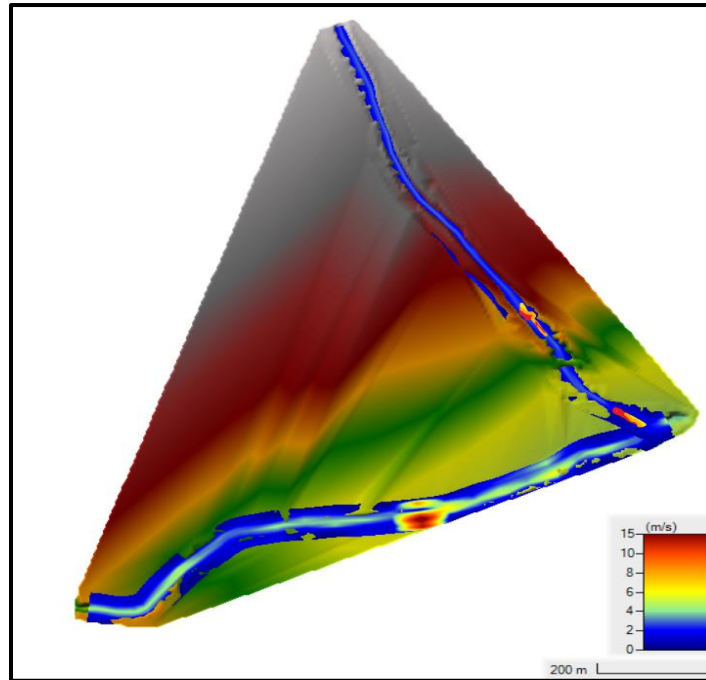
**Carte des vitesses :**

Figure IV-28 carte de vitesse d'eau pour la période de retour de 100ans

**IV.7 Etude d'aménagement**

Tout cours d'eau coulant à l'état naturel dans un lit plus ou moins affouillable produit une action sur son lit ainsi que sur l'environnement de la vallée submergée par les crues. En dehors des crues, les oueds coulent généralement dans un lit bien prononcé, leurs débits sont peu élevés et les conséquences de leur comportement sur l'environnement sont assez minimes. Le tableau change brusquement au moment des pluies, l'élévation du débit et par conséquent l'augmentation de la hauteur d'eau, la croissance de la vitesse et une forte dénivellation aboutissent à l'érosion assez forte du fond des berges. En outre, la divagation du lit favorise la formation des bancs de sable qui entraîne l'élévation de la hauteur d'eau et par conséquent l'augmentation de la superficie des champs d'inondation.

**IV.7.1 Les différents types d'aménagements****Protection indirecte**

La protection indirecte, en revanche, consiste à intervenir à distance des sites menacés, en réalisant des ouvrages sur les oueds responsables des inondations :

- **Création de canaux périphériques** : Cette méthode permet de détourner les eaux vers des oueds, facilitant ainsi leur redirection vers des zones non exposées aux risques d'inondation. Cette déviation peut concerner partiellement ou totalement les eaux d'un oued vers un autre.
- **Réalisation de barrages** : Les barrages sont conçus pour stocker et réguler les crues en amont des zones vulnérables. Leur volume et leur capacité de gestion des crues doivent être optimisés pour garantir une protection efficace.
- **Aménagement des bassins versants** : Cette approche vise à lutter contre l'érosion par des méthodes biologiques et/ou par la construction de seuils en gabions, permettant ainsi de réduire la vitesse d'écoulement et de favoriser le dépôt des sédiments en amont.

### Protection directe

La protection directe implique des interventions sur le site menacé, visant à atténuer les risques d'inondation par le biais des actions suivantes :

- **Curage** : Cette opération améliore considérablement les conditions d'écoulement en éliminant les obstacles et les dépôts qui entravent le flux des eaux dans le cours d'eau. Le débroussaillage est également essentiel, notamment dans les zones urbaines, pour des raisons sanitaires et pour réduire la rugosité, ce qui favorise un meilleur débit.
- **Recalibrage** : Cette technique consiste à élargir et approfondir les sections des cours d'eau afin d'augmenter leur capacité d'évacuation des eaux, tout en garantissant que la section mouillée respecte les critères de protection requis.
- **Réalisation de canaux** : Cette action permet de restaurer le couloir initial de l'oued, ce qui est particulièrement nécessaire lorsque le lit de l'oued et son domaine hydraulique sont occupés par des constructions ou des infrastructures routières.
- **Protection des berges** : Cela englobe tous les ouvrages destinés à maintenir la stabilité des terres face à l'action de l'eau. Les berges sont souvent attaquées par des courants perturbateurs générés lors des crues, et les sols peuvent glisser en raison de l'infiltration d'eau après le retrait de la crue. La protection des berges est également cruciale à proximité de certaines infrastructures, telles que les ponts.
- **Endiguement des oueds** : Cette technique consiste à construire des digues le long des rives des cours d'eau. Cette opération peut être réalisée avec des ressources locales en main-

d'œuvre et en matériaux. De plus, ce type de protection permet une approche sélective, en protégeant d'abord les zones les plus riches et les plus peuplées. Cependant, il est important de noter que cette méthode peut entraîner une élévation significative du niveau des eaux et compliquer le drainage des terrains bas.

Ces différentes stratégies d'aménagement sont essentielles pour garantir la sécurité des zones à risque et pour assurer une gestion durable des ressources en eau.

#### IV.7.2 Formules de calcul de l'écoulement a surface libre

D'une manière générale, les ouvrages sont calculés suivant une formule d'écoulement résultant

$$V = c \cdot \sqrt{R_h \cdot I} \quad \text{IV-5}$$

Avec :

V : vitesse moyenne d'écoulement [m/sec]

Rh : rayon hydraulique [m] :  $R_h = \frac{A_m}{P_m}$

I : pente du collecteur [m/m]

C : coefficient de Chézy

A<sub>m</sub> : section mouillée

P<sub>m</sub> : périmètre mouillé

n : désigne le coefficient de rugosité, dont les valeurs dépendent de la nature des parois.

#### Rugosité des matériaux utilisés :

Les coefficients de rugosité de Strickler des matériaux utilisés pour les calculs hydrauliques sont donnés dans le tableau 1.

#### Calcul de la hauteur normale dans le canal :

La relation de l'écoulement à surface libre s'exprime comme suit :

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

IV-6

**Avec :**

n - coefficient de rugosité

i - pente du chenal

S - section mouillée

R - rayon hydraulique pris égal à  $R = \frac{P}{S}$

P - périmètre mouillé

**Calcul de la hauteur critique :**

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot q^2}{g}}$$

IV-7

**Avec :**

hc: hauteur critique (en mètres).

$\alpha$  : un coefficient dépendant des conditions d'écoulement.

q : débit unitaire (en m<sup>3</sup>/s/m).

g : accélération due à la gravité.

La figure suivante présente les formules des éléments géométriques pour cinq types différents de sections de canaux :

	Rectangle	Trapèze	Triangle	Cercle	Parabole
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, $\theta$				$\theta = 2 \arccos \left( \frac{\frac{D}{2} - h}{\frac{D}{2}} \right)$	

Figure IV-29 Eléments géométriques pour des sections ouvertes diverses (Graf, 2000)

### IV.7.3 Vérification du comportement hydraulique des oueds

La zone d'étude est constituée de deux cours d'eau principaux :

- Oued Alyem
- Oued Aouaoudja

Pour chaque oued, nous avons calculé la pente qui lui correspond, les résultats de calcul sont dressés dans le tableau suivant :

Tableau IV-3 débits de crue centennale par tronçon

Oued	Cotes		Longueur ml	Pente m/m	Crue centennale (m3/s)
	Départ	Arrivée			
Alyem	592.69	584.18	1 137.85	0.00748	173.36
Aouaoudja	611.79	584.45	1 064.36	0.02566	28.62

### **IV.8 Etude des variantes**

Dans cette étude, nous proposons trois variantes pour l'aménagement des oueds Alyem et Aouaoudja, afin de protéger la ville de Béni Slimane contre les crues centennales. Ces variantes sont conçues pour avoir la capacité d'évacuer efficacement les eaux de crue.

#### **Protection suivant le matériau:**

- Protection en béton armé sur la totalité de la section,
- Protection en enrochement sur la totalité de la section,

#### **Protection suivant la géométrie du canal :**

- Canal de forme trapézoïdale, avec cunette pour les basses eaux,
- Canal de forme rectangulaire avec cunette pour les basses eaux

#### **Rugosité des matériaux utilisés :**

Les coefficients de rugosité de ces matériaux utilisés pour pour l'aménagement des oueds Alyem et Aouaoudja sont respectivement les suivants :

- Béton armé :  $n = 0.014$
- Enrochement :  $n = 0.025$
- **Flow Master :**

FlowMaster est un logiciel de calcul hydraulique utilisé pour la conception et l'analyse d'éléments hydrauliques variés tels que les canaux ouverts, les tuyaux, les déversoirs et les orifices. Ce logiciel permet aux ingénieurs de résoudre rapidement des problèmes complexes liés à l'écoulement de l'eau, en fournissant des outils pour calculer des propriétés inconnues, concevoir des caractéristiques spécifiques et générer des rapports détaillés ainsi que des courbes de notation. FlowMaster est particulièrement apprécié pour sa capacité à traiter des écoulements uniformes et variés, facilitant ainsi l'évaluation de la performance des systèmes hydrauliques dans des conditions réelles. Grâce à son interface conviviale, il permet de travailler sur plusieurs projets simultanément et d'organiser les données de manière efficace, ce qui améliore la productivité dans le domaine de l'ingénierie hydraulique

### IV.8.1 Variante 1 : canal trapézoïdale en béton armé



Figure IV-30 Canal trapézoïdal en béton armé

#### IV.8.1.1 Oued Alyem

Cette variante consiste à projeter un canal en forme trapézoïdal sur Oued Alyem à partir de l'amont à l'entrée Ouest de la ville jusqu'au point de confluence avec oued Aouaoudja sur un linéaire total de 1116 ml.

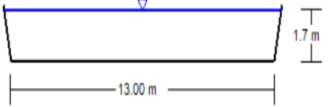
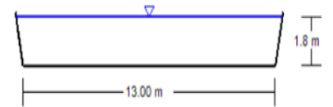
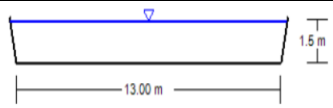
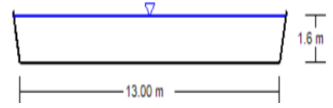
Pour l'aménagement de l'oued Alyem, nous avons décomposé la zone à aménager en quatre (4) tronçons distincts, qui se présentent comme suit :

Tableau IV-4 - Caractéristiques des tronçons de l'oued Alyem

Désignation	Longueur (ml)	Pente (m/m)
Tronçon 1	220.52	0.0073
Tronçon 2	678.69	0.006
Tronçon 3	77.42	0.0163
Tronçon 4	140.61	0.01

Les calculs effectués sur le logiciel Flow Master pour un canal de forme trapézoïdale en béton avec un fuit de talus  $m=0.2$  et une largeur à la base de 13 m donnent les résultats présentés ci-dessous :

Tableau IV-5 Paramètres d'écoulement de l'oued Alyem

Oued	Tr	Section	Longueur (m)	Pente	Largeur du fon b (m)	Hauteur du canal h (m)	Section mouillée (m <sup>2</sup> )	La vitesse (m/s)	N de Froude Fr	Résultat du F.M
Alyem	1	900-1100	220.52	0.007	13	1.7	16.5	7.48	1.83	
	2	300-900	678.69	0.006	13	1.8	16.7	7.11	1.7	
	3	200-300	77.42	0.016	13	1.5	16.2	8.4	2.18	
	4	50-200	140.61	0.01	13	1.6	16.3	8.12	2.07	



- **Interprétation :**

Nous avons segmenté notre oued en quatre tronçons en nous appuyant sur les pentes dérivées du levé topographique. Les résultats obtenus avec Flow Master indiquent que les dimensions du canal sont identiques pour les quatre tronçons, et que le nombre de Froude reste systématiquement supérieur à 1. De plus, en tenant compte d'une profondeur supérieure à 0,9 m, car le débit est de  $173.36\text{m}^3/\text{s}$ , ce qui est supérieur à  $8,5\text{ m}^3/\text{s}$ . Donc nous avons projeté un canal en béton armé de forme trapézoïdale. Les dimensions adoptées pour cet ouvrage sont :  $B=14.2\text{m}$ ,  $b=13\text{m}$ ,  $h=3\text{m}$ .

- **Les sections en travers :**

Les sections à travers les profils sont représentées dans les figures suivantes :

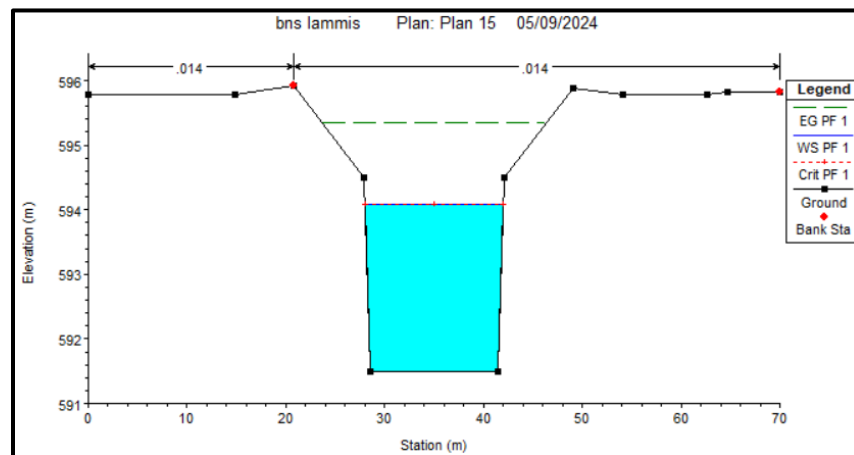


Figure IV-31 section en travers 250

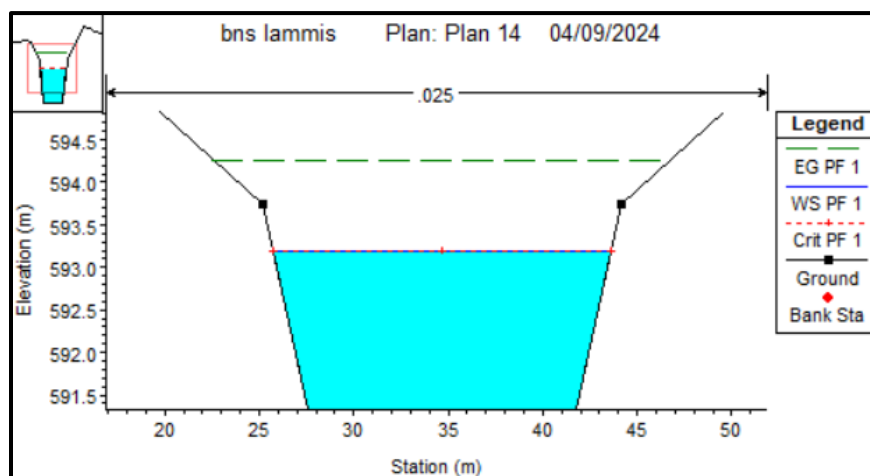


Figure IV-32 section en travers 650

- **Estimation du coût de la variante :**

Présenté dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV-6 Devis de l'oued Alyem V1

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Prix total
<b>A</b>	<b>TERRASSEMENTS</b>				
A1	Déblais	m <sup>3</sup>	5 561.72	250	1 390 430.00
A2	Remblais	m <sup>3</sup>	1 031.94	130	134 152.2
	<i>SOUS TOTAL A</i>				1 524 582.2
<b>B</b>	<b>BETONS</b>				
B1	Béton de propreté dosé à 150Kg/m <sup>3</sup> de 10 cm d'épaisseur	m <sup>3</sup>	1 452.70	6 500	9 442 550.00
B2	Béton armé pour radier dosé à 350 kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	5744.77	32 000	183 832 640.00
	<i>SOUS TOTAL B</i>				193 275 190.00
<b>TOTAL HORS TAXES</b>					<b>194 799 772.2</b>
<b>T.V.A. 19%</b>					<b>37 011 956.72</b>
<b>TOTAL TTC DA</b>					<b>231 811 728.9</b>

#### IV.8.1.2 Oued Aouaoudja

Pour cette variante, Oued Aouaoudja est aménagé par un canal de forme trapézoïdal en béton armé sur un linéaire total de 1065 ml.

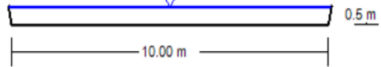
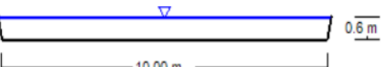
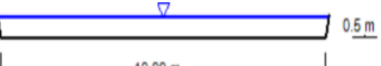
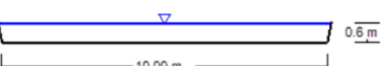
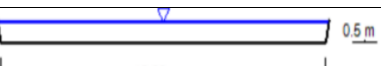
Pour l'aménagement de l'oued Aouaoudja, nous avons décomposé la zone à aménager en cinq (05) tronçons distincts, qui se présentent comme suit :

Tableau IV-7 Caractéristiques des tronçons de l'oued Aouaoudja V1

Désignation	Longueur (ml)	Pente (m/m)
Tronçon 1	297.10	0.028
Tronçon 2	459.64	0.0191
Tronçon 3	117.57	0.0382
Tronçon 4	141.16	0.0219
Tronçon 5	48.95	0.0426

Les calculs effectués sur le logiciel Flow Master pour un canal de forme trapézoïdale avec un fuit de talus  $m=0.2$  et une largeur à la base de 10 m donnent les résultats présentés ci-dessous :

Tableau IV-8 Paramètres d'écoulement de l'oued Aouaoudja VI

Oued	Tron	Section	Longueur (m)	Pente	Largeur du fon b (m)	Hauteur du canal h (m)	Section mouillée (m <sup>2</sup> )	La vitesse (m/s)	N de Froude Fr	Résultat du F.M
Aouaoudja	1	800-1050	297.10	0.028	10	0.5	10.18	5.91	2.19	
	2	350-800	459.64	0.019 1	10	0.6	10.20	5.79	1.9	
	3	250-350	117.57	0.038 2	10	0.5	10.24	6.3	2.31	
	4	100-250	141.16	0.021 9	10	0.6	10.19	5.88	2.1	
	5	50-100	48.95	0.042 6	10	0.5	10.16	7.09	2.49	



- **Interprétation :**

Nous avons divisé notre oued en cinq tronçons en nous basant sur les pentes extraites du levé topographique. Les résultats obtenus via Flow Master montrent que les dimensions du canal sont identiques pour les cinq tronçons, et que le nombre de Froude se situe constamment entre 1 - 2,5. De plus, en prenant en compte une profondeur supérieure à 0,9 m, car le débit est de 28,62 m<sup>3</sup>/s, ce qui est supérieur à 8,5 m<sup>3</sup>/s. Par conséquent, nous avons projeté un canal en béton armé de forme trapézoïdale. Les dimensions retenues pour cet ouvrage sont : B=10,8 m, b=10 m, h=2 m.

- **Les sections en travers :**

Les sections à travers les profils sont représentées dans les figures suivantes :

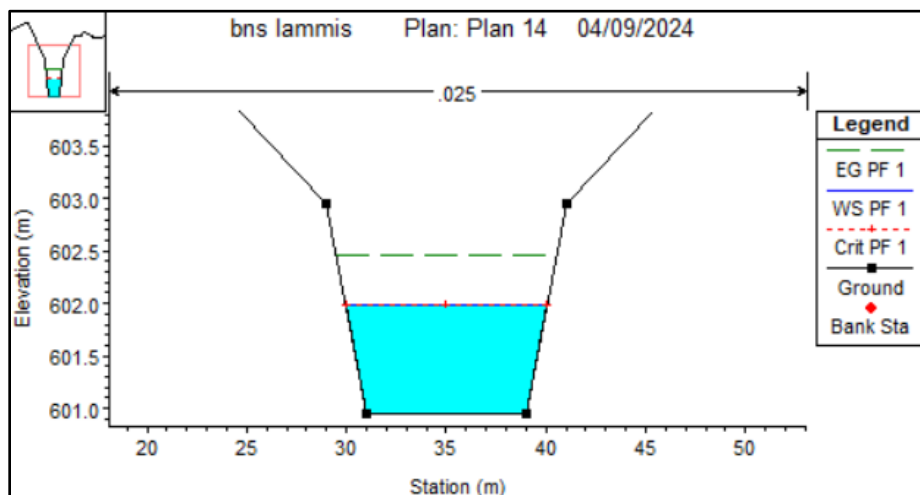


Figure IV-33 section en travers 450

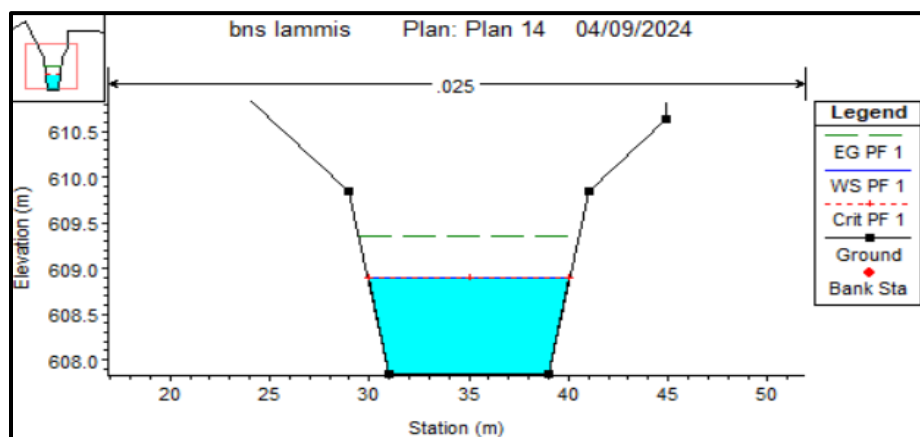


Figure IV-34 section en travers 700

- **Estimation du coût de la variante :**

Présenté dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV-9 Devis de l'oued Aouaoudja V1

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Prix total
<b>A</b>	<b>TERRASSEMENTS</b>				
A1	Déblais	m <sup>3</sup>	728.8	250	182 200.00
A2	Remblais	m <sup>3</sup>	1004.52	130	130 5887.6
	SOUS TOTAL A				312 787.6
<b>B</b>	<b>BETONS</b>				
B1	Béton de propreté dosé à 150Kg/m <sup>3</sup> de 10 cm d'épaisseur	m <sup>3</sup>	869.84	6 500	5 653 960.00
B2	Béton armé pour radier dosé à 350 kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	3479.36	32 000	111 339 520.00
	SOUS TOTAL B				116 993 480.00
<b>TOTAL HORS TAXES</b>					<b>117 306 267.6</b>
<b>T.V.A. 19%</b>					<b>22 288 190.84</b>
<b>TOTAL TTC DA</b>					<b>139 594 458.4</b>

#### IV.8.2 Variante 2: Canal rectangulaire en béton armé

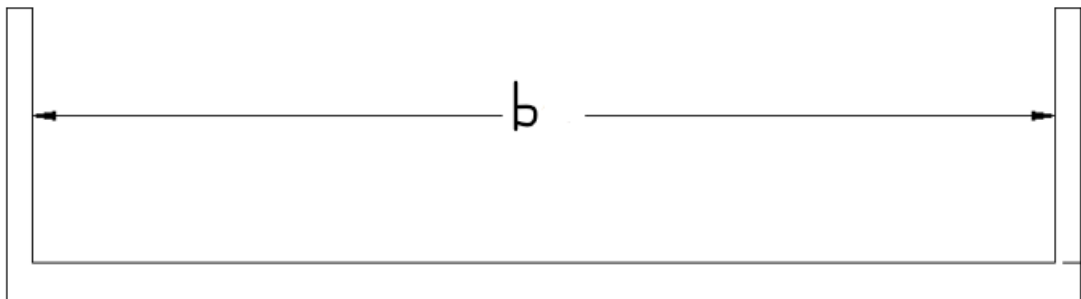
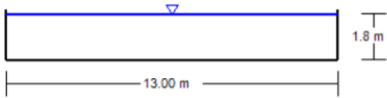
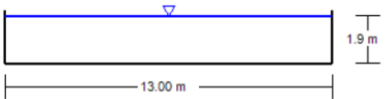
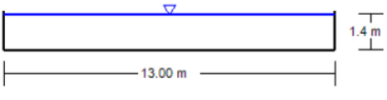
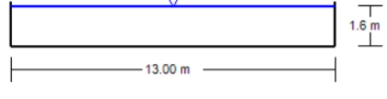


Figure IV-35 Canal en béton armé

##### IV.8.2.1 Oued Alyem

Les calculs effectués sur le logiciel Flow Master pour un canal de forme rectangulaire une largeur à la base de 13 m donnent les résultats présentés ci-dessous :

Tableau IV-10 Paramètres d'écoulement de l'oued Alyem V2

Oued	Tr	Section	Longueur (m)	Pente	Largeur du fon b (m)	Hauteur du canal h (m)	Section mouillée (m <sup>2</sup> )	La vitesse (m/s)	N de Froude Fr	Résultat du F.M
Alyem	1	900-1100	220.52	0.007	13	1.8	23.2	7.48	1.78	
	2	300-900	678.69	0.006	13	1.9	24.4	7.1	1.65	
	3	200-300	77.42	0.016	13	1.4	17.7	8.9	2.46	
	4	50-200	140.61	0.01	13	1.6	20.6	8.4	2.13	

- **Interprétation :**

Nous avons segmenté notre oued en quatre tronçons en nous appuyant sur les pentes dérivées du levé topographique. Les résultats obtenus avec Flow Master indiquent que les dimensions du canal sont identiques pour les quatre tronçons, et que le nombre de Froude reste systématiquement supérieur à 1. De plus, en tenant compte d'une profondeur supérieure à 0,9 m, car le débit est de  $173.36\text{m}^3/\text{s}$ , ce qui est supérieur à  $8,5\text{ m}^3/\text{s}$ . Donc nous avons projeté un canal en béton armé de forme rectangulaire. Les dimensions adoptées pour cet ouvrage sont :  $B=13\text{m}$ ,  $b=13\text{m}$ ,  $h=3\text{m}$ .

- **Les sections en travers :**

Les sections à travers les profils sont représentées dans les figures suivantes :

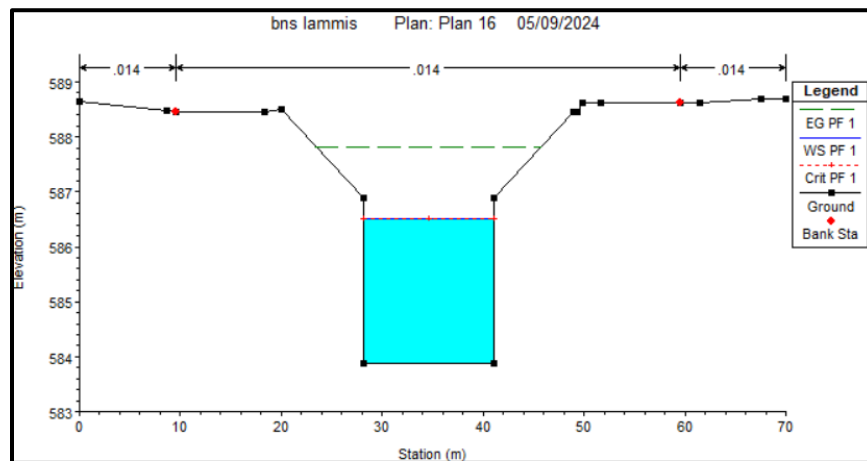


Figure IV-36 section en travers 100

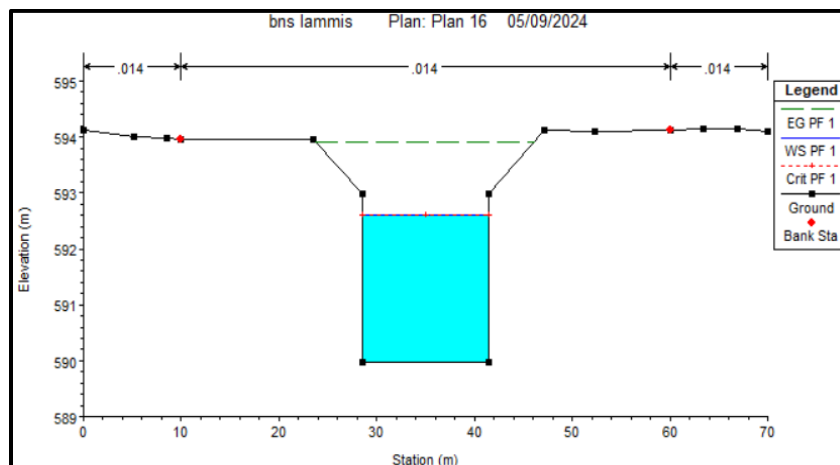


Figure IV-37 section en travers 900



- **Estimation du coût de la variante :**

Présenté dans le tableau ci-dessous :

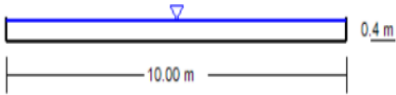
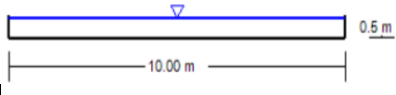
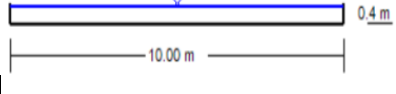
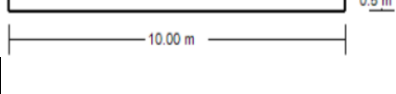
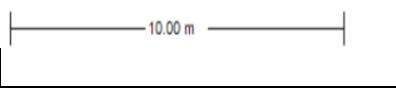
Tableau IV-11 Devis de l'oued Alyem V2

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Prix total
<b>A</b>	<b>TERRASSEMENTS</b>				
A1	Déblais	m <sup>3</sup>	26379.71	250	6594927.5
A2	Remblais	m <sup>3</sup>	9 553.23	130	1241919.9
	<b>SOUS TOTAL A</b>				7836847.4
<b>B</b>	<b>BETONS</b>				
B1	Béton de propreté dosé à 150Kg/m <sup>3</sup> de 10 cm d'épaisseur	m <sup>3</sup>	1 452.70	6 500	9 442 550
B2	Béton armé pour radier dosé à 350 kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	4956.78	32 000	158616960.00
	<i>SOUS TOTAL B</i>				168 059 510.00
<b>TOTAL HORS TAXES</b>					<b>175 896 357.4</b>
<b>T.V.A. 19%</b>					<b>33 420 307.91</b>
<b>TOTAL TTC DA</b>					<b>209 316 665.3</b>

#### IV.8.2.2 Oued Aouaoudja

Pour cette variante, Oued Aouaoudja est aménagé par un canal de forme rectangulaire en béton armé à la base de 10 m. Les calculs effectués sur le logiciel Flow Master donnent les résultats présentés ci-dessous :

Tableau IV-12 Paramètres d'écoulement de l'oued Aouaoudja V2

Oued	Tr	Section	Longueur (m)	Pente	Largeur du fon b (m)	Hauteur du canal h (m)	Section mouillée (m <sup>2</sup> )	La vitesse (m/s)	N de Froude Fr	Résultat du F.M
Aouaoudja	1	800-1050	297.10	0.028	10	0.4	4.4	8.52	2.14	
	2	350-800	459.64	0.019 1	10	0.5	4.9	5.78	1.9	
	3	250-350	117.57	0.038 2	10	0.4	4	6.17	2.61	
	4	100-250	141.16	0.021 9	10	0.5	4.8	5.97	2.75	
	5	50-100	48.95	0.042 6	10	0.4	3.9	7.4	2.79	

- **Interprétation :**

Nous avons divisé notre oued en cinq tronçons en nous basant sur les pentes extraites du levé topographique. Les résultats obtenus via Flow Master montrent que les dimensions du canal sont identiques pour les cinq tronçons, et que le nombre de Froude se situe constamment entre 1 - 3. De plus, en prenant en compte une profondeur supérieure à 0,9 m, car le débit est de 28,62 m<sup>3</sup>/s, ce qui est supérieur à 8,5 m<sup>3</sup>/s. Par conséquent, nous avons projeté un canal en béton armé de forme rectangulaire. Les dimensions retenues pour cet ouvrage sont : B=10 m, b=10 m, h=2 m.

- **Les sections en travers :**

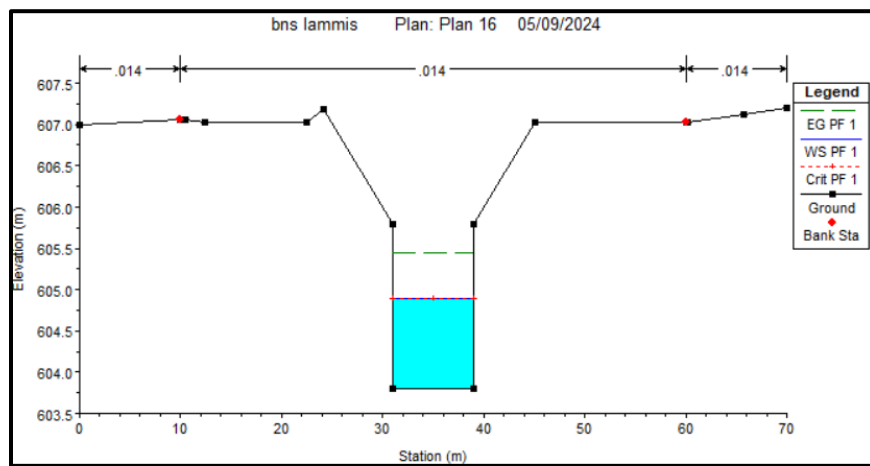


Figure IV-38 section en travers 850

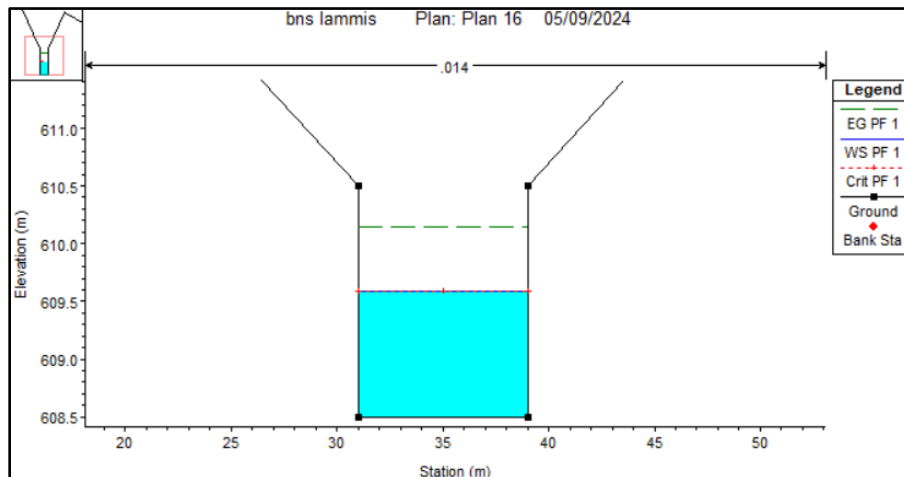


Figure IV-39 section en travers 1050

- **Estimation du coût de la variante :**

Présenté dans le tableau ci-dessous :

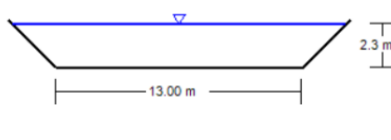
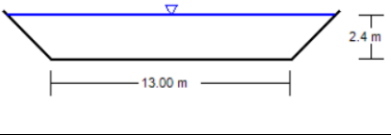
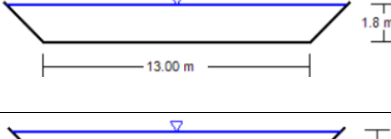
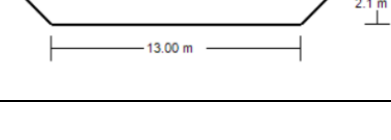
Tableau IV-13 Devis de l'oued Aouaoudja V2

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Prix total
<b>A</b>	<b>TERRASSEMENTS</b>				
A1	Déblais	m <sup>3</sup>	13466.8	250	3 366 700.00
A2	Remblais	m <sup>3</sup>	7 724.80	130	1 004 224.00
	SOUS TOTAL A				38 037 924.00
<b>B</b>	<b>BETONS</b>				
B1	Béton de propreté dosé à 150Kg/m <sup>3</sup> de 10 cm d'épaisseur	m <sup>3</sup>	869.84	6 500	5 653 960.00
B2	Béton armé pour radier dosé à 350 kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	2546.42	32 000	49 485 440.00
	SOUS TOTAL B				55 139 400.00
<b>TOTAL HORS TAXES</b>					<b>93 177 324.00</b>
<b>T.V.A. 19%</b>					<b>17703691.56</b>
<b>TOTAL TTC DA</b>					<b>110 881 015.6</b>

### IV.8.3 Variante 3 : canal trapézoïdale en enrochement

Pour la dernière variante, l'aménagement de l'Oued Alyem se fait par un canal trapézoïdal en enrochement avec un fuit de talus  $m=01$  et une largeur à la base de 13 m. Les calculs réalisés à l'aide du logiciel FlowMaster donnent les résultats présentés ci-dessous :

Tableau IV-14 Paramètres d'écoulement de l'oued Alyem V3

Oued	Tr	900-1100	Longueur (m)	Pente	Largeur du fon b (m)	Hauteur du canal h (m)	Section mouillée (m <sup>2</sup> )	La vitesse (m/s)	N de Froude Fr	Résultat du F.M
Alyem	1	300-900	220.52	0.007	13	2.3	35	4.95	1.12	
	2	200-300	678.69	0.006	13	2.4	36.9	4.7	1.04	
	3	50-200	77.42	0.016	13	1.8	26.5	6.53	1.65	
	4	900-1100	140.61	0.01	13	2.1	31	5.58	1.32	

- **Canal en enrochement :**

Les canaux en enrochement sont utilisés pour gérer les crues, en permettant un écoulement efficace des eaux tout en minimisant les risques d'érosion des berges. Ils sont souvent intégrés dans des systèmes de drainage urbain et rural pour protéger les zones sensibles contre les inondations. La conception de ces canaux doit être adaptée aux caractéristiques spécifiques de chaque site, en tenant compte des débits prévus et des conditions environnementales.

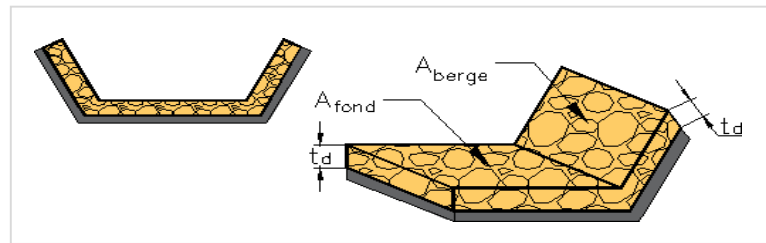


Figure IV-40 Canal en enrochement

- Epaisseur orthogonale théorique  $t_d$  (m) :

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

- Volume globale de dimensionnement  $\vartheta_{b,d}$  (m<sup>3</sup>):

$$\vartheta_{b,d} = A \cdot t_d$$

Avec :

n: nombre de couche  $n = 1$

$D_{50}$  : Diamètre médian  $D_{50}=1$  m

A : Aire (surface) (m<sup>2</sup>).

- Les sections d'enrochement :

$$A = L \times l_{\text{talus}}$$

Avec :

$$l_{\text{talus}} = h \sqrt{1 + m^2}$$

Les résultats des calculs son résumé dans le tableau suivant :

Tableau IV-15 Sections et volume d'engrochement.

		L(m)	l(m)	n	D <sub>50</sub> (m)	ta (m)	A (m <sup>2</sup> )	V (m <sup>3</sup> )
Oued Alyem	<b>Fond</b>	1116	13	1	1	1	14508	14508
	<b>Talus droite</b>	1116	4.24	1	1	1	4731.84	4731.84
	<b>Talus gauche</b>	1116	4.24	1	1	1	4731.84	4731.84
							<b>Volume global (m<sup>3</sup>)</b>	<b>23971.68</b>

- Calcul des sections du géotextile de :

Tableau IV-16 sections du géotextile

		A (m <sup>2</sup> )	A total (m <sup>2</sup> )
Oued Alyem	<b>Fond</b>	14508	23971.68
	<b>Talus droite</b>	4731.84	
	<b>Talus gauche</b>	4731.84	

- Les sections en travers :

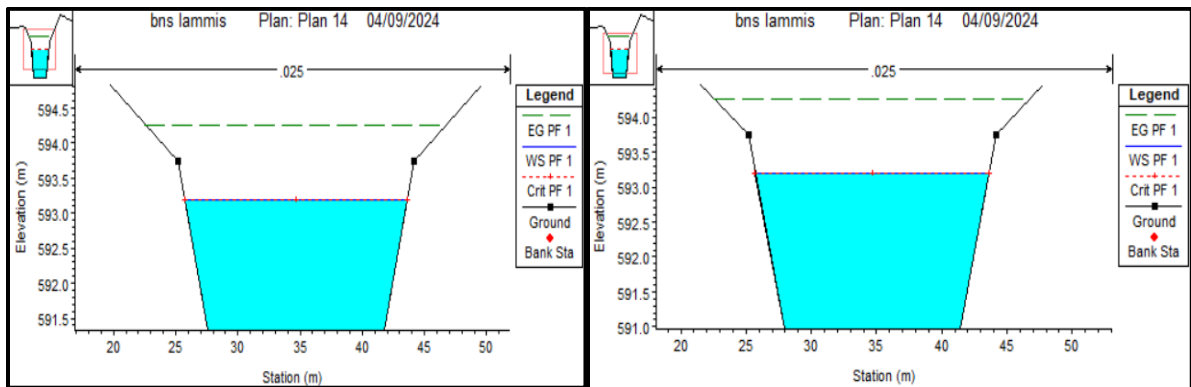


Figure IV-41 section en travers 300 et 1000

- **Estimation du coût de la variante :**

Présenté dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV-17 Devis de l'oued Alyem V3

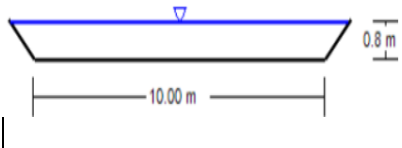
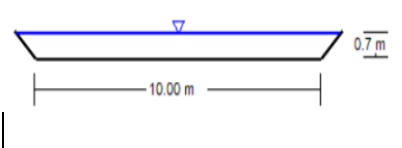
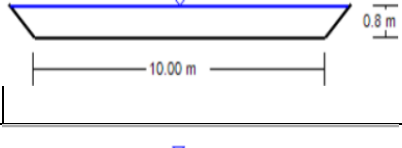
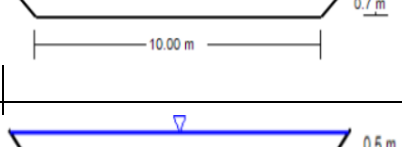
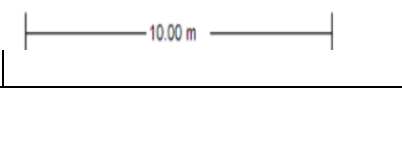
N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Prix total
<b>A</b>	<b>TERRASSEMENTS</b>				
A1	Déblais	m <sup>3</sup>	17852.32	250	4463080
A2	Remblais	m <sup>3</sup>	1268.35	130	164885.5
	<b>SOUS TOTAL A</b>				4627965.5
<b>B</b>	<b>ENROCHEMENT</b>		23971.68	5000	119858400.00
<b>C</b>	<b>Géotextile</b>	m <sup>3</sup>	23971.68	2500	59929200.00
<b>TOTAL HORS TAXES</b>					<b>184 415 565.5</b>
<b>T.V.A. 19%</b>					<b>35 038 957.45</b>
<b>TOTAL TTC DA</b>					<b>219 454 522.9</b>

#### IV.8.3.1 Oued Aouaoudja

Pour la dernière variante, l'aménagement de l'Oued Aouaoudja se fait par un canal trapézoïdal en enrochement avec un fuit de talus  $m=01$  et une largeur à la base de 10 m. Les calculs réalisés à l'aide du logiciel FlowMaster donnent les résultats présentés ci-dessous :



Tableau IV-18 Paramètres d'écoulement de l'oued Aouaoudja V3

Oued	Tr	Section	Longueur (m)	Pente	Largeur du fon b (m)	Hauteur du canal h (m)	Section mouillée (m <sup>2</sup> )	La vitesse (m/s)	N de Froude Fr	Résultat du F.M
Aouaoudja	1	800-1050	297.10	0.028	10	0.8	8.9	3.22	1.17	
	2	350-800	459.64	0.019 1	10	0.7	7.2	3.95	1.58	
	3	250-350	117.57	0.038 2	10	0.8	5.8	4.93	2.17	
	4	100-250	141.16	0.021 9	10	0.7	7	4.04	1.65	
	5	50-100	48.95	0.042 6	10	0.5	5.6	5.09	2.27	

- **Calcul du volume et des sections d'encrochement :**

Le calcul du volume et des sections d'encrochement est une étape cruciale dans la conception des canaux en encrochement.

Les résultats des calculs son résumé dans le tableau suivant :

Tableau IV-19 Sections et volume d'encrochement.

		L(m)	l(m)	n	D50 (m)	td (m)	A (m <sup>2</sup> )	V (m <sup>3</sup> )
Oued Alyem	<b>Fond</b>	1065	10	1	1	1	10650	10650
	<b>Talus droite</b>	1065	2.82	1	1	1	3003.3	3003.3
	<b>Talus gauche</b>	1065	2.82	1	1	1	3003.3	3003.3
							<b>Volume global (m<sup>3</sup>)</b>	<b>16656.6</b>

- **Calcul des sections du géotextile de :**

Tableau IV-20 sections du géotextile

		A (m <sup>2</sup> )	A total (m <sup>2</sup> )
Oued Alyem	<b>Fond</b>	10650	<b>16656.6</b>
	<b>Talus droite</b>	3003.3	
	<b>Talus gauche</b>	3003.3	

- **Les sections en travers :**

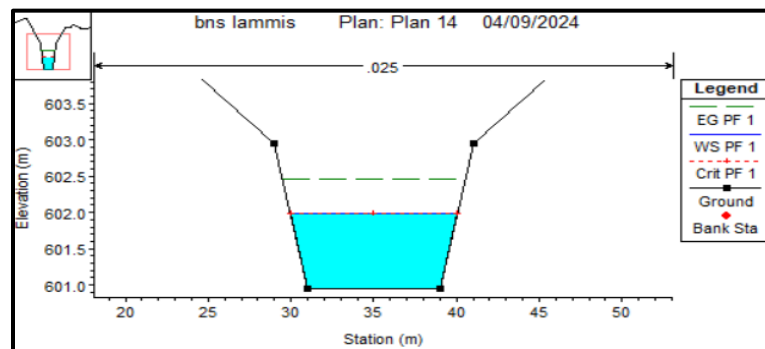


Figure IV-42 section en travers 700

- Estimation du coût de la variante :

Tableau IV-21 Devis de l'oued Aouaoudja V3

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Prix total
<b>A</b>	<b>TERRASSEMENTS</b>				
A1	Déblais	m3	12883.1	250	3220775.00
A2	Remblais	m <sup>3</sup>	1098.31	130	142780.3
	<b>SOUS TOTAL A</b>				3363555.3
<b>B</b>	<b>ENROCHEMENT</b>		16656.6	5000	83 283 000.00
<b>C</b>	<b>Géotextile</b>	m <sup>3</sup>	16656.6	2500	41641500.00
<b>TOTAL HORS TAXES</b>					<b>138 288 055.3</b>
<b>T.V.A. 19%</b>					<b>26274730.51</b>
<b>TOTAL TTC DA</b>					<b>164 562 785.8</b>

#### IV.8.4 COMPARAISON DES COUTS

Le facteur déterminant dans le choix de la protection est le facteur coût. Les calculs hydrauliques établis sur la base des éléments hydrologiques et d'un levé topographique ont fourni les données nécessaires au calcul de génie civil et du coût de la protection. La solution la plus avantageuse sera choisie à partir de la détermination du coût de différentes protections possibles. Il est sûr que dans certain nombre de cas, pour les aspects esthétiques ou autres (des raisons de place ou d'exécution...), on sera conduit à imposer un type de protection. Pour cela, nous allons procéder à la comparaison des variantes 1, 2 et 3.

Les coûts des variantes sont présentés dans le tableaux suivant :

Tableau IV-22 Récapitulation des couts

DESIGNATION DE LA VARIANTE	COUTS DA
<b>Variante 1- CANAL TRAPEZOIDAL EN BETON ARME</b>	
Oued Alyem	231 811 728.9
Oued Aouaoudja	139594458.4
<b>TOTAL VARIANTE 1</b>	<b>371 406 187.3</b>
<b>Variante 2- CANAL RECTANGULAIRE EN BETON ARME</b>	
Oued Alyem	209 316 665.3
Oued Aouaoudja	110 881 015.6
<b>TOTAL VARIANTE 2</b>	<b>320 197 680.9</b>
<b>Variante 3-CANAL TRAPEZOIDAL EN ENROCHEMENT</b>	
Oued Alyem	219 454 522.9
Oued Aouaoudja	164 562 785.8
<b>TOTAL VARIANTE 3</b>	<b>384 017 308.7</b>

## IV.9 Conclusion

Dans le cadre de notre étude sur la gestion et la canalisation de l'oued dans une zone urbaine, trois variantes d'aménagement ont été proposées, chacune présentant des caractéristiques distinctes, des avantages et des inconvénients.

- **Variante 1 : Canal trapézoïdal en béton armé**

Avec un coût de réalisation de 371 406 187.3 DA, cette variante se distingue par sa robustesse et sa durabilité. L'utilisation de béton armé est particulièrement adaptée aux environnements urbains, où les exigences en matière de résistance à l'érosion et de gestion des écoulements sont cruciales. Bien que son coût soit plus élevé que celui de la variante 2, il reste compétitif par rapport à la variante 3, tout en offrant des performances techniques supérieures.

- **Variante 2 : Canal rectangulaire en béton armé**

Cette variante, avec un coût de 320 197 680.9 DA, est la solution la moins coûteuse parmi les trois. Bien qu'elle présente des avantages en termes de coût, elle peut avoir des limitations en matière d'adaptabilité aux variations de débit et de protection contre l'érosion. Ce type de canal est plus approprié pour des zones où les contraintes techniques sont moins sévères, mais il peut ne pas répondre aux exigences d'une zone urbaine dense.

- **Variante 3 : Canal trapézoïdal en enrochement**

Bien que cette variante soit la plus onéreuse, avec un coût de 384 017 308.7 DA, elle offre une excellente résistance à l'érosion et une flexibilité dans des environnements complexes. Cependant, le coût élevé de cette solution ne justifie pas son adoption dans un contexte urbain où des alternatives plus économiques, comme le béton armé, peuvent offrir des performances similaires.

- **Choix final**

Après comparaison des trois variantes, la variante 1, consistant en un canal trapézoïdal en béton armé, est retenue comme étant la solution la plus appropriée. Bien qu'elle ne soit pas la moins coûteuse, son rapport qualité-prix et ses avantages techniques en font le choix idéal pour assurer la durabilité et la sécurité dans cette zone urbaine.

**Chapitre V :**  
**Étude détaillée de la variante**  
**choisie.**

## V Étude détaillée de la variante choisie

### V.1 Introduction :

Après une analyse comparative des trois variantes proposées pour protéger la ville de Beni-Slimane des inondations, la **variante 1** (canal trapézoïdal en béton armé) a été sélectionnée pour les oueds Alyem et Aouaoudja. Ce choix repose sur des critères d'efficacité hydraulique, de durabilité structurelle et de viabilité économique à long terme. Ce chapitre présente les détails techniques pour chaque oued, les résultats des simulations avec les logiciels Hec Ras et Flow Master.

### V.2 Détails de la variante adoptée :

#### V.2.1 Dimensions du Canal Trapézoïdal en Béton Armé pour Chaque Oued

- **Oued Alyem :**

Le canal trapézoïdal en béton armé pour l'oued Alyem est conçu pour couvrir un linéaire de 1116 mètres, réparti en quatre tronçons avec les dimensions suivantes :

Largeur à la base (b) : 13 m

Largeur au sommet (B) : 14.2 m

Hauteur (h) : 3 m

fuit de talus  $m=0.2$

Pentes par tronçon :

- Tronçon 1 : 0,0073 m/m (220,52 m)
- Tronçon 2 : 0,006 m/m (678,69 m)
- Tronçon 3 : 0,0163 m/m (77,42 m)
- Tronçon 4 : 0,01 m/m (140,61 m)

- **Oued Aouaoudja :**

Pour l'oued Aouaoudja, le canal a un linéaire de 1065 mètres, divisé en cinq tronçons avec les dimensions suivantes :

Largeur à la base (b) : 10 m

Largeur au sommet (B) : 10.8 m

Hauteur (h) : 2 m

Fruit de talus  $m=0.2$

Pentes par tronçon :

- Tronçon 1 : 0,028 m/m (297,10 m)
- Tronçon 2 : 0,0191 m/m (459,64 m)
- Tronçon 3 : 0,0382 m/m (117,57 m)
- Tronçon 4 : 0,0219 m/m (141,16 m)
- Tronçon 5 : 0,0426 m/m (48,95 m)

- **Point de confluence :**

Pour la partie aval du point de confluence avec oued Alyem on a projeté un canal Trapézoïdal en béton armé qui permet l'évacuation des débits des deux bassins versant en amont et continue en aval vers le centre-ville de Beni Slimane.

À partir du logiciel Flow Master, on a obtenu des résultats significatifs concernant la conception d'un canal trapézoïdal Voici les dimensions calculer :

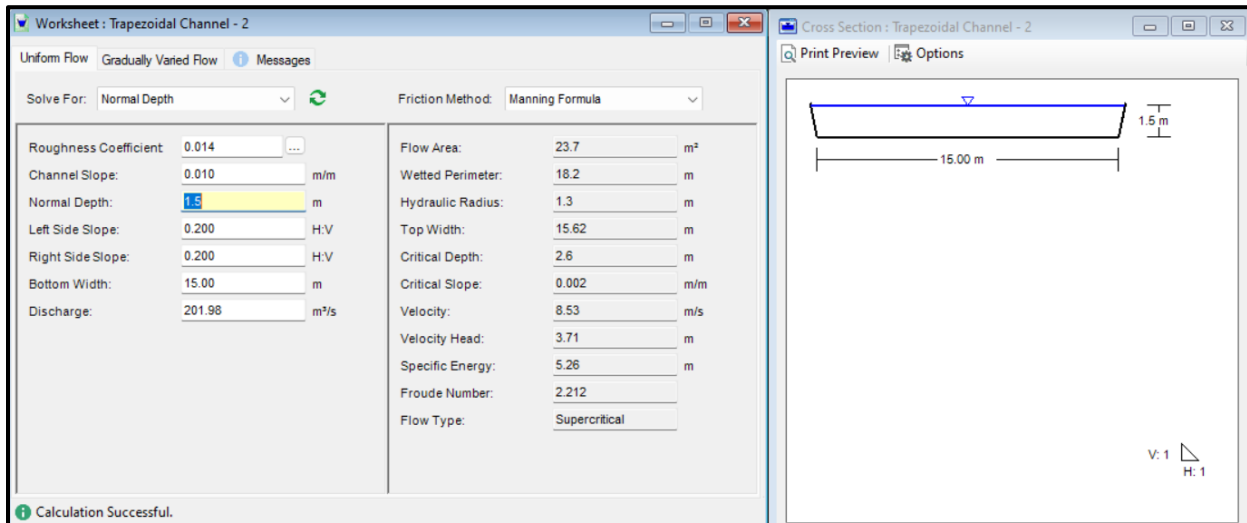


Figure V-1 Résultat de Flow Master



Largeur à la base (b) : 15 m

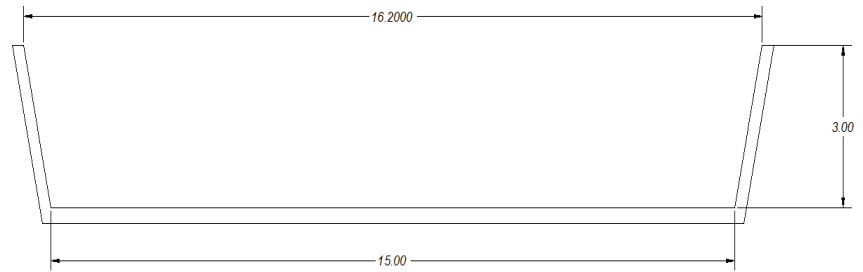
Largeur au sommet (B) : 16.2 m

Hauteur (h) : 2 m

Fruit de talus : m=0.2

Pentes:0.01%

Débit : 201.98 (m<sup>3</sup>/s)



Le calcul a été réalisé sur un tronçon de 50 mètres linéaires situé en aval du point de confluence des deux oueds, et ce, dans le but de procéder à une vérification. Cependant, il convient de préciser que notre étude se limite uniquement au point de confluence.

### V.2.2 Débits Centennaux

- **Oued Alyem :**

Le débit centennal pour l'oued Alyem est estimé à **173,36 m<sup>3</sup>/s** sur une longueur de 1137,85 mètres avec une pente moyenne de 0,00748 m/m.

- **Oued Aouaoudja :**

Le débit centennal pour l'oued Aouaoudja est estimé à **28,62 m<sup>3</sup>/s** sur une longueur de 1064,36 mètres avec une pente moyenne de 0,02566 m/m.

### V.2.3 Résultats de l'Étude Hydraulique

- **Oued Alyem :**

Le canal trapézoïdal en béton armé prévu pour l'oued Alyem est conçu pour gérer les crues centennales en offrant une grande stabilité hydraulique. L'étude hydraulique a été réalisée sur quatre tronçons principaux, et les résultats montrent une excellente capacité d'évacuation.

Tableau V-1 l'Étude Hydraulique de oued Alyem

Tronçon	Longueur (m)	Pente (m/m)	Largeur de la base (m)	Hauteur (m)	Vitesse (m/s)	Nombre de Froude
1	220,52	0,007	13	1,7	7,48	1,83
2	678,69	0,006	13	1,8	7,11	1,7
3	77,42	0,016	13	1,5	8,4	2,18
4	140,61	0,01	13	1,6	8,12	2,07

Ces vitesses d'écoulement et les nombres de Froude indiquent un **régime d'écoulement supercritique**, assurant une évacuation rapide des eaux de crue et réduisant les risques de débordement

- **Oued Aouaoudja :**

Pour l'oued Aouaoudja, la variante 1 prévoit également un canal trapézoïdal en béton armé, avec des caractéristiques spécifiques pour gérer les crues sur cinq tronçons.

Tableau V-2 l'Étude Hydraulique de oued Aouaoudja

Tronçon	Longueur (m)	Pente (m/m)	Largeur de la base (m)	Hauteur (m)	Vitesse (m/s)	Nombre de Froude
1	297,1	0,028	10	0,5	5,91	2,19
2	459,64	0,0191	10	0,6	5,79	1,9
3	117,57	0,0382	10	0,5	6,3	2,31
4	141,16	0,0219	10	0,6	5,88	2,1
5	48,95	0,0426	10	0,5	7,09	2,49

Les résultats montrent un **régime d'écoulement supercritique**, avec un nombre de Froude supérieur à 1 sur tous les tronçons.

#### V.2.4 Devis Estimatif pour la Variante

- **Oued Alyem :**

Le devis pour la réalisation du canal trapézoïdal en béton armé pour l'oued Alyem est estimé à :

- Terrassement : 1 524 582.2 DZD
- Béton armé (radier et propreté) : 193 275 190.00 DZD

Donc le Coût total pour l'oued Alyem : 231 811 728.9 DZD

- **Oued Aouaoudja :**

Le devis pour l'aménagement du canal de l'oued Aouaoudja est estimé à :

- Terrassement : 312 787.6 DZD
- Béton armé (radier et propreté) : 116 993 480.00 DZD

Donc le Coût total pour l'oued Aouaoudja : 139 594 458.4 DZD

## V.2.5 Modélisation hydraulique et simulation

La modélisation des écoulements dans les oueds Alyem et Aouaoudja a été réalisée à l'aide du logiciel HEC-RAS. L'objectif de cette simulation est d'analyser les comportements hydrauliques des deux oueds en situation de crue centennale, notamment en ce qui concerne les débits d'écoulement. Les résultats incluent également des vues 3D, des profils en long et des coupes transversales.

### V.2.5.1 Résultats de la simulation

- **Oued Alyem :**

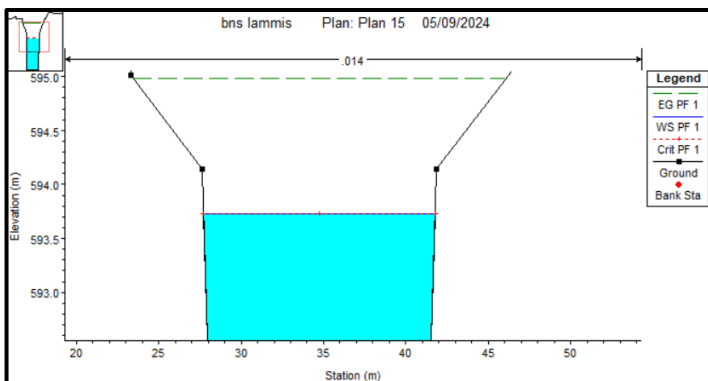


Figure V-3 Résultats de la simulation pour la station 800

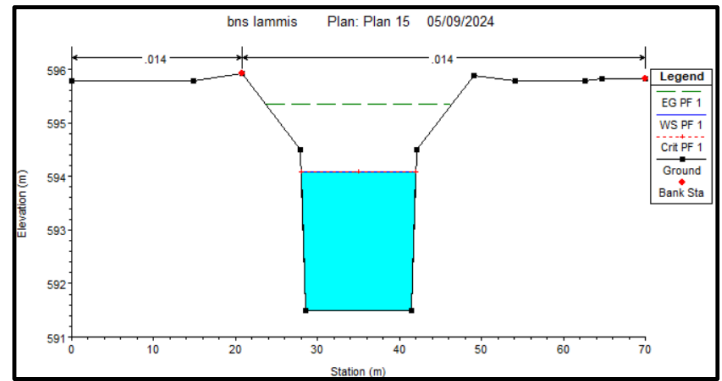


Figure V-2 Résultats de la simulation pour la station 1050

• Point de confluence

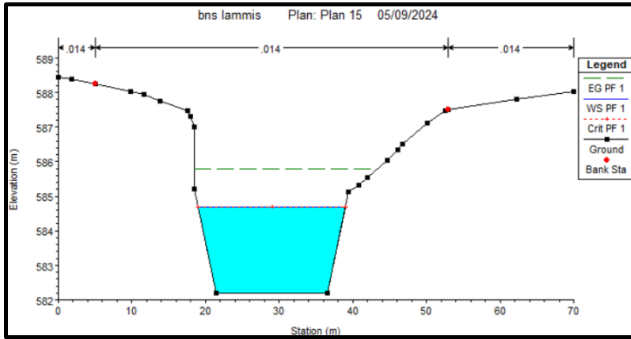


Figure V-5 Résultats de la simulation pour la station 40

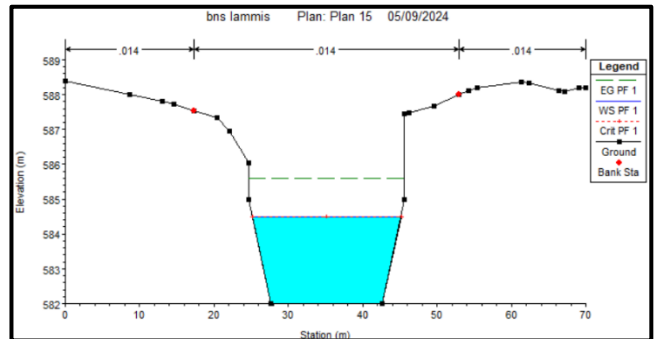


Figure V-4 Résultats de la simulation pour la station 20

• Oued Aououdja

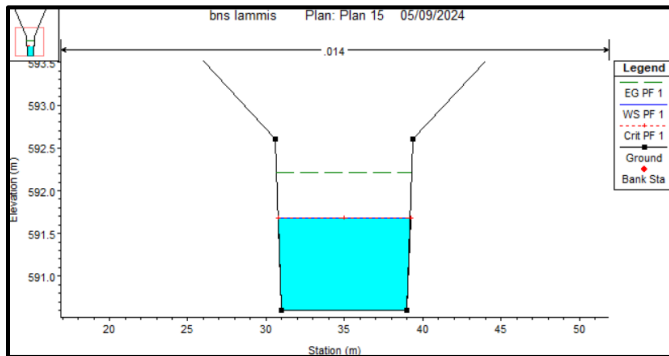


Figure V-7 Résultats de la simulation pour la station 200

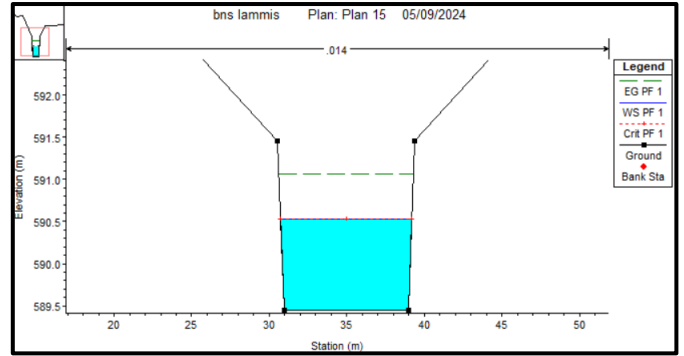


Figure V-6 Résultats de la simulation pour la station 650

V.2.5.2 Vues 3D des écoulements dans HEC-RAS

- Oued Alyem :

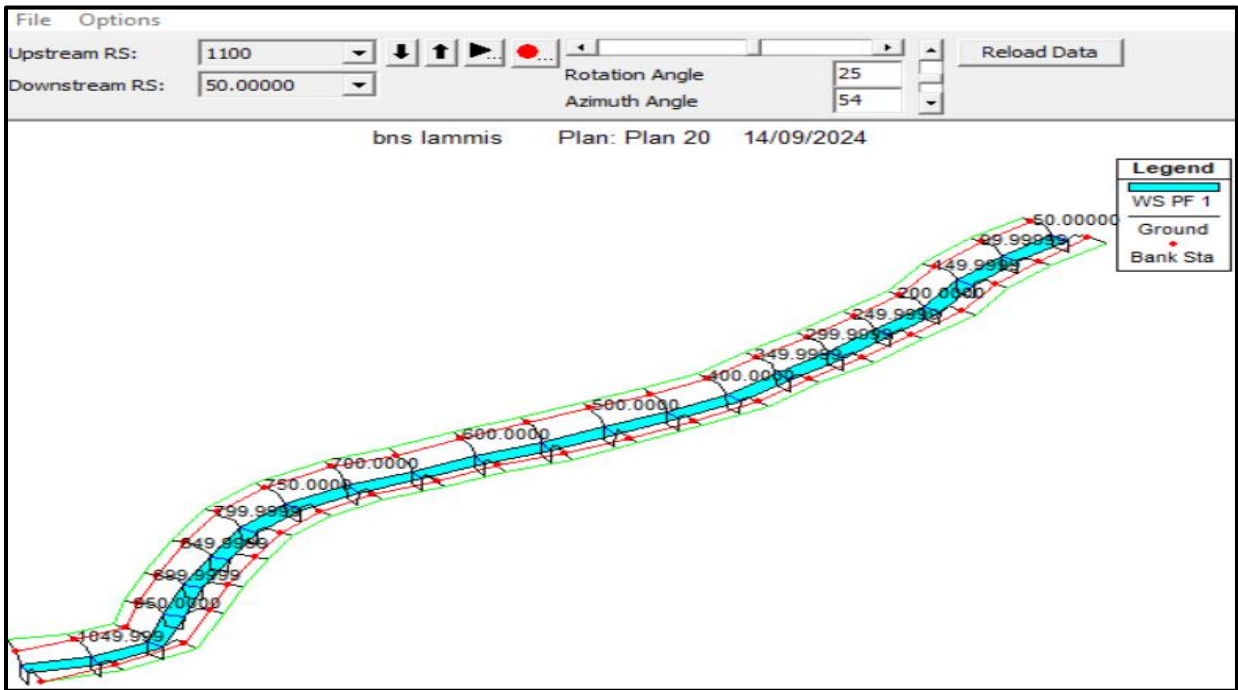


Figure V-8 Vue en 3D d'Oued Alyem V1.

- Point de confluence

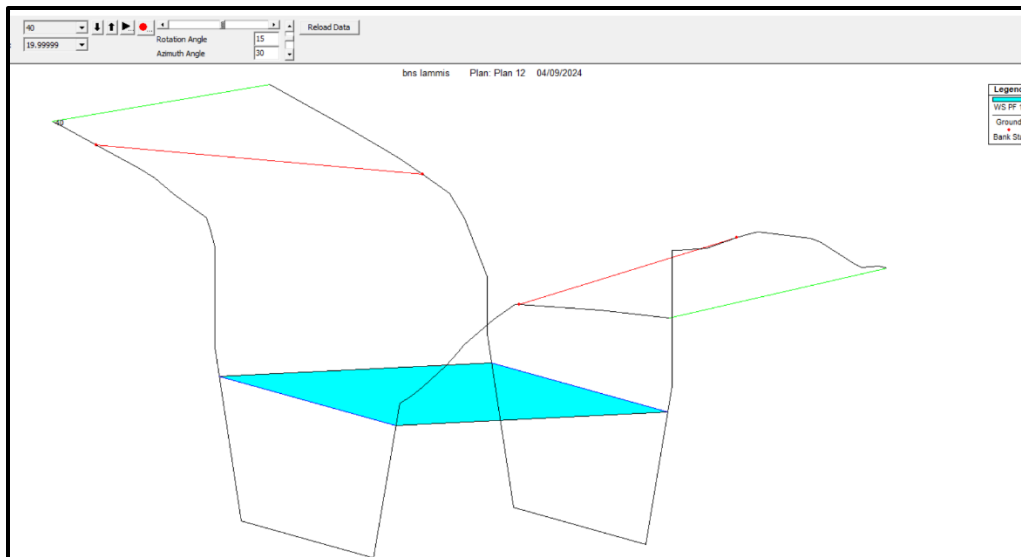


Figure V-9 Vue en 3D pt de confluence

- Oued Aouaoudja

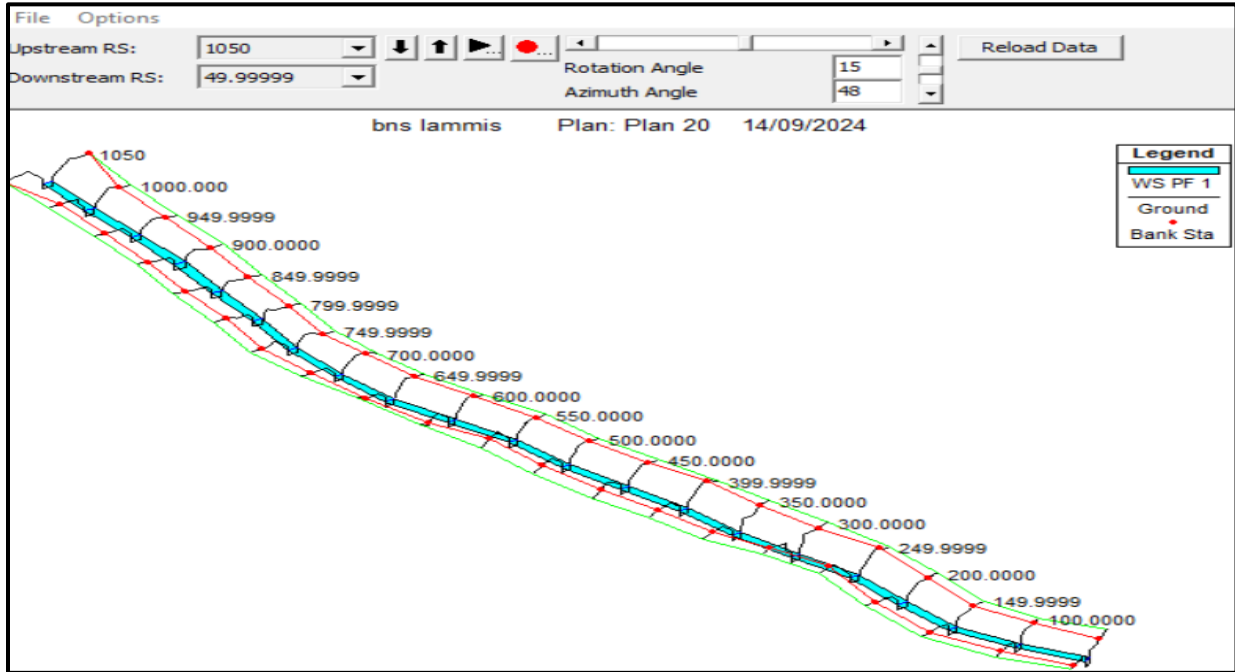


Figure V-10 Vue en 3D d'Oued Aouaoudja

- Les deux oueds

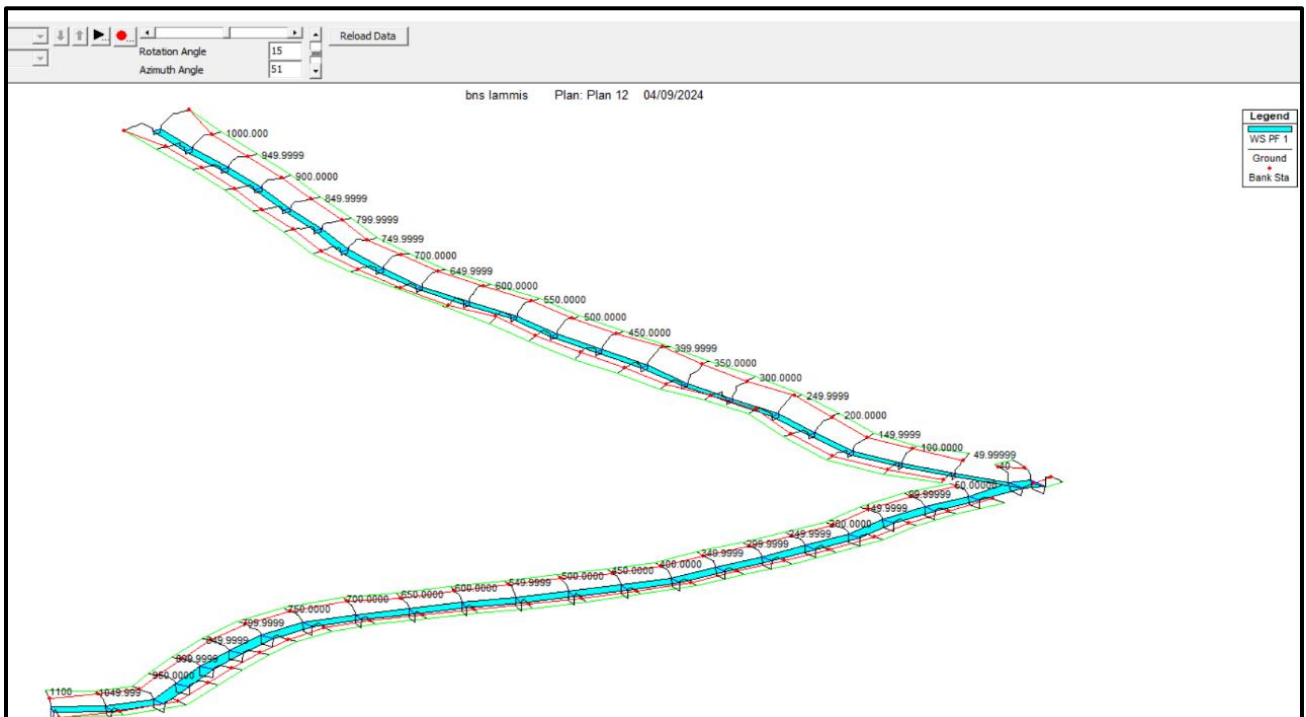


Figure V-11 Vue en 3D deux oueds

### V.3 Les ouvrages de traversée

#### V.3.1 Définition des ouvrages de traversée

Les ouvrages de traversée, notamment les dalots, jouent un rôle essentiel dans la gestion des eaux de ruissellement, en particulier lors des crues. Ils permettent d'assurer un passage fluide des cours d'eau sous les infrastructures routières tout en évitant les risques d'inondation. Le dimensionnement correct de ces ouvrages est primordial pour garantir une sécurité hydraulique optimale dans les zones à risque, en tenant compte des débits de crue, des pentes des lits des rivières, ainsi que des conditions hydrauliques locales.

Dans le cadre de cette étude, deux ponts ont été prévus pour assurer la traversée des oueds Alyem et Aouaoudja. Ces deux ponts nécessitent la mise en place de dalots pour garantir la continuité des écoulements naturels tout en minimisant les impacts sur les infrastructures routières. Le dimensionnement de ces ouvrages a été effectué en fonction des débits centennaux spécifiques à chaque oued.

Le **Pont N°1** sur l'Oued Alyem, et le **Pont N°2** sur l'Oued Aouaoudja, ont fait l'objet d'une étude précise pour déterminer les dimensions optimales des dalots en termes de largeur, hauteur et section d'écoulement. Cette étude s'appuie sur des calculs hydrauliques rigoureux, notamment avec l'utilisation des logiciels de modélisation, afin d'assurer que les infrastructures résistent aux crues centennales et ne causent aucun débordement ni dommage aux zones environnantes.



Figure V-12 –situation des Ponts d’art O. Alyem et O.Aouaoudja.

### V.3.2 Types de dalots

Il existe plusieurs types de dalots utilisés en fonction des conditions hydrauliques, du terrain et des contraintes de construction. Les types les plus courants incluent :

- **Dalots rectangulaires :**

Ces dalots ont une section rectangulaire et sont particulièrement adaptés aux endroits où l'espace est limité. Ils offrent une grande capacité de débit et sont souvent fabriqués en béton armé, garantissant leur durabilité.

- **Dalots circulaires :**

Utilisés principalement dans des zones où l'encombrement est moindre et pour des débits d'eau modérés, les dalots circulaires sont efficaces pour canaliser des flux continus.



- **Dalots voûtés :**

Ces ouvrages présentent une forme semi-circulaire et sont utilisés dans des situations où une résistance supplémentaire est nécessaire face aux pressions hydrauliques.

- **Dalots en plusieurs cellules :**

Ils se composent de plusieurs sections, généralement rectangulaires, permettant de répartir l'écoulement sur plusieurs passages, réduisant ainsi les risques d'engorgement et augmentant la capacité totale d'évacuation de l'eau.

Dans cette étude, les **dalots rectangulaires** ont été choisis pour leur capacité à gérer des débits importants et leur facilité de mise en œuvre dans les oueds Alyem et Aouaoudja.

### **V.3.3 Dimensionnement des Dalots**

Le dimensionnement des dalots pour les ouvrages de traversée a été effectué en tenant compte des spécificités hydrauliques de chaque oued et des débits associés. Ce processus est crucial pour garantir l'efficacité des infrastructures lors des crues.

#### **V.3.3.1 Dimensionnement du Dalot pour le Pont N°1 sur l'Oued Alyem**

Pour le Pont N°1, traversant l'Oued Alyem, j'ai dimensionné deux ouvertures afin de faire face à un débit centennal de 173,36 m<sup>3</sup>/s. Chaque ouverture a les dimensions suivantes :

- La pente du projet : 0.007.
- La profondeur normale : 3 m.
- Nombre de dalots : 2 ouvertures (7 m x 3 m).
- Débit véhiculé : 86,68 m<sup>3</sup>/s.
- Section par dalot : 21 m<sup>2</sup>.
- Coefficient de rugosité (Manning) : 0,014.
- Matériau : Béton armé renforcé pour éviter l'érosion.

Tableau V-3 Résultats du calcul du nombre des dalots nécessaires oued Alyem

Nombre de dalots	Section (m <sup>2</sup> )	Débit (m <sup>3</sup> /s)
1	21	86,68
2	42	173,36

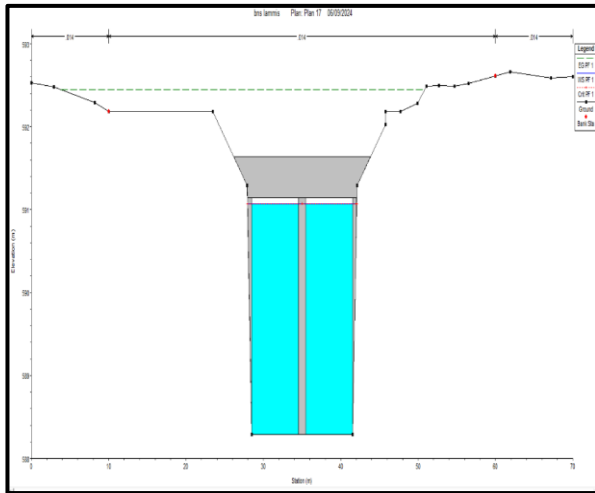


Figure V-14 Section transversale des dalots au Pont N°1 (Oued Alyem)

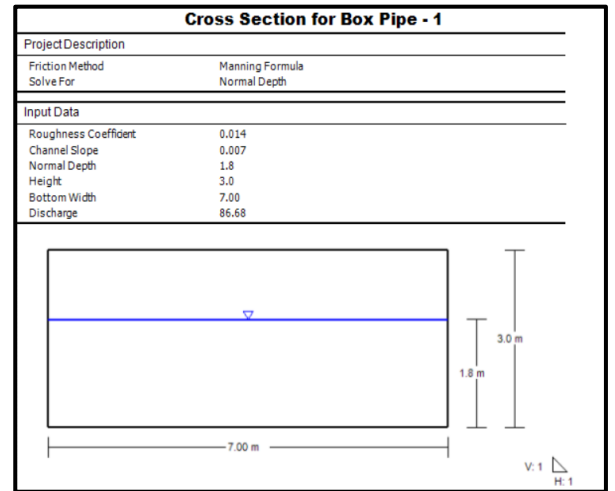


Figure V-13 : Débit véhiculé par un seul dalot (obtenue par Flow Master)

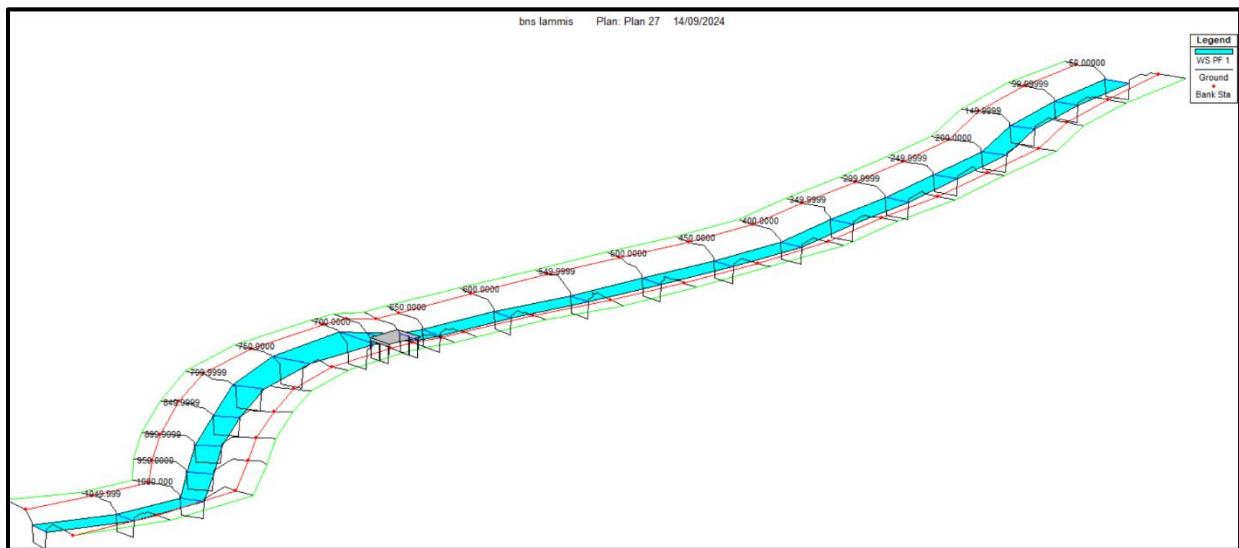


Figure V-15 Vu 3D de l'oued avec le pont

**V.3.3.2 Dimensionnement du Dalot pour le Pont N°2 sur l'Oued Aouaoudja**

Le Pont N°2 traverse l'Oued Aouaoudja, où le débit à gérer est plus modeste, soit 28,62 m³/s. J'ai opté pour quatre dalots, chacun ayant les dimensions suivantes :

- La pente du projet : 0.01
- Nombre de dalots : 4 ouvertures (2 m x 3 m)
- Débit véhiculé : 7,16 m³/s
- Section par dalot : 6 m²
- Coefficient de rugosité (Manning) : 0,014
- Matériau : Béton armé renforcé pour éviter l'érosion.

Tableau V-4 Résultats du calcul du nombre des dalots nécessaires oued Alyem

Nombre de dalots	Section (m²)	Débit (m³/s)
1	6	7.16
2	12	14.32
3	18	21.48
4	24	28.62

Résultats de dimensionnement des dalots

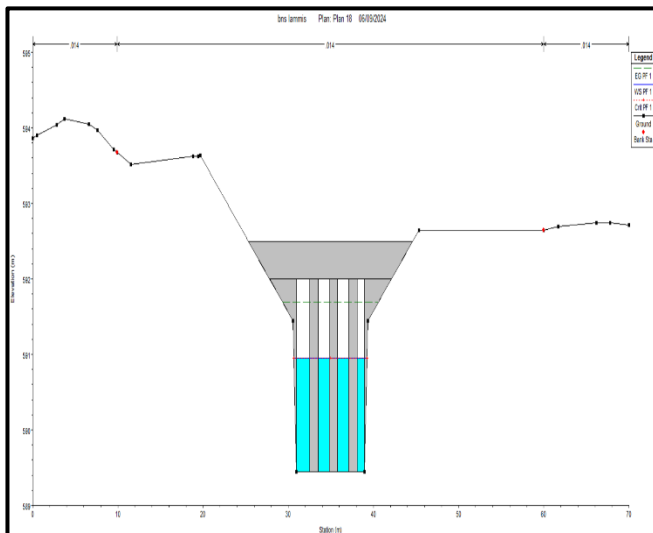


Figure V-16 Section transversale des dalots au Pont N°1 (O Aouaoudja)

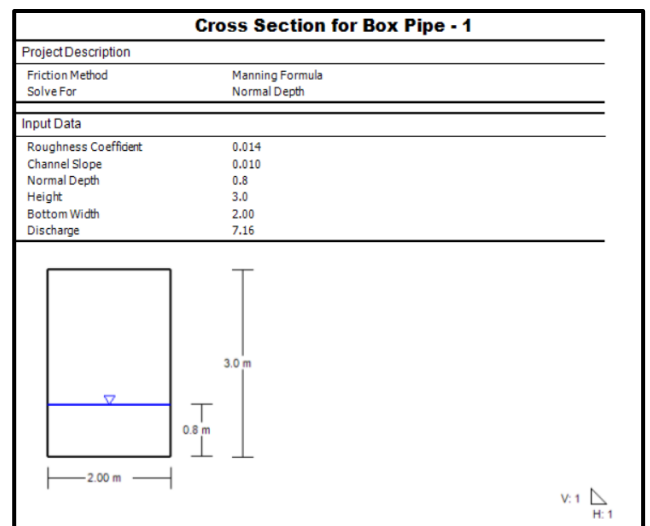


Figure V-17 Débit véhiculé par un seul dalot (obtenue par Flow Master)

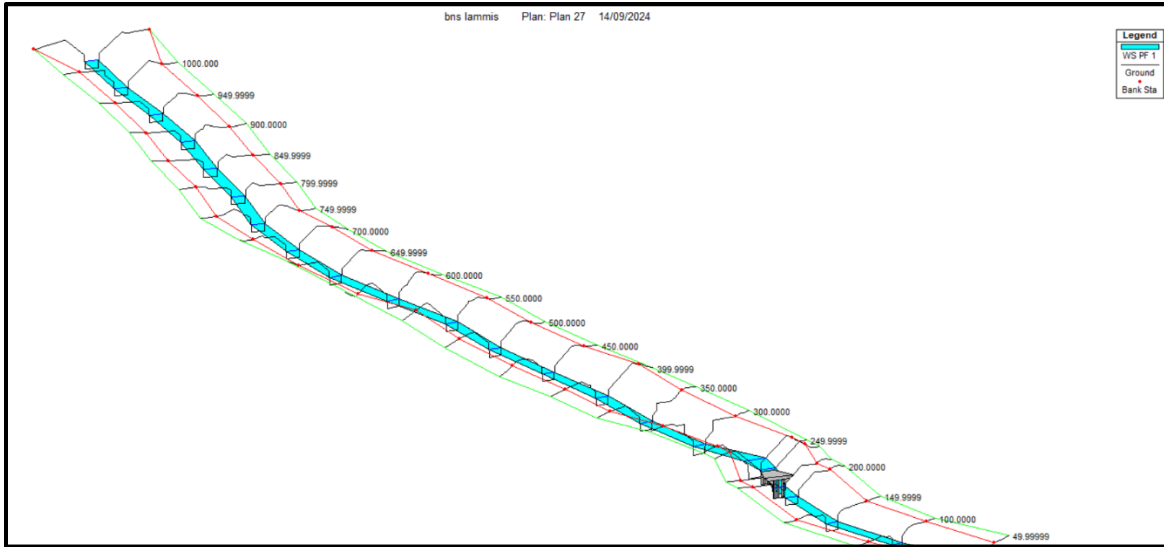


Figure V-18 Vu 3D de l'oued avec le pont

Ces résultats me permettent de confirmer que le dimensionnement des dalots est adéquat et qu'il assurera une évacuation efficace des débits projetés pour chaque pont. Le choix des dimensions et du nombre de dalots a été guidé par les débits centennaux attendus, garantissant ainsi la sécurité hydraulique de l'infrastructure.

- **Résultats de simulation sur HECRAS pour les deux oueds :**

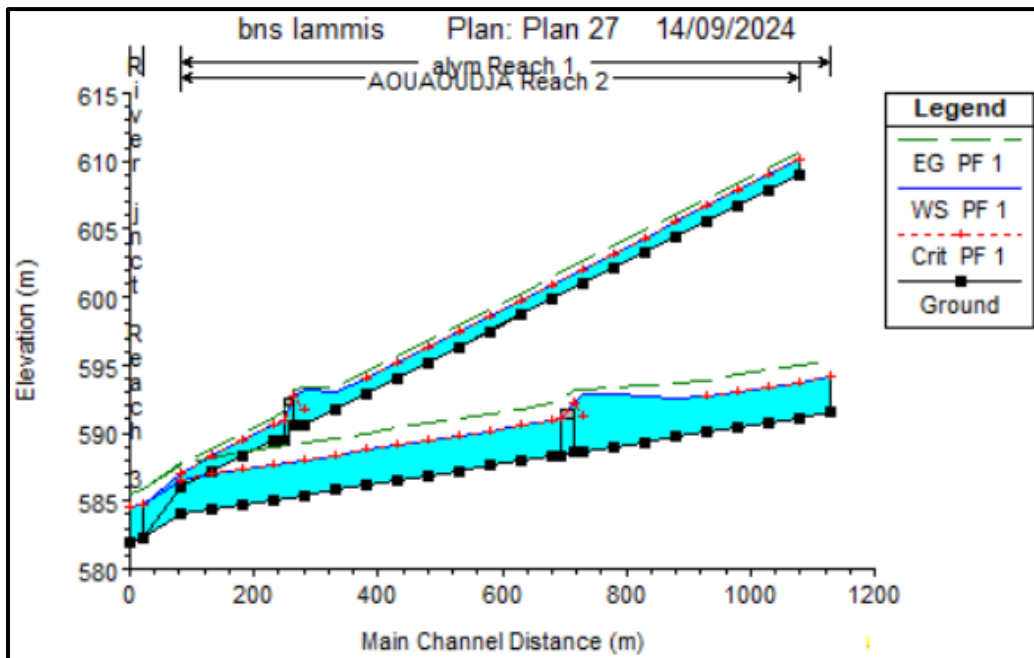


Figure V-19 Profil en long de l'oued Aouaoudja et Oued Alem avec les ponts

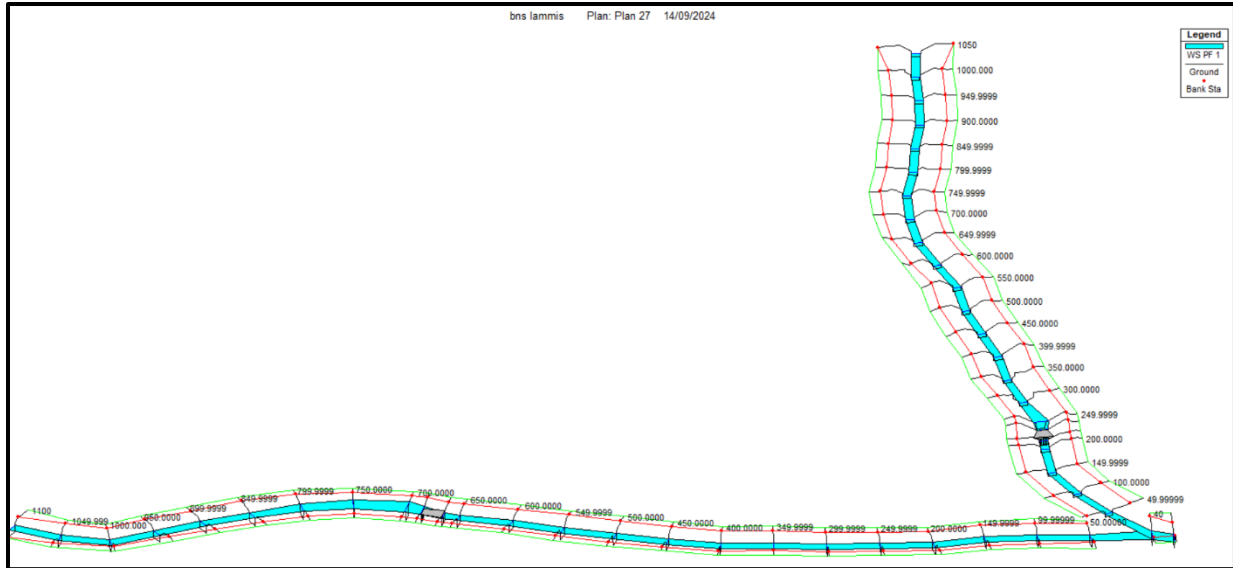


Figure V-20 Vue 3D avec les ponts de l'oued Aouaoudja et Oued Alem – Simulation HEC-RAS

Tableau V-5 Principaux paramètres hydraulique des oueds Alyem et Aouaoudja après l'aménagement V1.

River	Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
River jnct	Reach 3	40	PF 1	201,98	582,2	584,69	584,69	585,79	0,001691	4,63	43,63	19,99	1
River jnct	Reach 3	19,99999	PF 1	201,98	582	584,49	584,49	585,59	0,00169	4,63	43,64	19,99	1
AOUAOUDDJA	Reach 2	1050	PF 1	28,62	609	610,08	610,08	610,61	0,002463	3,23	8,86	8,43	1,01
AOUAOUDDJA	Reach 2	1000	PF 1	28,62	607,85	608,93	608,93	609,46	0,002461	3,23	8,87	8,43	1,01
AOUAOUDDJA	Reach 2	949,9999	PF 1	28,62	606,7	607,78	607,78	608,31	0,002463	3,23	8,87	8,43	1,01
AOUAOUDDJA	Reach 2	900	PF 1	28,62	605,55	606,63	606,63	607,16	0,002463	3,23	8,86	8,43	1,01
AOUAOUDDJA	Reach 2	849,9999	PF 1	28,62	604,4	605,48	605,48	606,01	0,002461	3,23	8,87	8,43	1,01
AOUAOUDDJA	Reach 2	799,9999	PF 1	28,62	603,25	604,33	604,33	604,86	0,002463	3,23	8,87	8,43	1,01
AOUAOUDDJA	Reach 2	749,9999	PF 1	28,62	602,1	603,18	603,18	603,71	0,002463	3,23	8,86	8,43	1,01
AOUAOUDDJA	Reach 2	700	PF 1	28,62	600,95	602,03	602,03	602,56	0,002461	3,23	8,87	8,43	1,01
AOUAOUDDJA	Reach 2	649,9999	PF 1	28,62	599,8	600,88	600,88	601,41	0,002463	3,23	8,87	8,43	1,01
AOUAOUDDJA	Reach 2	600	PF 1	28,62	598,65	599,73	599,73	600,26	0,002463	3,23	8,86	8,43	1,01
AOUAOUDDJA	Reach 2	550	PF 1	28,62	597,5	598,58	598,58	599,11	0,002461	3,23	8,87	8,43	1,01
AOUAOUDDJA	Reach 2	500	PF 1	28,62	596,35	597,43	597,43	597,96	0,002463	3,23	8,87	8,43	1,01
AOUAOUDDJA	Reach 2	450	PF 1	28,62	595,2	596,28	596,28	596,81	0,002463	3,23	8,86	8,43	1,01
AOUAOUDDJA	Reach 2	399,9999	PF 1	28,62	594,05	595,13	595,13	595,66	0,002461	3,23	8,87	8,43	1,01
AOUAOUDDJA	Reach 2	350	PF 1	28,62	592,9	593,98	593,98	594,51	0,002461	3,23	8,87	8,43	1
AOUAOUDDJA	Reach 2	300	PF 1	28,62	591,75	593,01	592,87	593,4	0,001521	2,89	10,39	8,5	0,9
AOUAOUDDJA	Reach 2	249,9999	PF 1	28,62	590,6	593,21	591,68	593,28	0,000194	2,76	23,99	14,87	0,89
AOUAOUDDJA	Reach 2	220		Bridge									
AOUAOUDDJA	Reach 2	200	PF 1	28,62	589,45	590,53	590,53	591,06	0,002463	3,23	8,86	8,43	1,01
AOUAOUDDJA	Reach 2	149,9999	PF 1	28,62	588,3	589,38	589,38	589,91	0,002464	3,23	8,86	8,43	1,01
AOUAOUDDJA	Reach 2	100	PF 1	28,62	587,15	588,23	588,23	588,76	0,002464	3,23	8,86	8,43	1,01
AOUAOUDDJA	Reach 2	49,99999	PF 1	28,62	586	587,08	587,08	587,61	0,002462	3,23	8,87	8,43	1,01
alyem	Reach 1	1100	PF 1	173,36	591,5	594,09	594,09	595,34	0,00202	4,95	35,01	14,04	1.1
alyem	Reach 1	1049,999	PF 1	173,36	591,14	593,73	593,73	594,98	0,00202	4,95	35,01	14,04	1.1
alyem	Reach 1	1000	PF 1	173,36	590,79	593,38	593,38	594,63	0,00202	4,95	35,01	14,04	1.1
alyem	Reach 1	950	PF 1	173,36	590,43	593,02	593,02	594,27	0,00202	4,95	35,01	14,04	1.1

alym	Reach 1	899,9999	PF 1	173,36	590,07	592,66	592,66	593,91	0,00202	4,95	35,02	14,04	1.1
alym	Reach 1	849,9999	PF 1	173,36	589,71	592,6	592,21	593,59	0,001445	4,82	39,23	14,16	0,95
alym	Reach 1	799,9999	PF 1	173,36	589,36	592,75	591,86	593,44	0,001025	4,61	47,14	18,13	0,94
alym	Reach 1	750	PF 1	173,36	589	592,86	591,54	593,34	0,000712	4.32	56,68	22,79	0,91
alym	Reach 1	700	PF 1	173,36	588,64	592,93	591,23	593,26	0,000486	4.19	67,36	27,07	0,89
alym	Reach 1	680		Bridge									
alym	Reach 1	650	PF 1	173,36	588,29	590,88	590,88	592,13	0,002021	4,95	35,01	14,04	1.1
alym	Reach 1	600	PF 1	173,36	587,93	590,52	590,52	591,77	0,002021	4,95	35,01	14,04	1.1
alym	Reach 1	549,9999	PF 1	173,36	587,57	590,16	590,16	591,41	0,002021	4,95	35,01	14,04	1.1
alym	Reach 1	500	PF 1	173,36	587,21	589,8	589,8	591,05	0,002021	4,95	35,01	14,04	1.1
alym	Reach 1	450	PF 1	173,36	586,86	589,45	589,45	590,7	0,002021	4,95	35,01	14,04	1.1
alym	Reach 1	400	PF 1	173,36	586,5	589,09	589,09	590,34	0,002021	4,95	35,01	14,04	1.1
alym	Reach 1	349,9999	PF 1	173,36	586,14	588,73	588,73	589,98	0,002021	4,95	35,01	14,04	1.1
alym	Reach 1	299,9999	PF 1	173,36	585,79	588,38	588,38	589,63	0,002021	4,95	35,01	14,04	1.1
alym	Reach 1	249,9999	PF 1	173,36	585,43	588,02	588,02	589,27	0,002021	4,95	35,01	14,04	1.1
alym	Reach 1	200	PF 1	173,36	585,07	587,66	587,66	588,91	0,002022	4,95	35,01	14,04	1.1
alym	Reach 1	149,9999	PF 1	173,36	584,71	587,3	587,3	588,55	0,002022	4,95	35,01	14,04	1.1
alym	Reach 1	99,99999	PF 1	173,36	584,36	586,95	586,95	588,2	0,002022	4,95	35	14,04	1.1
alym	Reach 1	50	PF 1	173,36	584	586,59	586,59	587,84	0,002023	4,95	35	14,04	1.1

#### **V.4 Conclusion**

Ce chapitre a approfondi l'étude détaillée de la variante d'aménagement choisie pour le projet de protection contre les inondations des oueds Alyem et Aouaoudja. À l'issue d'une évaluation comparative des différentes alternatives, la variante du canal trapézoïdal en béton armé a été retenue, en raison de son efficacité hydraulique, de sa robustesse structurelle et de sa viabilité économique sur le long terme.

Nous avons fourni des détails sur les dimensions exactes des canaux, ainsi que sur les résultats des simulations réalisées à l'aide des logiciels HEC-RAS et Flow Master, en plus du dimensionnement des ouvrages de traversée. Les résultats obtenus démontrent que cette variante est en mesure de gérer les crues centennales des deux oueds, garantissant ainsi la sécurité des habitants de Beni-Slimane.



# **Chapitre VI : Organisation de chantier**

## **VI Organisation de chantier**

### **VI.1 Introduction**

Organiser un chantier englobe toutes les actions entreprises pour effectuer un travail dans les meilleures conditions, dans le but de diminuer les dépenses de production et d'accroître la productivité. Une meilleure compréhension du terrain de chantier permet d'améliorer considérablement la planification technologique des engins et leur utilisation rationnelle dans les diverses opérations, afin de répondre aux contraintes d'espace et de temps demandées par le marché. De cette manière, une organisation efficace du chantier aide grandement à diminuer le coût de l'ouvrage afin de le rendre moins coûteux.

La réalisation de ces constructions est très complexe, mais pour les accomplir, et quels que soient les obstacles rencontrés, il est nécessaire d'avoir une connaissance approfondie de l'organisation du chantier.

Afin d'atteindre ces objectifs, il est essentiel de :

- Déterminer avec précision les techniques d'exécution et les méthodes opératoires pour intégrer des méthodes de construction modernes et à haut rendement, en tenant compte des dernières innovations technologiques et des meilleures pratiques du secteur.
- Planifier et structurer les tâches en constituant une équipe spécialisée, en s'assurant que chaque membre possède les compétences requises pour optimiser l'efficacité des opérations et atteindre les objectifs du projet.
- Mettre en place une organisation adaptée des postes de travail, en favorisant une mécanisation avancée et en assurant la coordination fluide des différentes phases de construction pour maximiser la productivité et réduire les temps d'arrêt.
- Optimiser l'embauche du personnel en veillant à ce que le nombre et la qualité des travailleurs soient ajustés en fonction des besoins spécifiques du projet, afin de contrôler les coûts de main-d'œuvre tout en maintenant des standards élevés de qualité et de sécurité.

### **VI.2 Rôles et responsabilités des intervenants sur chantier**

Avant d'entrer dans le détail du sujet, il est important de rappeler les différents acteurs impliqués dans l'acte de construction.

### **VI.2.1 Le maître de l'ouvrage**

C'est une personne ou une entité pour laquelle les travaux sont effectués. Il est chargé de fixer l'objectif (programme), de fournir un financement, de passer et de payer les marchés de travaux. Après leur réception, il en est le propriétaire et parfois le responsable.

### **VI.2.2 Le maître d'œuvre**

Le maître de l'ouvrage désigne un individu ou une entreprise pour recevoir l'ouvrage, dresser le dossier de consultation des entreprises, assister le maître d'ouvrage dans le dépouillement des offres, vérifier l'exécution des travaux et proposer leur réception et leur règlement, après avoir effectué le décompte. Pour notre cas, le maître d'œuvre est souvent également chargé de l'interprétation de son osculation jusqu'à la fin de la phase de mise en eau et de régler le rapport de la première mise en eau.

### **VI.2.3 L'entrepreneur**

Personnalité morale ou physique qui a conclu un contrat de construction avec le maître d'ouvrage et qui a pour mission de réaliser les travaux et, parfois, de concevoir avec précision les ouvrages. L'entrepreneur est responsable du chantier et de l'ouvrage en cours de construction jusqu'à sa réception. Le lien contractuel entre les acteurs traditionnels d'un chantier est résumé dans la figure (VII.1).

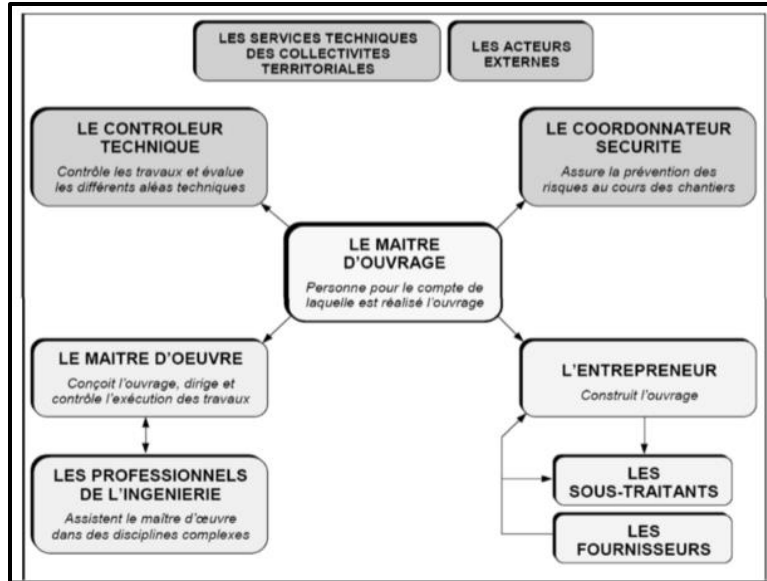


Figure VI-1 Relation entre les personnes du chantier.

## VI.3 Installations du chantier

### VI.3.1 Installations destinées au personnel

En général, on utilise des dortoirs, des vestiaires, des réfectoires, des installations sanitaires et des bureaux de chantier.

### VI.3.2 Installations destinées au stockage des matériaux

#### 1. Stockage du Béton :

- **Bennes à Béton** : Des bennes spécialisées sont utilisées pour conserver le béton prêt à l'emploi avant son application. Elles sont placées près des zones de coulage afin de réduire les délais de transport et éviter le durcissement prématuré du béton.
- **Centrale à Béton Mobile** : Une centrale à béton mobile peut être installée sur le chantier pour produire le béton en continu, évitant ainsi les problèmes de transport et garantissant une qualité uniforme du matériau.
- **Aire de Stockage pour le Béton de Propreté** : Le béton de propreté, utilisé pour préparer les surfaces avant le coulage des fondations, est stocké dans des zones protégées proches des zones d'application.

## 2. Stockage de l'Eau :

- **Cuves de Stockage** : Des cuves sont installées pour stocker l'eau nécessaire à la préparation du béton et à l'entretien des équipements. Elles doivent être situées près des zones de production et des aires de lavage.

## 3. Énergie Électrique :

- **Générateur Électrogène** : Un groupe électrogène fournit l'électricité nécessaire au chantier, ce qui rend inutile l'installation d'un réseau de moyenne tension.

## 4. Alimentation en Carburant :

- **Camions-Citernes** : Les camions-citernes assurent l'approvisionnement en carburant, stocké dans des réservoirs enterrés équipés de dispositifs de pompage.

## 5. Nettoyage et Entretien des Équipements :

- **Aires de Nettoyage** : Des aires dédiées au nettoyage des bétonnières et bennes à béton sont mises en place pour garantir un entretien régulier, évitant ainsi la contamination et le durcissement du béton sur les équipements.

### VI.3.3 Installations pour la Préfabrication

Les installations de préfabrication comprennent des hangars équipés pour fabriquer les éléments nécessaires à la construction, tels que poutres, dalles, conduites et murettes.

### VI.3.4 Moyens de Chantier

#### 1. Moyens Humains :

- La présence de personnel qualifié est essentielle pour les études préalables et la construction. Les titres et compétences des membres de l'équipe doivent être clairement définis.

## 2. Moyens Matériels :

- **Matériel de Terrassement :**

- **Bulldozer :** Engin lourd équipé de lames à l'avant, utilisé pour le nivellement et le déblaiement des sols. Il est idéal pour les tâches de terrassement et de remblayage.
- **Pelle Mécanique :** Engin avec un bras articulé et un godet, utilisé pour excaver, creuser, et déplacer les matériaux de terrassement.
- **Chargeur :** Équipé d'un godet à l'avant, il est utilisé pour le chargement des matériaux en vrac tels que la terre ou le gravier. Il peut être à pneus ou à chenilles.
- **Décapeuse :** Engin conçu pour enlever les couches superficielles de sol, généralement utilisé pour les couches de sol non compactées.
- **Camions :** Utilisés pour le transport des matériaux excavés ou des matériaux de construction sur le chantier.
- **Niveleuse :** Engin équipé de lames horizontales pour niveler et lisser les surfaces de sol. Elle est utilisée pour créer une surface uniforme avant d'autres opérations.

- **Matériel Lié au Type de Barrage :**

- **Matériel de Compactage :**

- **Compacteurs à Pneus :** Équipés de pneus pleins ou gonflés, ces engins sont utilisés pour compacter les sols et les remblais en exerçant une pression uniforme.
- **Compacteurs Vibrants à Rouleaux :** Utilisent des rouleaux vibrants pour compacter les matériaux tels que les enrochements et les sables. Ils sont particulièrement efficaces pour les matériaux à granulométrie serrée.
- **Compacteurs à Pied Dameur :** Équipés de plaques vibrantes, ces compacteurs sont adaptés pour les sols souples et les remblais peu profonds.

- **Matériel de Bétonnage :**

- **Bétonnières :** Machines utilisées pour mélanger le ciment, le sable, le gravier et l'eau afin de produire du béton. Elles peuvent être montées sur des camions (bétonnières-toupies) ou fixes sur le chantier.

### 3. Installations pour les Engins :

- **Stationnement et Protection :** Les engins doivent être stationnés sur un terrain stable et nivelé. Ils doivent être protégés des intempéries avec des abris ou des bâches appropriées. Un entretien régulier, comprenant des vérifications des niveaux d'huile, de carburant, et des conditions mécaniques, est crucial. Un nettoyage fréquent des machines est également nécessaire pour prévenir les pannes et assurer la sécurité des opérateurs.

### VI.4 Devis quantitatif et estimatif du projet

Les coûts estimés des travaux et des aménagements comprennent :

Prix unitaire des travaux de terrassement.

Prix unitaire de la fourniture et de la pose de (gabionnage, tout bien venant).

Les sommes nécessaires pour réaliser la variante sélectionnée sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau VI-1 Le devis des différents travaux de l'aménagement des oueds de la zone d'étude

<b>Oued Alyem</b>				
<b>travaux</b>	<b>unité</b>	<b>quantité</b>	<b>Prix unitaire (DA)</b>	<b>Montant (DA)</b>
Déblais	m <sup>3</sup>	5 561.72	250	1 390 430.00
remblais	m <sup>3</sup>	1 031.94	130	134 152.2
Béton de propreté	m <sup>3</sup>	1 452.70	6 500	9 442 550.00
Béton armé	m <sup>3</sup>	5744.77	32 000	183 832 640.00
<b>Oued Aouaoudja</b>				
Déblais	m <sup>3</sup>	728.8	250	182 200.00
remblais	m <sup>3</sup>	1004.52	130	130 5887.6
Béton de propreté	m <sup>3</sup>	869.84	6 500	5 653 960.00
Béton armé	m <sup>3</sup>	3479.36	32 000	111 339 520.00
<b>Les ouvrages de traversés</b>				
Dalots	/	58	20000	1 160 000.00
Bétonnage des talus	m <sup>3</sup>	98	28000	2 744 000.00
<b>Montant total</b>				<b>317 185 339,80</b>
<b>Montant total en TVA</b>				<b>377 450 554,36</b>

Le projet a un coût estimé de : **377 450 554,36 DZA**

#### **VI.4.1 Définition de la Planification**

La planification d'un projet est une étape cruciale qui consiste à organiser les activités et les ressources nécessaires pour atteindre les objectifs du projet de manière efficace. Cette phase inclut la définition des tâches, l'allocation des ressources, et l'élaboration de calendriers pour optimiser le déroulement du projet tout en respectant les contraintes de temps, de coût et de qualité.



## Activités de Planification

### 1. Organisation des Postes de Travail

- Disposer les postes de travail de façon stratégique pour maximiser leur efficacité. Cela comprend l'établissement de zones de stockage et d'outillage, ainsi que la mise en place de systèmes de circulation adaptés pour éviter les conventionnements et améliorer la productivité.

### 2. Observations et Ajustements

- Réaliser des observations continues sur le terrain pour identifier les goulets d'étranglement et les possibilités d'amélioration. Les ajustements doivent être effectués rapidement pour maintenir la fluidité des opérations.

### 3. Analyse des Tâches

- Examiner les tâches nécessaires, les diviser en sous-tâches, et définir les méthodes les plus appropriées pour leur réalisation. Cette analyse permet de structurer le travail de manière à optimiser les processus.

### 4. Chronométrage

- Estimer le temps requis pour chaque tâche afin de repérer les potentielles sources de retard et d'optimiser les procédures pour respecter les délais du projet.

### 5. Définition des Objectifs et des Responsabilités

- Établir des objectifs clairs pour le projet et définir les responsabilités de chaque membre de l'équipe. Cette étape assure une coordination efficace et un suivi rigoureux de la progression des tâches.

### 6. Révision et Simplification des Méthodes de Travail

- Revoir et simplifier les méthodes de travail pour éliminer les étapes inutiles et réduire les temps d'attente. La simplification contribue à une meilleure gestion du temps et à une augmentation de l'efficacité.

### 7. Maintien de la Stabilité des Postes de Travail

- Assurer des conditions de travail constantes et minimiser les interruptions pour garantir une performance stable et élevée tout au long du projet.

## Étapes de Planification

### 1. Collecte des Informations

- **Identification des Exigences** : Recueillir les besoins des parties prenantes et les spécifications du projet.
- **Études Préliminaires** : Réaliser des analyses et des études (comme des études de faisabilité et des analyses de risques) pour obtenir des données pertinentes.
- **Synthèse des Informations** : Analyser les données recueillies pour dégager les éléments essentiels nécessaires à la planification.

### 2. Décomposition du Projet

- **Décomposition en Tâches** : Diviser le projet en tâches spécifiques et en activités pour une gestion plus précise.
- **Attribution des Responsabilités** : Assigner des tâches spécifiques à des responsables ou équipes désignées.
- **Évaluation des Ressources** : Déterminer les besoins en matériel, en main-d'œuvre et en temps pour chaque tâche.

### 3. Relations entre les Tâches

- **Enchaînement Logique** : Certaines tâches doivent être réalisées avant que d'autres puissent commencer, comme la finition des fondations avant l'érection des murs.
- **Enchaînement Préférentiel** : Certaines tâches peuvent se dérouler simultanément ou dans un ordre flexible, comme les finitions internes pendant l'installation des systèmes électriques.

## Planning des Travaux

### 1. Plan du Travail au Plus Tôt

- Débuter toutes les opérations dès que possible. Ce plan est adapté lorsqu'il y a une abondance de ressources et plusieurs projets en parallèle, optimisant ainsi l'utilisation des ressources et évitant les interruptions.

## 2. Plan du Travail au Plus Tard

- Commencer les tâches à leur date limite, sans dépasser les délais. Ce plan est approprié lorsqu'il y a des ressources limitées, permettant ainsi une gestion plus économique des ressources.

## 3. Plan du Travail Intermédiaire

- Démarrer les opérations à une date intermédiaire, entre les dates les plus tôt et les plus tard. Ce plan est utilisé lorsque les ressources sont adéquates et que le projet est la priorité, offrant une flexibilité accrue.

## Méthodes de Planification

### 1. Méthode Basée sur le Réseau

- **Réseau à Nœuds** : Représente les activités du projet avec des nœuds pour marquer leur début et fin, illustrant les relations entre les activités.
- **Réseau à Flèches** : Utilise des flèches pour indiquer l'ordre des tâches, souvent utilisé pour déterminer le chemin critique.

### 2. Méthode de Calcul CPM (Critical Path Method)

- **Paramètres** :
  - 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.
  - TR : Temps de réalisation.

- MT : Marge totale.
- **Chemin Critique** : Identifie les tâches avec une marge totale nulle, déterminant le temps total du projet. Il permet d'optimiser les délais et les ressources en mettant en évidence les tâches essentielles.

#### VI.4.2 Définition des Opérations et Durées pour les Oued

Pour le projet impliquant deux oueds (un de 1116 m et un de 1065 m), rejoignant sur une longueur de 50 m avec une variante en béton trapézoïdal, voici un exemple de tableau de planification :

Opération	Durée (jours)
A - Préparation du site	45
B - Excavation et terrassement (2 oueds)	120
C - Mise en place des coffrages et ferrailage	100
D - Coulage du béton trapézoïdal (2 oueds)	160
E - Installation des drains et protection	80
F - Travaux de finition et stabilisation	60

- **Définir les Relations de Précédence** Les relations entre les tâches sont essentielles pour déterminer l'enchaînement. Voici un exemple de relations :
  - A doit être terminé avant de commencer B.
  - B doit être terminé avant de commencer C.
  - C doit être terminé avant de commencer D.
  - D doit être terminé avant de commencer E.
  - E doit être terminé avant de commencer F.
- **Calculer les Dates au Plus Tôt (DPT) et au Plus Tard (DPTL)**

#### Dates au Plus Tôt (DPT) :

- A : DPT = 0 jours
- B : DPT = DPT(A) + Durée(A) = 0 + 45 = 45 jours

- **C** :  $DPT = DPT(B) + \text{Durée}(B) = 45 + 120 = 165$  jours
- **D** :  $DPT = DPT(C) + \text{Durée}(C) = 165 + 100 = 265$  jours
- **E** :  $DPT = DPT(D) + \text{Durée}(D) = 265 + 160 = 425$  jours
- **F** :  $DPT = DPT(E) + \text{Durée}(E) = 425 + 80 = 505$  jours

**Dates au Plus Tard (DPTL) :**

- **F** :  $DPTL = 505$  jours (date de fin du projet)
  - **E** :  $DPTL = DPTL(F) - \text{Durée}(E) = 505 - 80 = 425$  jours
  - **D** :  $DPTL = DPTL(E) - \text{Durée}(D) = 425 - 160 = 265$  jours
  - **C** :  $DPTL = DPTL(D) - \text{Durée}(C) = 265 - 100 = 165$  jours
  - **B** :  $DPTL = DPTL(C) - \text{Durée}(B) = 165 - 120 = 45$  jours
  - **A** :  $DPTL = DPTL(B) - \text{Durée}(A) = 45 - 45 = 0$  jours
- **Calculer la Marge Totale** La marge totale (MT) est la différence entre les dates au plus tard (DPTL) et au plus tôt (DPT) :

Opération	Marge Totale (MT)
<b>A</b>	$DPTL(A) - DPT(A) = 0 - 0 = 0$ jours
<b>B</b>	$DPTL(B) - DPT(B) = 45 - 45 = 0$ jours
<b>C</b>	$DPTL(C) - DPT(C) = 165 - 165 = 0$ jours
<b>D</b>	$DPTL(D) - DPT(D) = 265 - 265 = 0$ jours
<b>E</b>	$DPTL(E) - DPT(E) = 425 - 425 = 0$ jours
<b>F</b>	$DPTL(F) - DPT(F) = 505 - 505 = 0$ jours

- **Déterminer le Chemin Critique**

Le chemin critique pour le projet impliquant les deux oueds avec une variante en béton trapézoïdal est constitué de toutes les tâches listées. La durée totale du projet est de **505 jours**, soit environ **1 an et 5 mois**.

### **VI.5 Conclusion**

La réalisation d'un projet nécessite une gestion rigoureuse du temps et une mobilisation efficiente des ressources humaines, techniques et matérielles, afin d'atteindre l'objectif principal : livrer le projet dans les délais prévus tout en respectant les coûts d'investissement établis. À l'issue de cette analyse, le coût global estimé pour l'aménagement des oueds dans la zone d'étude s'élève à 377 450 554,36 DA, avec un délai d'exécution de 505 jours. Cela met en évidence l'importance d'une planification méticuleuse et d'une coordination optimale des ressources pour assurer le succès du projet.

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

Notre étude porte sur l'un des principaux risques qui menace la ville de Beni Slimane : les crues et les inondations, issues de plusieurs facteurs topographiques, géologiques, hydrologiques et météorologiques. La gestion des inondations est devenue un enjeu primordial, en particulier face aux impacts croissants des changements climatiques au cours des dernières décennies. Elle repose sur un ensemble de mesures et de stratégies visant à atténuer les risques d'inondation et à limiter leurs conséquences néfastes sur les populations, les infrastructures et l'environnement. Le travail que nous avons réalisé s'articule autour de plusieurs étapes essentielles. Tout d'abord, une étude de reconnaissance du site et de la zone d'étude a été menée, permettant d'acquérir une compréhension approfondie des caractéristiques du terrain. Ensuite, une étude hydrologique a mis en lumière la nature hydromorphologique du bassin versant, qui présente une forme allongée et un temps de concentration relativement court, augmentant ainsi le risque de crues rapides et soudaines.

Pour évaluer les débits de crue, nous avons utilisé les données hydrométriques de la station de Beni Slimane, que nous avons ajustées à une loi statistique afin de déterminer le débit associé à une période de retour de 100 ans. Il en ressort que le débit centennal est de 173,36 m<sup>3</sup>/s pour Oued Alyem et de 28,62 m<sup>3</sup>/s pour Oued Aouaoudja.

Une analyse hydraulique approfondie a également été effectuée pour étudier les écoulements des deux oueds, en s'appuyant sur les principes de l'hydraulique fluviale. À cette fin, nous avons utilisé le logiciel HEC-RAS, un outil de référence pour la modélisation des écoulements dans les cours d'eau et pour l'évaluation des risques d'inondation. Les simulations ont révélé que le débit centennal entraînerait des débordements le long des oueds, rendant nécessaire un aménagement adapté.

Trois variantes d'aménagement ont été proposées et étudiées sous un angle technico-économique:

1. Un canal rectangulaire en béton armé.
2. Un canal trapézoïdal en béton armé.
3. Un canal trapézoïdal en enrochement.

Après une analyse approfondie, la variante du canal trapézoïdal en béton armé s'est avérée être la plus adaptée et la plus économique pour protéger la ville de Beni Slimane. Cette solution inclut également le dimensionnement des dalots pour réguler l'écoulement des crues.



Une étude détaillée de la variante retenue a été réalisée, et le canal trapézoïdal en béton armé a été conçu pour résister aux débits de crue tout en assurant une évacuation efficace des eaux, sans risque de débordement, garantissant ainsi la protection des infrastructures environnantes.

La simulation hydraulique finale a confirmé l'absence de débordements tout au long des deux oueds, prouvant ainsi la robustesse et l'efficacité de cette solution pour la gestion des crues et la protection de la ville de Beni Slimane et de ses infrastructures.

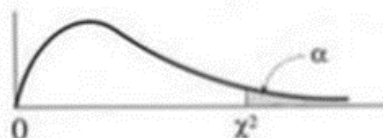
# **References Bibliographies**

- U.S. Army Corps of Engineers (2010a). HEC-RAS River Analysis System Hydraulicreference manual, Hydrologic Engineering Center, CPD-69, Version 4.1.
- TOUAIBIA, B. (2004). Manuel pratique d'hydrologie. École Nationale Supérieure d'Hydraulique (ENSH), Blida.
- Idrici, A. (2017). Modélisation et simulation numérique d'écoulement d'eau à surface libre avec HEC-ras cas d'oued de Saida.
- Toumi, A. (2016). Hydraulique à surface libre (cours & exercices). 197.
- LAHLAH Salah, 2004. Les inondations en Algérie, Des journées techniques : Risques naturels : Inondation, Prévision, Protection, 15/16/décembre 2004. CRESTRA.
- U.S. Army Corps of Engineers, 2018. HEC-RAS River Analysis System Supplemental to HEC-RAS Version 5.0 User's Manual, Hydrologic Engineering Center, CPD 68d, Version 5.0.4. 74p. Avril 2016. [Consulté le 15 juin 2020].
- Analyse hydrologique de quelques bassins versants du nord algérien : eaux superficielles, crues et aménagements (Thèse de doctorat, A. Hebal, 2013).
- IKHLEF Roumaïssa (2023). Étude de protection contre les inondations par Modélisation des affluents Cas : du centre de Bordj Mira (W.Béjaïa).
- KADI Karim (2023). Protection des communes de Bordj El Kiffan et Bordj El Bahri contre les risques des inondations de l'oued El Hamiz (W.Alger).
- Smith, K., & Petley, D. N. (2009). Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster.
- Benkaci, N., & Cherif, A. (2019). Inondations en Algérie: Causes et Mesures de Prévention.
- UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction). (2015).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2014).
- UNISDR (2015). Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction.

# Annexes

**Annexe 01:** Série des pluies journalières maximale (1965-2022) -DRE-

<b>Années</b>	<b>1965</b>	<b>1966</b>	<b>1967</b>	<b>1968</b>	<b>1969</b>	<b>1970</b>	<b>1971</b>	<b>1972</b>	<b>1973</b>	<b>1974</b>
Pjmax	28.0	45.0	32.4	48.4	33.0	41.5	24.5	50.1	22.8	59.0
<b>Années</b>	<b>1975</b>	<b>1976</b>	<b>1977</b>	<b>1978</b>	<b>1979</b>	<b>1980</b>	<b>1981</b>	<b>1982</b>	<b>1983</b>	<b>1984</b>
Pjmax	23.3	21.7	39.7	19.0	34.3	38.0	26.5	51.5	49.1	49.5
<b>Années</b>	<b>1985</b>	<b>1986</b>	<b>1987</b>	<b>1988</b>	<b>1989</b>	<b>1990</b>	<b>1991</b>	<b>1994</b>	<b>1995</b>	<b>1997</b>
Pjmax	30.2	34.0	39.0	17.9	37.3	33.1	56.9	18.7	77.4	27.5
<b>Années</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
Pjmax	42.0	19.3	42.0	30.3	42.5	26.1	53.0	50.9	55.2	26.0
<b>Années</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
Pjmax	24.9	38.0	34.2	29.1	47.5	22.1	44.9	59.7	56.0	46.4
<b>Années</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>						
Pjmax	29.2	24.4	93.0	28.9						

Annexe 02 : Tableau des Valeurs de  $\chi^2$ Table  $\chi^2$  : points de pourcentage supérieurs de la distribution  $\chi^2$ 

dl	.995	.990	.975	.950	.900	.750	.500	.250	.100	.050	.025	.010	.005
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.10	0.45	1.32	2.71	3.84	5.02	6.63	7.88
2	0.01	0.02	0.05	0.10	0.21	0.58	1.39	2.77	4.61	5.99	7.38	9.21	10.60
3	0.07	0.11	0.22	0.35	0.58	1.21	2.37	4.11	6.25	7.82	9.35	11.35	12.84
4	0.21	0.30	0.48	0.71	1.06	1.92	3.36	5.39	7.78	9.49	11.14	13.28	14.86
5	0.41	0.55	0.83	1.15	1.61	2.67	4.35	6.63	9.24	11.07	12.83	15.09	16.75
6	0.68	0.87	1.24	1.64	2.20	3.45	5.35	7.84	10.64	12.59	14.45	16.81	18.55
7	0.99	1.24	1.69	2.17	2.83	4.25	6.35	9.04	12.02	14.07	16.01	18.48	20.28
8	1.34	1.65	2.18	2.73	3.49	5.07	7.34	10.22	13.36	15.51	17.54	20.09	21.96
9	1.73	2.09	2.70	3.33	4.17	5.90	8.34	11.39	14.68	16.92	19.02	21.66	23.59
10	2.15	2.56	3.25	3.94	4.87	6.74	9.34	12.55	15.99	18.31	20.48	23.21	25.19
11	2.60	3.05	3.82	4.57	5.58	7.58	10.34	13.70	17.28	19.68	21.92	24.72	26.75
12	3.07	3.57	4.40	5.23	6.30	8.44	11.34	14.85	18.55	21.03	23.34	26.21	28.30
13	3.56	4.11	5.01	5.89	7.04	9.30	12.34	15.98	19.81	22.36	24.74	27.69	29.82
14	4.07	4.66	5.63	6.57	7.79	10.17	13.34	17.12	21.06	23.69	26.12	29.14	31.31
15	4.60	5.23	6.26	7.26	8.55	11.04	14.34	18.25	22.31	25.00	27.49	30.58	32.80
16	5.14	5.81	6.91	7.96	9.31	11.91	15.34	19.37	23.54	26.30	28.85	32.00	34.27
17	5.70	6.41	7.56	8.67	10.09	12.79	16.34	20.49	24.77	27.59	30.19	33.41	35.72
18	6.26	7.01	8.23	9.39	10.86	13.68	17.34	21.60	25.99	28.87	31.53	34.81	37.15
19	6.84	7.63	8.91	10.12	11.65	14.56	18.34	22.72	27.20	30.14	32.85	36.19	38.58
20	7.43	8.26	9.59	10.85	12.44	15.45	19.34	23.83	28.41	31.41	34.17	37.56	40.00
21	8.03	8.90	10.28	11.59	13.24	16.34	20.34	24.93	29.62	32.67	35.48	38.93	41.40
22	8.64	9.54	10.98	12.34	14.04	17.24	21.34	26.04	30.81	33.93	36.78	40.29	42.80
23	9.26	10.19	11.69	13.09	14.85	18.14	22.34	27.14	32.01	35.17	38.08	41.64	44.18
24	9.88	10.86	12.40	13.85	15.66	19.04	23.34	28.24	33.20	36.42	39.37	42.98	45.56
25	10.52	11.52	13.12	14.61	16.47	19.94	24.34	29.34	34.38	37.65	40.65	44.32	46.93
26	11.16	12.20	13.84	15.38	17.29	20.84	25.34	30.43	35.56	38.89	41.92	45.64	48.29
27	11.80	12.88	14.57	16.15	18.11	21.75	26.34	31.53	36.74	40.11	43.20	46.96	49.64
28	12.46	13.56	15.31	16.93	18.94	22.66	27.34	32.62	37.92	41.34	44.46	48.28	50.99
29	13.12	14.26	16.05	17.71	19.77	23.57	28.34	33.71	39.09	42.56	45.72	49.59	52.34
30	13.78	14.95	16.79	18.49	20.60	24.48	29.34	34.80	40.26	43.77	46.98	50.89	53.67
40	20.67	22.14	24.42	26.51	29.06	33.67	39.34	45.61	51.80	55.75	59.34	63.71	66.80
50	27.96	29.68	32.35	34.76	37.69	42.95	49.34	56.33	63.16	67.50	71.42	76.17	79.52
60	35.50	37.46	40.47	43.19	46.46	52.30	59.34	66.98	74.39	79.08	83.30	88.40	91.98
70	43.25	45.42	48.75	51.74	55.33	61.70	69.34	77.57	85.52	90.53	95.03	100.44	104.24
80	51.14	53.52	57.15	60.39	64.28	71.15	79.34	88.13	96.57	101.88	106.63	112.34	116.35
90	59.17	61.74	65.64	69.13	73.29	80.63	89.33	98.65	107.56	113.14	118.14	124.13	128.32
100	67.30	70.05	74.22	77.93	82.36	90.14	99.33	109.14	118.49	124.34	129.56	135.82	140.19