

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMÉRI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE DE LA CONSTRUCTION

Département d'Hydraulique

Filière : Hydraulique

Mémoire De Fin D'études

Présenté pour Obtenir le Diplôme de Master

Spécialité : Ouvrages Hydrauliques

Thème

***Protection De La station de Dessalement de Cap Djenet 2 Contre
Les Inondations***

Réalisé par :

Mr. RABHI Mohamed

Encadré par :

Mr. ZAMOUM Said

Mr. HAMA NI Sofiane

Soutenu devant le jury composé de :

<i>NOM et Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Lieu d'exercice</i>	<i>Qualité</i>
<i>Mme : HAMRI</i>	<i>MAA</i>	<i>UMMTO</i>	<i>Présidente</i>
<i>Mr : HAMANI</i>	<i>MCB</i>	<i>UMMTO</i>	<i>Co-Promoteur</i>
<i>MR. BOUMALEK</i>	<i>MAA</i>	<i>UMMTO</i>	<i>Examineur</i>

Soutenu le 25/09/2025

Remerciement

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Tout d'abord, j'adresse mes sincères remerciements à mes encadrants, M. ZAMOUM Saïd et M. HAMANI Sofiane, pour leur accompagnement, leurs précieux conseils et leurs retours constructifs qui ont grandement enrichi ma réflexion tout au long de ce projet. Je leur suis particulièrement reconnaissant pour leur rigueur, leur engagement constant, leur disponibilité et leur soutien indéfectible durant tout mon parcours académique.

Je souhaite également exprimer ma gratitude aux professeurs ainsi qu'à l'ensemble du département d'Hydraulique pour leur soutien inestimable. Leur expertise, leur dévouement et leur passion pour l'enseignement ont constitué des piliers essentiels de ma formation.

Je remercie aussi GTP qui m'a offert l'opportunité de réaliser ce mémoire au sein de son organisation. Leur collaboration et leur confiance ont été déterminantes pour la réussite de cette étude.

Enfin, je remercie chaleureusement toutes les personnes qui, de près ou de loin, m'ont apporté leur aide et leur soutien durant la rédaction de ce mémoire.

Dédicace

À mes parents, pour leurs sacrifices et leur soutien inestimable.

À ma famille, pour leur confiance.

À tous ceux qui ont cru en moi, jusqu'à l'aboutissement de ce parcours.

Mohamed

Résumer

Pour protéger la station de dessalement de Cap Djinet 2 contre les risques d'inondation, l'étude a débuté par la délimitation du bassin versant et la détermination de ses caractéristiques topographiques à l'aide du logiciel ArcGIS. La deuxième partie de l'étude a porté sur l'analyse hydrologique, en ajustant les précipitations extrêmes avec le logiciel HYFRAN Plus et en déterminant les débits de crue. La simulation hydraulique de l'oued à l'aide du logiciel HEC-RAS 6.7 nous a permis d'identifier les zones inondables et d'analyser le comportement de l'écoulement en période de crue. Sur la base de ce diagnostic, nous avons proposé des aménagements et des solutions de protection visant à sécuriser la station et à réduire sa vulnérabilité.

Mots clés : aménagement, inondation, Cap Djinet, ArcGIS, HYFRAN Plus, HEC-RAS.

ملخص

لحماية محطة تحلية مياه البحر برج جنيت 2 من أخطار الفيضانات، بدأت الدراسة بعملية تحديد حدود الحوض المائي وخصائصه الطبوغرافية باستعمال برنامج ArcGIS في الجزء الثاني من الدراسة تم إجراء التحليل الهيدرولوجي من خلال معايرة الأمطار القصوى باستخدام برنامج HYFRAN Plus وتحديد تصارييف الفيضانات. أما المحاكاة الهيدروليكية للوادي باستعمال برنامج HEC-RAS 6.7 فقد مكنتنا من تحديد المناطق المعرضة للغمر ودراسة سلوك الجريان أثناء الفيضانات. وبناءً على هذا التشخيص، اقترحنا مجموعة من التهيئات والحلول الوقائية من أجل تأمين المحطة وتقليل درجة هشاشتها أمام مخاطر الفيضانات.

الكلمات المفتاحية: التهيئة، الفيضانات، برج جنيت، ArcGIS، HYFRAN Plus، HEC-RAS.

Abstract

To protect the Cap Djinet 2 desalination plant from flood risks, the study began with the delineation of the watershed and the determination of its topographic characteristics using ArcGIS. The second part focused on the hydrological analysis, where extreme rainfall was fitted using HYFRAN Plus to estimate flood discharges. Hydraulic simulation of the wadi with HEC-RAS 6.7 allowed us to identify flood-prone areas and analyze flow behavior during flood events. Based on this diagnosis, we proposed protective measures and hydraulic structures to secure the plant and reduce its vulnerability.

Keywor

ds: flood control, Cap Djinet, ArcGIS, HYFRAN Plus, HEC-RAS, watershed management.

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I Généralité sur les inondations des cours d'eau	1
I.1 Introduction	3
I.2 Définition.....	3
I.2.1 Inondation.....	3
I.2.2 Définition de la crue	3
I.2.3 Descriptifs d'une crue	4
I.2.4 Les paramètres pour évaluer la catastrophe	5
I.3 Mécanisme d'inondation	6
I.4 Les paramètres de cours d'eau.....	6
I.4.1 Lits de cours d'eau	7
I.4.2 Ripisylve :	7
I.4.3 Rive-berge :	7
I.4.4 Alluvions des substratums :.....	8
I.5 Les types des inondations	8
I.6 Les causes des inondations des cours d'eau	9
I.6.1 Les causes naturelles	9
I.6.2 Les causes anthropiques	10
I.7 Les impacts	11
I.7.1 Impactes Économiques.....	11
I.7.2 Impactes Environnements	11
I.7.3 Impactes Sociaux et humains	11
I.8 Les inondations en Algérie	12
I.9 L'évaluation du risque d'inondation.....	13
I.10 Lutter contre les inondations	14
I.10.1 Ouvrages hydrauliques :.....	14

I.10.2	Prévision et prévention.....	15
I.11	L'étude de base pour la stratégie de protection	15
I.11.1	Etude topographique	15
I.11.2	Etude géomorphologique et hydrologique	16
I.11.3	Etude hydraulique	16
I.11.4	Etude économique	16
I.12	Conclusion.....	16
Chapitre II : PRESENTATION DE ZONE D'ETUDE		17
II.1	Introduction	18
II.2	Présentation de station de dessalement Cap Djinet 2	18
II.2.1	Usine de dessalement Cap Djinet 2 d'eau de mer	19
II.2.2	Importance de la Station Dessalement Cap Djinet 2.....	19
II.2.3	Description des infrastructures.....	20
II.3	Le relief.....	21
II.4	Température	22
II.5	Conclusion.....	23
Chapitre III Etude hydrologique		24
III.1	Introduction :.....	25
III.2	Bassin versant	25
III.3	Système d'information géographique SIG et l'hydrologie	25
III.4	Généralité sur les MNT.....	26
III.5	Les caractéristiques de BV.....	29
III.5.1	La surface	29
III.5.2	Périmètre	29
III.5.3	La forme	30
III.5.4	Rectangle équivalent	31
III.5.5	La longueur de talweg principal.....	31
III.5.6	Coefficient d'allongement (Ca).....	32
III.5.7	La courbe hypsométrique	33

III.5.8	Temps de concentration.....	37
III.6	La précipitation	40
III.6.1	La pluviométrie	41
III.6.2	Les caractéristiques	42
III.6.3	Choix de la loi d'ajustement.....	45
III.6.4	Pluie de courte durée et leurs intensités à différentes Fréquences	56
III.7	Etude de crue.....	59
III.7.1	Débit de pointe	59
III.7.2	Le débit de pointe max	59
III.7.3	Hydroramme de crue	61
III.8	Conclusion	65
Chapitre IV	Modalisation HEC-RAS.....	66
IV.1	Introduction	67
IV.2	Présentation succincte de HEC-RAS.....	67
IV.2.1	HEC-RAS en Bref.....	68
IV.2.2	Terminologie utilisée	68
IV.2.3	Fonctionnement HEC-RAS.....	69
IV.3	Conclusion	87
Chapitre V	Les calculs hydrauliques.....	88
V.1	Introduction	89
V.2	Généralité.....	89
V.2.1	Les Canales ouvertes	89
V.2.2	Types des Canales	89
V.3	Proposition aménagement.....	91
V.3.1	Les avantage de canal trapézoïdal.....	91
V.3.2	La géométrie des canaux	92
V.3.3	Choix de revanche de canal.....	93
V.4	Calcule hydraulique de la section d'écoulement	94
V.4.1	Détermination la section de l'écoulement	94

V.4.2	Principal de calcule	94
V.4.3	La démarche consiste le plus souvent :	94
V.4.4	Dimensionnement de canal	95
V.4.5	La vitesse admissible de l'écoulement	95
V.4.6	Les calculs hydrauliques des paramètres de l'écoulement.....	96
V.4.7	Les résultats de déférentes Calculs pour la section trapézoïdale	97
V.5	Conclusion	103
	Conclusion général	105
	Annexe 1: les section en travers après la simulation.....	107

Liste des symboles

Symbol	Définition	Unité
ΔH	Dénivelée totale	m
H_i	Centre de classe	l
B	Largeur du canal à la surface libre ou largeur au miroir	m
b	Largeur au radier (base)	m
C_r	Coefficient de ruissellement	Km ² /h
C_s	Coefficient de asymétrie	
C_t	Coefficient de torrentialité	Km ⁻³
C_v	Coefficient de variation	/
D_h	La profondeur hydraulique	m
C_a	Coefficient d'allongement	/
D_h	La profondeur hydraulique	m
F_1	Fréquence de talwegs d'ordre 1	Km ⁻²
F_r	Nombre de Froude	/
H	Hauteur de canal	m
$H_{5\%}$	Altitude 5%	m
H_{max}	Altitude maximale	m
H_{min}	Altitude minimale	m
I_{moy}	Pente moyenne du cours d'eau (talweg) principale	m/m
I	Pente de fond du canal	m/m
I_g	Indice de pente globale	m/km
I_t	Intensité maximale	mm/h
K_g	Indice de compacité	/
L	Longueur de talweg principal	m
L_r	Longueur de rectangle équivalent	km
l_r	Largeur de rectangle équivalent	km
ma	Rang de précipitation	/
m	Fruit du talus du canal	/
n	Nombre d'observation (taille de la série)	/
n	Coefficient de frottement de Manning.	/
P	Périmètre	m
Pct	Pluie courte durée	mm/h

P_{max}	Perte maximale	mm
P_0	Seuil du ruissellement journalier statistique	mm
P_{annuel}	Pluie annuelle	m
P_{maxj}	Pluies journalières maximales	mm
P_m	Périmètre mouillée	m
I_{moy}	Pente moyenne	m/km
P_{moy}	Pluie moyenne annuelle	m
P_{tc}	Pluie de courte durée	mm
Q_d	Débit de la décrue	m ³ /s
Q_m	Débit de la montée	m ³ /s
Q_{max}	Débit maximum de la crue	m ³ /s
$Q_{max\ point}$	Débit de pointe	m ³ /s
R_h	Rayon hydraulique	m
S	Surface	m ²
S_m	Section mouillée	m ²
T	Période de retour	ans
T_{max}	Température max de mois	C°
T_{moy}	Temperature moyenne de mois	C°
T_m	Temperature minimal de mois	C°
T_b	Temps de base	h
T_c	Temps de concentration	h
t_d	Temps de décrue	h
t_m	Temps de montée	h
U	Variable réduite de GALTON	/
V_c	la vitesse de la concentration de la phase maximale de la crue	km/h
V_r	Vitesse du ruissellement	km/h
Y	Variable réduite de GUMBEL	/
α	Angle de fruit	/
θ	Angle au centre (pour une section circulaire)	
β	Exposant climatique	/

Liste d'abréviation

BV : Bassin Versant

MNT : Modèle Numérique de Terrain

MNA : Modèle Numérique d'Altitude

SIG : Système d'Information Géographique

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (Algérie)

O.N.M : Office National de la Météorologie (Algérie)

AEC : Algerian Energy Company

GCB : Génie Civil et Bâtiment

GTP : Grands Travaux de Puits

Liste des tableaux

CHAPITRE I

TABLEAU I-1 : LES DEGATS DES INONDATION EN ALGERIE.....	12
---	----

TABLEAU I-2:LES DEGATS DES INONDATION EN ALGERIE (SUIT)	13
---	----

Chapitre II

TABLEAU II-1 : TEMPERATURE A LA ZONE DE DYLESS DANS L'ANNEE 2021 [6].....	22
---	----

Chapitre III

TABLEAU III -2: LES SURFACE CUMULEES	36
--	----

TABLEAU III-3: LES ALTITUDES.....	37
-----------------------------------	----

TABLEAU III -4 : TEMPS DE CONCENTRATION POUR LES DIFFERENTES METHODES	40
---	----

TABLEAU III-5: LES RESULTATS DES CALCULS DES PARAMETRES CLES DU BASSIN VERSANT.....	40
---	----

TABLEAU III-6: SERIE DE PLUIES MAXIMAL JOURNALIER (MM/J) DE ZONE DYLLS	41
--	----

TABLEAU III-7: CARACTERISTIQUE DE LA SERIE DE DONNEES AVEC N=26.....	44
--	----

TABLEAU III -8: LES RESULTATS D'AJUSTEMENT PAR LA LOI DE GUMBEL	49
---	----

TABLEAU III-9 : LES RESULTATS D'AJUSTEMENT PAR LA LOI DE GAUSS	51
--	----

TABLEAU III-10: LES RESULTATS D'AJUSTEMENT PAR LA LOI LOG-NORMAL	54
--	----

TABLEAU III -11 : PLUIE COURTE DUREE ET INTENSITE MAXIMAL DE DUREE T(H) ET PERIODE DE RETOUR (ANS)	57
---	----

TABLEAU III-12: LES DEBITS DE POINT MAX M ³ /s.....	61
--	----

TABLEAU III-13: DESCRIPTION DU COURS D'EAU.....	62
---	----

TABLEAU III-14: LES PARAMETRES DE HYDROGRAMME DE CRUE.....	63
--	----

TABLEAU III -15 : DEBIT DE CRUE POUR DEFERENCE PERIODE DE RETOUR EN M ³ /s.....	63
--	----

TABLEAU III -16 : DEBIT DE CRUE POUR DEFERENCE PERIODE DE RETOUR EN M ³ /s (SUIT)	64
--	----

TABLEAU III -17: LES DEBIT OBTENUE.....	65
---	----

Chapitre IV

TABLEAU IV -1: RESULTATS DE SIMULATION HEC RAS	86
--	----

Chapitre V

TABLEAU V -1: TABLEAU LES FORMULES DE CALCULER LES PARAMETRES DES CANAUX.....	93
---	----

TABLEAU V -2: LA REVANCHE EN FONCTION DE DEBIT	94
--	----

TABLEAU V-3: COEFFICIENT DE MANNING [9]	96
---	----

Tableau V-4: LES RESULTATS DES CALCULS POUR UN CANAL EN BETON AVEC LA PENTE NATURELLE DE PREMIERE TRONÇON.....	97
---	----

Tableau V-5 : LES RESULTATS DES CALCULS POUR UN CANAL EN BETON AVEC LA PENTE NATURELLE DE DEUXIEME TRONÇON ;;	97
Tableau V-6: LES RESULTATS POUR LA PENTE CORRIGEE 0.006 DE PREMIERE TRONÇON	98

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

FIGURE I-1: LES ELIMENT DESCRIPTIF D'UNE CRUE.....	5
FIGURE I -2: LES LITS MAJEUR MINEUR ET MOYEN [1].....	7

Chapitre II

FIGURE II -1 : SITUATION GEOGRAPHIQUE DE STATION DESSALEMENT CAP DJINET 2.....	19
FIGURE II -2 : S PLAN DE RELIEF DE ZONE D'ETUDE.....	21

Chapitre III

FIGURE III -1:MNT DE LA ZONE 31 NORD SUR ARC-GIS.....	27
FIGURE III -2:LA CARTE HYDROGRAPHIQUE DE BASSIN VERSANT.....	28
FIGURE III -3: BASSIN VERSANT DE STATION CAP DJINET 2.....	29
FIGURE III-4: RESEAU HYDROLOGIQUE.....	32
FIGURE III -5: CLASSIFICATION DES ALTITUDES AVEC MNT SUR ARC GIS.....	34
FIGURE III -6: LES CLASSE ALTITUDES AVEC ARC GIS.....	35
FIGURE III-7: LA COURBE HYSOMETRIQUE DE BASSIN VERSANT.....	36
FIGURE III-8: HYDROGRAMME DES PLUIES MAXIMAL JOURNALIE.....	42
LA REPRESENTATION DES OBSERVATIONS SUR DU PAPIER NORMAL AINSI QUE LEUR HISTOGRAMME SONT PRESENTES DANS LES FIGURES (0-9, 10).....	44

Chapitre IV

FIGURE IV-1: FENETRE PRINCIPAL DE HEC-RAS.....	69
FIGURE IV-2: LES UTILITES DE FILLE.....	70
FIGURE IV -3: FIGURE LES UTILITES DE EDITE.....	70
FIGURE IV -4: LES UTILITE DE RUN.....	70
FIGURE IV -5: L'UTILITES DE NVIEW.....	71
FIGURE IV -6:L'UTILITES OPTIONS.....	71
FIGURE IV -7: L'UTILITE GIS TOOLS.....	71
FIGURE IV -8:FIGURE DE L'UTILITES DE HELP.....	72
FIGURE IV -9: CREATION UN NOUVEAU PROJET.....	72
FIGURE IV -10:FENETRE DE PROJET RAS-MAPPER.....	73
FIGURE IV -11:FENETRE DE D'IMPORTER LA PROJECTION.....	74
FIGURE IV -12:L'OUTILLE TERRAIN.....	74

FIGURE IV -13: AJOUTER LE TERRAIN	75
FIGURE IV -14: L'OUTILLE MAPP LAYER.....	75
FIGURE IV -15: LE COURS D'EAU	76
FIGURE IV -16: PROFILE DE TERRAIN DE COURS D'EAU.....	77
FIGURE IV -17: LE COURS D'EAU AVEC COVADIS	78
FIGURE IV -18: PROFILE EN TRAVERS AVEC COVADIS	79
FIGURE IV -19: INSERTION LES POINTS DE PROFIL LOG	80
FIGURE IV -20: COURS D'EAU AVEC HEC RAS.....	80
FIGURE IV -21: INSERTION LES STATIONS ET ALTITUDES EN TRAVERS	81
FIGURE IV -22: DE STUDY FLOW DATA (CONDITION LIMITES).....	82
FIGURE IV -23: LA SIMULATION.....	82
FIGURE IV -24: LE PROFILE LONG DE COURS D'EAU	83
FIGURE IV -25: VISUALISATION 3D LES ZONES.....	84
FIGURE IV -26: CROSS SECTION APRES LA SIMULATION	84

Chapitre V

FIGURE V-1: GEOMETRIE D'UN CANAL NATUREL	90
FIGURE V -2: LES CANAUX ARTIFICIEL.....	90
FIGURE V -3: CARACTERISTIQUE GEOMETRIQUE DE NOTRE SECTION EN BETON AVEC LA PENTE NATUREL	98
FIGURE V -4: LES CARACTERISTIQUE GEOMETRIQUE DE NOTRE SECTION EN BETON AVEC LA PENTE NATUREL 0.006.....	99
FIGURE V -5: SCHEMA DE PROPOSITION DE REALISATION DE CHUTE	99
FIGURE V -6: LES CARACTERISTIQUE GEOMETRIQUE DE NOTRE SECTION EN GABION AVEC LA PENTE NATUREL 0.024.....	101

Introduction générale

Les inondations constituent l'un des aléas naturels les plus fréquents et les plus destructeurs, avec des répercussions majeures sur la société, l'économie et l'environnement. Elles surviennent généralement à la suite de précipitations intenses et prolongées, de crues soudaines ou encore de la rupture d'ouvrages hydrauliques. En Algérie, ce phénomène représente un enjeu de sécurité important, car il menace régulièrement les zones urbaines, les infrastructures stratégiques et le développement socio-économique.

Face au stress hydrique et aux besoins croissants en eau potable, nous constatons que l'Algérie a mis en place plusieurs projets de dessalement d'eau de mer le long de son littoral. La station de dessalement de Cap Djinet 2, avec une capacité de production de 300 000 m³/jour, est l'un des projets les plus stratégiques pour garantir la sécurité hydrique du pays. Cependant, sa situation géographique la rend vulnérable aux inondations, ce qui pourrait compromettre son rôle essentiel dans l'approvisionnement en eau.

À travers ce mémoire, nous cherchons à étudier les risques d'inondation qui menacent la station de dessalement de Cap Djinet et à proposer des solutions de protection efficaces. Notre objectif est de contribuer à la sécurisation et à la pérennité de cette infrastructure vitale pour le développement socio-économique et la stabilité hydrique du pays.

À travers ce mémoire, nous cherchons à étudier les risques d'inondation qui menacent la station de dessalement de Cap Djinet et à proposer des solutions de protection efficaces. Notre objectif est de contribuer à la sécurisation et à la pérennité de cette infrastructure vitale pour le développement socio-économique la stabilité hydrique du pays.

Chapitre I Généralité sur les inondations des cours d'eau

I.1 Introduction

Les inondations figurent parmi les risques naturels les plus dévastateurs à l'échelle mondiale. Au cours des dernières décennies, leurs conséquences se sont avérées particulièrement destructrices, tant sur le plan humain qu'économique. Cette situation s'explique principalement par l'expansion urbaine et industrielle en zones inondables, qui a accru la vulnérabilité des populations et des infrastructures face à ce fléau. Face à ces enjeux majeurs, des efforts considérables sont aujourd'hui déployés pour mieux analyser, comprendre et anticiper ce phénomène, dans l'objectif de limiter son impact et d'atténuer les risques associés.

Une inondation représente un désastre naturel qui touche de nombreux pays à travers le globe. Plusieurs éléments y contribuent, et l'action humaine est souvent un de ces éléments aggravants. Les dommages causés par cette tragédie, qu'ils concernent des vies humaines ou des infrastructures ¹

I.2 Définition

I.2.1 Inondation

Les inondations des cours d'eau représentent un phénomène hydrologique naturel qui survient lorsque le niveau d'eau dépasse la capacité des cours d'eau, entraînant un débordement vers les zones avoisinantes. Ce phénomène est généralement provoqué par des épisodes de fortes précipitations ou par des modifications anthropiques du relief, telles que l'urbanisation ou l'aménagement des bassins-versants, qui perturbent l'écoulement naturel des eaux. Les inondations qui en résultent figurent parmi les aléas naturels les plus fréquents et les plus dévastateurs, causant des dommages significatifs aux infrastructures, mettant en péril les populations locales, et exerçant des pressions néfastes sur les écosystèmes environnementaux.

[1]

I.2.2 Définition de la crue

Une crue est une augmentation rapide ou progressive du débit d'un cours d'eau, généralement causée par des précipitations intenses, la fonte des neiges. Cette élévation du

niveau de l'eau peut dépasser la capacité d'écoulement du lit mineur du cours d'eau et entraîner le débordement sur les rives, inondant les zones environnantes. [1] [2]

Elle est caractérisée par ces paramètres :

- Le débit d'eau ruisselé
 - La hauteur d'eau
 - La vitesse
 - La durée
-
- La Variation du débit d'eau au cours du temps

. Il existe un hydrogramme graphique qui représente la partie ascendante (crue), et la partie descendante (décrué).

I.2.3 Descriptifs d'une crue

Les paramètres d'une crue :

- Temps de concentration : est le temps nécessaire pour que la goutte de pluie qui tombe dans le point plus éloigné de bassin versant atteigne à l'exutoire.
- Pointe de crue : est le point maximal de débit atteint par un cours d'eau lors d'une crue.
- Courbe de tarissement : le niveau du cours d'eau avant la crue
- Fréquence de retour : elle est calculer une chance sur La probabilité. [2]

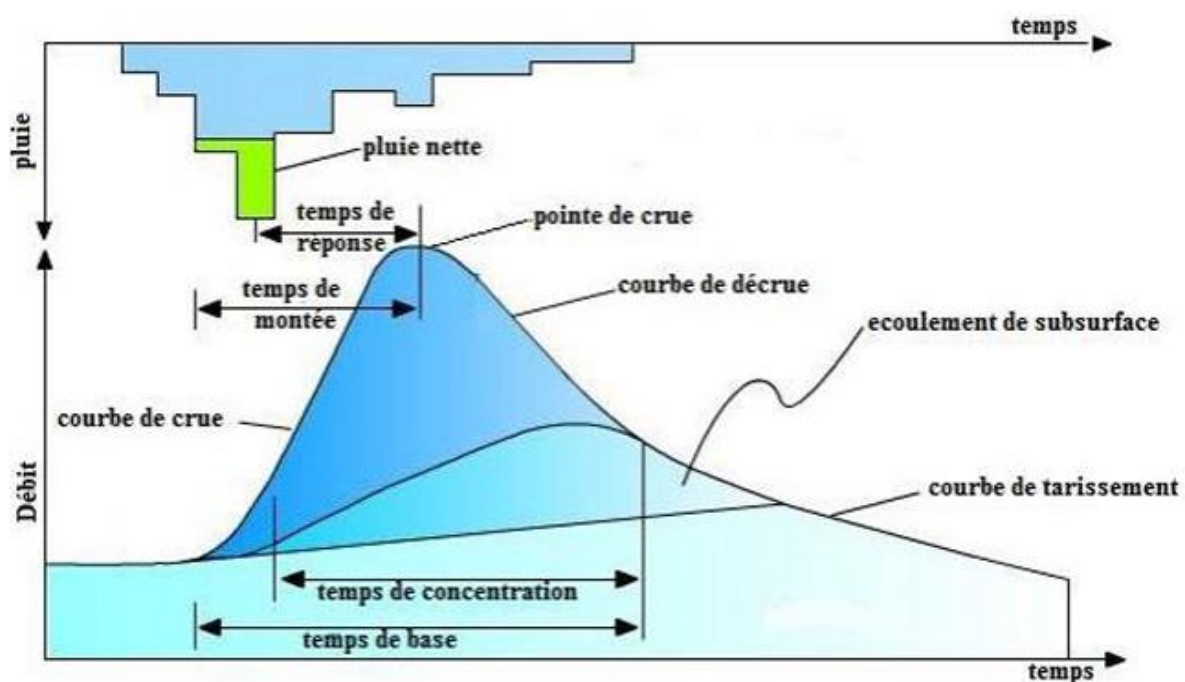


Figure I-1: les éléments descriptifs d'une crue

I.2.4 Les paramètres pour évaluer la catastrophe

L'inondation dépend de nombreux paramètres, par exemple : la répartition spatiale et temporelle des précipitations par rapport au bassin-versant, l'évaporation et la consommation d'eau par les plantes, l'absorption d'eau par le sol, l'infiltration dans le sol ou le ruissellement de surface, etc.

Les inondations dépendent des paramètres suivants :

- **Le débit** : C'est un paramètre caractéristique d'une crue. C'est la quantité d'eau qui s'écoule en un point donné du cours d'eau. Il s'exprime en m^3/s . Le débit d'un cours d'eau varie en fonction de la (Hauteur d'eau, de la surface mouillée. La pente) ainsi, l'augmentation de débit d'un cours d'eau entraîne celles de la vitesse d'écoulement d'eau et de la hauteur du plan d'eau en point considéré. [2]
- **Vitesse d'écoulement** : Elle est mesurée à un point précis de la rivière et son unité est le m/s . Une vitesse élevée augmente l'énergie cinétique de l'eau, ce qui affecte directement sa capacité à mobiliser et à transporter les particules de sédiments en fonction de leur taille et de leur densité. Lorsque la vitesse dépasse un seuil critique, elle

peut conduire à une érosion accélérée des berges de lit, telles que les tours ou les structures limites, en altérant leur stabilité géotechnique, et pose un risque important pour les infrastructures adjacentes, pouvant conduire à leur détérioration partielle ou complète. [2]

- **Hauteur de submersion** : la hauteur de submersion est mesurée, pour une crue donnée, lors d maximum de cette crue elle est représentatif des risques pour les personnes (noyades) et pour les biens par endommagement direct (action de l'eau) ou indirect (par mise en pression statique). [2]
- **La durée de submersion** : il représente la durée approximative pendant laquelle une surface donnée de terrain reste inondée. [2]
- **La fréquence et la période de retour** : la fréquence représente la probabilité qu'un événement comme les crues se produise au cours des années données. Elle est souvent exprimée sous forme de pourcentage.

La période de retour est le temps moyen entre deux occurrences successives d'un événement d'inondation. [2]

I.3 Mécanisme d'inondation

L'inondation est un débordement temporaire d'eau sur une zone. Elle résulte de divers mécanismes, souvent combinés, liés aux conditions météorologiques, hydrologiques, géographiques et humaines.

Les paramètres qui influence sur l'inondation sont :

- La pluviométrie (Intensité, durée de pluie...Etc.)
- Bassin versant (Surface, la pente, forme...Etc.)
- Nature de sol (Type de sol, infiltration...Etc.)
- Aménagements du territoire
- Le manque d'entretien des cours d'eau [2]

I.4 Les paramètres de cours d'eau

Les principaux paramètres morphologiques d'un cours d'eau sont constitués par :

I.4.1 Lits de cours d'eau

- **Lit majeur** : Le lit majeur désigne la zone inondable adjacente au chenal principal d'un cours d'eau, caractérisée par une largeur plurikilométrique. Cette portion du système fluvial n'est activée hydrologiquement que lors de crues exceptionnelles, jouant un rôle clé dans l'absorption de l'énergie cinétique des eaux et la régulation du régime d'écoulement. [1]
- **Lit moyen** : Le lit moyenne est la zone proche de la rivière qui est parfois inondée en raison des précipitations et se situe entre le lit mineur et le lit majeure. [1]
- **Lit mineur** : Le lit mineur correspond à la partie d'un cours d'eau circonscrite par ses berges naturelles, caractérisée par un écoulement presque continu toute l'année. [1]

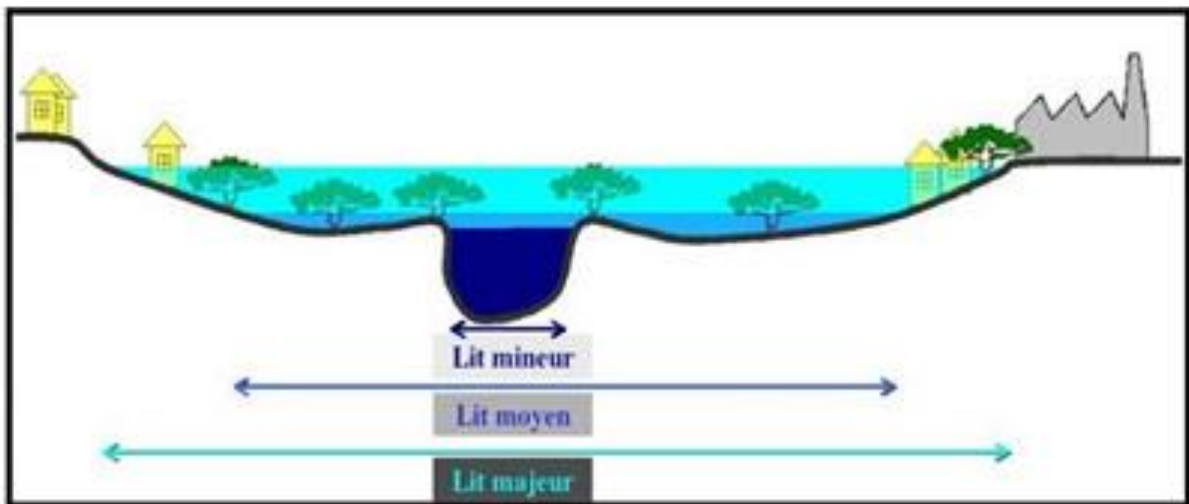


Figure I -2:les lits majeur mineur et moyen [1]

I.4.2 Ripisylve :

Est un groupe de plantes (arbres, herbes, etc.) qui poussent près des cours d'eau ou des rivières. [1]

I.4.3 Rive-berge :

La rive fait référence à la limite entre l'eau et la terre le long d'un cours d'eau (elle est classée en rive droite ou gauche),

La berge désigne le secteur spécifique qui borde l'eau, et qui est caractérisé par sa pente, sa stabilité et la présence de plantes. [1]

I.4.4 Alluvions des substratums :

Désignent les dépôts sédimentaires qui se forment à la base d'un substratum ou dans les couches inférieures d'un bassin sédimentaire, sous l'effet des processus naturels tels que l'érosion, le transport et la sédimentation. Ces matériaux sont généralement (sable, limon, argile, gravier) déposés par des agents géologiques comme l'eau, le vent ou la glace.

I.5 Les types des inondations

Se divisent en quatre types chacune ayant ses propres caractéristiques et causes que nous mentionnerons ceux dessous :

- **Inondation progressives :** Ce type se caractérise par une genèse lente, nécessitant la conjonction de plusieurs facteurs hydrométéorologiques. Parmi ces conditions préalables figurent notamment des précipitations prolongées sur plusieurs jours ou semaines, ou encore une fonte nivale accélérée en période printanière. Ces processus conduisent progressivement à la saturation des sols, réduisant leur capacité d'infiltration. L'accumulation de ces paramètres crée alors un contexte propice au déclenchement d'inondations, lorsque le seuil de rétention hydrique du bassin-versant est atteint. [3]

- **Inondation par crues torrentielle :** constitue un phénomène hydrologique extrême caractérisé par une élévation brutale et rapide du niveau d'eau, résultant principalement de précipitations intenses et localisées sur un intervalle de temps court. Ces événements se manifestent typiquement dans un délai de quelques minutes à quelques heures après l'épisode pluviométrique, avec une occurrence prédominante en zones urbaines (en raison de l'imperméabilisation des sols), en régions arides (faible capacité d'infiltration) et dans les vallées encaissées (concentration du ruissellement). Leur genèse est directement liée à la combinaison de facteurs hydro-climatiques (intensité des précipitations) et (faible perméabilité des sols, pentes accentuées). [3]

- **Inondation par rupture d'ouvrage** : il est une des inondations les plus dévastatrices, car elle se manifeste de manière soudaine et engendre des impacts considérables. Ce phénomène survient lorsque le niveau d'eau du barrage dépasse sa capacité maximale ou en cas de rupture du barrage, souvent causée par des facteurs tels que des séismes. Son apparition est similaire à celle d'un tsunami, caractérisée par un grand flux et une force destructrice, exceptionnelle sur une période de temps relativement courte.

- **Inondation par la submersion marine** : sont des inondations rapides et de courtes de cours d'eau par le maire lors de condition météorologique [3]

I.6 Les causes des inondations des cours d'eau

Les inondations des cours d'eau causées par des facture naturels ou humaines

I.6.1 Les causes naturelles

Cela par des facteurs d'origine naturelle, dont les causes seront ci-dessous :

- **Précipitation extensive** : les pluies continues pendant une longue période entraînent une élévation de niveau d'eau dans les rivières.
- **Fentes des neiges** : cela se produit lorsque la température élevée, ce qui entraîne de fonte rapide de neige, provoquant ainsi une augmentation significative du débit des cours d'eau. [2]
- **Relief accidenté** : Ce facteur reflète principalement l'influence de la pente, qui est étroitement liée à la nature géologique et topographique de la région, notamment lorsqu'il s'agit d'un relief montagneux. Une pente plus prononcée entraîne une augmentation significative de la vitesse d'écoulement des cours d'eau. [2]
- **Saturation des sols** : Lorsque le sol atteint un état de saturation hydrique, sa capacité d'absorption diminue considérablement, empêchant ainsi l'infiltration de l'eau de pluie. Par conséquent, les précipitations se transforment en ruissellement de surface, convergeant rapidement vers les cours d'eau. Ce processus contribue à une augmentation significative du niveau d'eau et du débit hydrique, ce qui peut, dans certaines conditions, provoquer des inondations. [2]

I.6.2 Les causes anthropiques

Il s'agit de facteurs d'origine anthropique, dont les causes sont directement liées aux activités humaines. Ces éléments seront détaillés ci-dessous

- **Urbanisation excessive** : Cette expansion urbaine contribue aux inondations en raison de l'imperméabilisation des sols par le béton et d'autres matériaux non-perméables. Cette transformation réduit considérablement la capacité du sol à absorber les eaux de précipitation, augmentant ainsi le ruissellement de surface. Par conséquent, l'eau s'accumule rapidement dans les cours d'eau, provoquant une élévation rapide de leur niveau et exacerbant les risques d'inondations. Ces dynamiques soulignent l'importance de planifier un aménagement territorial durable pour atténuer ces effets néfastes.
- **Déforestation** : La diminution de la couverture végétale favorise l'occurrence des inondations, car l'absence de végétation réduit la capacité du sol à absorber les eaux de précipitation. En effet, les plantes jouent un rôle essentiel dans l'infiltration de l'eau et la stabilisation du sol. Lorsque cette couverture est réduite, le sol devient rapidement saturé, ce qui entraîne un ruissellement accru des eaux de surface. Ce phénomène amplifie alors les risques d'inondations en augmentant le volume d'eau dirigé vers les cours d'eau et les zones avoisinantes. Ces dynamiques soulignent l'importance de la préservation des écosystèmes naturels pour atténuer les effets des aléas hydrologiques.
- **Modification des cours d'eau** : L'ingérence humaine dans le tracé naturel des rivières constitue l'une des causes majeures des inondations. Lorsque le cours d'une rivière est modifié, passant d'un tracé sinueux à un tracé rectiligne, la vitesse d'écoulement de l'eau s'accroît significativement. Cette modification réduit également la capacité des zones inondables à absorber les excès d'eau, entraînant une élévation rapide du niveau hydrique. Par conséquent, ces changements augmentent le risque de débordement des rivières, provoquant des inondations dans les zones environnantes. Ces effets mettent en lumière l'importance de préserver l'hydrologie naturelle des bassins-versants pour limiter les impacts des interventions anthropiques.

I.7 Les impacts

Les inondations ont des impacts variés sur l'environnement, l'économie, la société et les êtres humains. Voici les effets de chacun [2]:

I.7.1 Impactes Économiques

Les dégâts matériels et les pertes économiques causés par les inondations sont nombreux, tant immédiats que différés. Nous en mentionnons quelques-uns ci-dessous :

- Les usines arrêtent leur production
- Destruction d'infrastructures (Route, pont, égout...Etc.)
- Les pertes agricoles
- Le coût de réparation les infrastructures

I.7.2 Impactes Environnements

Les impacts environnementaux des inondations, qui concernent les écosystèmes. Ces effets peuvent être positifs ou négatifs, selon l'intensité, la durée et la fréquence des inondations. Voici quelques impacts ceux dessous :

- Érosion des sols
- Pollution des eaux
- Les maladies (la malaria par exemple)
- Destruction de zones humides
- Destruction de la végétation
- Infiltration dans les sols et alimentation des aquifères.
- Entretien naturel des plaines alluviales

I.7.3 Impactes Sociaux et humains

Voici les impacts sociaux et humains des inondations, ils touchent directement la vie des populations, leur santé, leur sécurité et leur mode de vie.

- Blessures physiques et psychologique
- Déplacement de population

- Perturbation de la vie quotidienne (Fermetures des écoles hôpitaux...Etc.)

I.8 Les inondations en Algérie

Les inondations représentent l'un des risques naturels les plus fréquents et les plus destructeurs en Algérie. Ce phénomène est principalement dû aux pluies intenses et soudaines, combinées à une urbanisation rapide et souvent non planifiée. De nombreuses villes, comme Alger, Blida, Tizi-Ouzou ou encore Boumerdès, sont construites à proximité des oueds. Ces événements causent non seulement des pertes humaines, mais aussi d'importants dégâts matériels, économiques et environnementaux.

Voici quelques inondations historiques en Algérie :

Tableau I-1 : les dégâts des inondation en Algérie

Lieu	date	Cause	Impact
BAB EL OUAD	10-nov-01	-Intensité 150mm/h -Construction dans des zones de risque	-800 morts -destruction des maisons, routes, réseau d'eau et l'électricité

Tableau I-2:les dégâts des inondation en Algérie (suit)

Lieu	date	Cause	Impact
EL BAYADH	oct-84	-intensité 100mm/h -la pente raides, ruissèlement intense -réseau d'évacuation bouché	-300 morts
GHARDAYA	AOUT-2008	-intensité de 50mm/h -sol sec et imperméable -manque des structures de drainage	-10 morts
TAMENRASST	AOUT-2022	-pluie orageuse mais intense (phénomène de flash flood) -Absence de digues, bassins de retenue ou drainage.	-05 blessés

I.9 L'évaluation du risque d'inondation

En général, cette définition repose sur le résultat de trois éléments clés : l'aléa, la vulnérabilité et l'événement de crue.

I.9.1.1 L'aléa

L'aléa désigne la probabilité et l'intensité d'un phénomène naturel dangereux, comme une inondation. Dans le contexte des crues, il caractérise la fréquence, la durée, la hauteur d'eau et la force du débordement d'un cours d'eau. L'aléa dépend de facteurs climatiques (précipitations, fonte des neiges), hydrologiques (débit, topographie). [4]

I.9.1.2 Vulnérabilité

La vulnérabilité représente la sensibilité d'un territoire ou d'un bien face à un aléa. Elle évalue les conséquences potentielles en fonction de l'exposition aux inondations (habitations en zone inondable, infrastructures critiques) et de la capacité à y résister (normes de construction, systèmes d'alerte). Plus un système est fragile ou mal préparé, plus sa vulnérabilité est élevée. [4]

I.9.1.3 Crue

Le phénomène naturel de la montée des eaux qui constitue l'événement inondation. Elle est étudiée via des paramètres comme le débit, la hauteur d'eau et la durée. [4]

I.10 Lutter contre les inondations

Pour réduire les dégâts et lutter contre l'inondation, il existe différents outils pour protéger les hommes, l'économie et la nature, premièrement limiter les constructions nouvelles dans les zones fortement exposées aux inondations cela permettra de préserver les zones naturelles où les crues des rivières peuvent s'étendre. [4]

Construire des ouvrages hydrauliques dans le lit majeur pour contrôler les paramètres d'écoulement, la suivre de la météorologie et de l'hydrologie permettent de prévoir le niveau d'eau.

I.10.1 Ouvrages hydrauliques :

Sont des solutions techniques comme les digues les dérivations les bassins de rétention, les canaux, tous ces ouvrages ont chacun son rôle et comment fonctionner pour contrôler l'écoulement, Les avancées scientifiques dans le domaine de l'hydraulique ainsi que l'arrivée

d'outils informatiques de modélisation ont permis de mieux comprendre le comportement des rivières en période de crue, ainsi des structures plus efficaces contre la montée des eaux. [4]

I.10.2 Prévision et prévention

Grâce aux innovations technologiques et scientifiques, il est désormais possible de prévoir les inondations avec une grande précision grâce à des outils tels que les modèles hydrologiques et météorologiques. Toutefois, la prévention reste une étape cruciale pour minimiser les dommages causés par ces événements. Étant donné que les inondations majeures sont relativement rares, les populations locales ont souvent tendance à ignorer les risques potentiels. Pour remédier à cela, les collectivités doivent informer et éduquer les riverains sur les dangers associés aux crues et sur les actions à entreprendre en cas de montée des eaux. [4]

I.11 L'étude de base pour la stratégie de protection

L'étude des caractéristiques physiques et socio-économiques du bassin-versant vise à identifier progressivement les zones où des mesures de prévention et de protection contre les inondations peuvent être planifiées et mises en œuvre de manière efficace.

Étude hydrologique : une étude hydrologique est une analyse qui vise à évaluer les caractéristiques d'un bassin-versant afin de déterminer les débits d'eau, notamment les débits de pointe, les intensités des précipitations et leurs périodes de retour. Elle permet de comprendre le comportement hydrologique d'une rivière ou d'un cours d'eau en tenant compte des paramètres tels que la superficie du bassin, la pente, la nature des sols, l'occupation du sol et les précipitations.

I.11.1 Etude topographique

Nous réalisons cette étude topographique pour connaître les altitudes, délimiter les limites de la rivière, calculer la surface d'eau écoulée, et également pour choisir la forme optimale de la rivière (trapézoïdale, circulaire, rectangulaire, etc.), adaptée à la protection contre les inondations.

I.11.2 Etude géomorphologique et hydrologique

En analysant les formes du lit d'un cours d'eau, tant en long qu'en travers, on peut définir les frontières de la zone inondable (lit mineur, moyen et majeur). Cela permet également de mieux comprendre comment les sédiments se déplacent et comment les formes de la rivière changent, tout en appréciant les interactions entre les rivières et les aquifères voisins.

I.11.3 Etude hydraulique

Elle facilite l'identification des frontières de la zone inondable lors des crues de référence et offre une compréhension approfondie de la dynamique des inondations (évaluation des vitesses d'écoulement, des temps de passage dans les rivières et analyse de l'effet de ralentissement provoqué par les structures de gestion de l'eau).

I.11.4 Etude économique

L'objectif est d'évaluer les coûts associés à chaque stratégie de protection, tout en analysant la diminution du coût moyen des dommages annuel. Cela offre plusieurs éléments concrets pour aider à décider des aménagements à mettre en place.

I.12 Conclusion

Une crue correspond à une élévation anormale du niveau d'un cours d'eau, dont l'intensité varie dans l'espace et dans le temps. Ses impacts en milieu naturel restent généralement limités, tandis qu'en zone urbaine, les conséquences humaines et matérielles des inondations peuvent atteindre une ampleur imprévisible.

La gestion du risque d'inondation représente un défi complexe. Pour protéger les grandes structures, une approche pluridisciplinaire est essentielle afin d'analyser les facteurs déclencheurs et de proposer des solutions adaptées.

Chapitre II : PRESENTATION DE ZONE D'ETUDE

II.1 Introduction

Avant tout projet de protection contre les inondations, une étude approfondie du site s'impose pour analyser les caractéristiques physiques (relief, hydrographie, température) et déterminer les facteurs influençant la conception des ouvrages. Cette étape préalable est d'autant plus cruciale en Algérie, où les crues soudaines des oueds et les pluies diluviennes provoquent régulièrement des inondations dévastatrices, entravant le développement économique et social du pays. Ces phénomènes hydrologiques extrêmes, qui affectent l'ensemble du territoire national, exigent des solutions adaptées à chaque contexte local pour une prévention efficace des catastrophes. [5]

II.2 Présentation de station de dessalement Cap Djinet 2

L'usine de dessalement d'eau de mer Cap Djinet 2, mise en service en mars 2025, est située dans la wilaya de Boumerdès, plus précisément dans la municipalité de Cap Djinet, au niveau de Douar Mendil, entre les localités de Zemmouri et Dellys. Cette installation stratégique, d'une capacité de production de 300 000 m³ par jour, est implantée dans la zone 31, entre les latitudes 36.83° et 36.85° Nord et les longitudes 3.68° et 3.70° Est.

Le maître d'ouvrage est la société Energy Company (AEC).

La réalisation des travaux a été confiée à deux entreprises nationales : la Société Nationale de Génie Civil et du Bâtiment (GCB) et la Société Nationale des Grands Travaux aux Puits (GTP).



Figure II -1 : situation géographique de station dessalement Cap Djinet 2

II.2.1 Usine de dessalement Cap Djinet 2 d'eau de mer

- **Mise en service partielle** : 2022
- **Mise en service final** : 2025
- **Capacité** : 300000 m³/j par la technique d'osmose inverse
- **Objectif** : renforcement des ressources en eau
- **Distribution** : gestion et entretien du réseau d'eau potable (Alger, Tizi Ouzou, Boumerdes) 3 millions habitants

II.2.2 Importance de la Station Dessalement Cap Djinet 2

La station de dessalement de Cap Djinet, d'une capacité de production de 300 000 m³/jour, joue un rôle stratégique majeur dans l'approvisionnement en eau potable de plusieurs

régions, notamment Boumerdès, Bouira, Alger et Tizi-Ouzou. Face au stress hydrique croissant, à la variabilité des ressources en eau de surface et au changement climatique, cette infrastructure permet de garantir une source d'eau stable, indépendante des conditions pluviométriques. Elle contribue ainsi à renforcer la sécurité hydrique, à soutenir le développement socio-économique régional et à améliorer la qualité de vie des populations urbaines et rurales desservie.

II.2.3 Description des infrastructures

La station de dessalement Cap Djinet 2 est une installation industrielle conçue pour transformer l'eau de mer en eau douce potable, grâce à des procédés physiques et chimiques. Le système utilisé est l'osmose inverse, qui consiste à faire passer l'eau salée à travers des membranes semi-perméables sous haute pression pour en éliminer les sels et impuretés. À station se compose de plusieurs unités principales, parmi lesquelles on trouve :

- **La prise de mer** : La prise d'eau en mer par captage gravitaire à une distance de 1,6 km utilise deux conduites de diamètre 2.5m pour acheminer naturellement l'eau de mer vers la station sans pompage, assurant un débit stable de 27778m³/h, et économique.
- **Le prétraitement** : Le système de prétraitement regroupe plusieurs bâtiments :
 1. 32 bassins de coagulation-floculation,
 2. 16 décanteurs lamellaires,
 3. Un réservoir intermédiaire,
 4. Une station de pompage intermédiaire,
 5. 32 filtres à sable.
 6. 14 filtres à cartouche

Assurant une purification progressive de l'eau avant l'osmose inverse.

- **L'osmose inverse** : Le système d'osmose inverse est composé de :
 1. Cinq pompes haute pression, plus une pompe de réserve
 2. 10 boosters pour maintenir une pression optimale.
 3. 10 racks contenant chacun 356 tubes sous pression. Chaque tube renferme 7 membranes.

Assurant une filtration efficace pour éliminer les sels et impuretés de l'eau.

- **Le poste de traitement :** Le poste de traitement comprend une unité d'injection de calcite et de dioxyde de carbone (CO_2) pour stabiliser la qualité de l'eau.
- **Station de pompage l'eau produit :** La station de pompage comprend
 1. Un réservoir d'eau produite
 2. 7 pompes, six sont en fonctionnement tandis qu'une est réservée en tant que pompe de secours.
- **Le système de rejet :** Le système de rejet comprend une pompe à polyélectrolyte pour déshydrater les boues, une pompe pour transférer les eaux usées, un réservoir pour stocker les boues, et une pompe centrifuge qui évacue les effluents vers le drainage.

II.3 Le relief

Le site de la station de Cap Djinet se trouve dans une zone littorale à relief modérément accidenté, avec des pentes douces et des collines basses. Le terrain présente une topographie irrégulière.

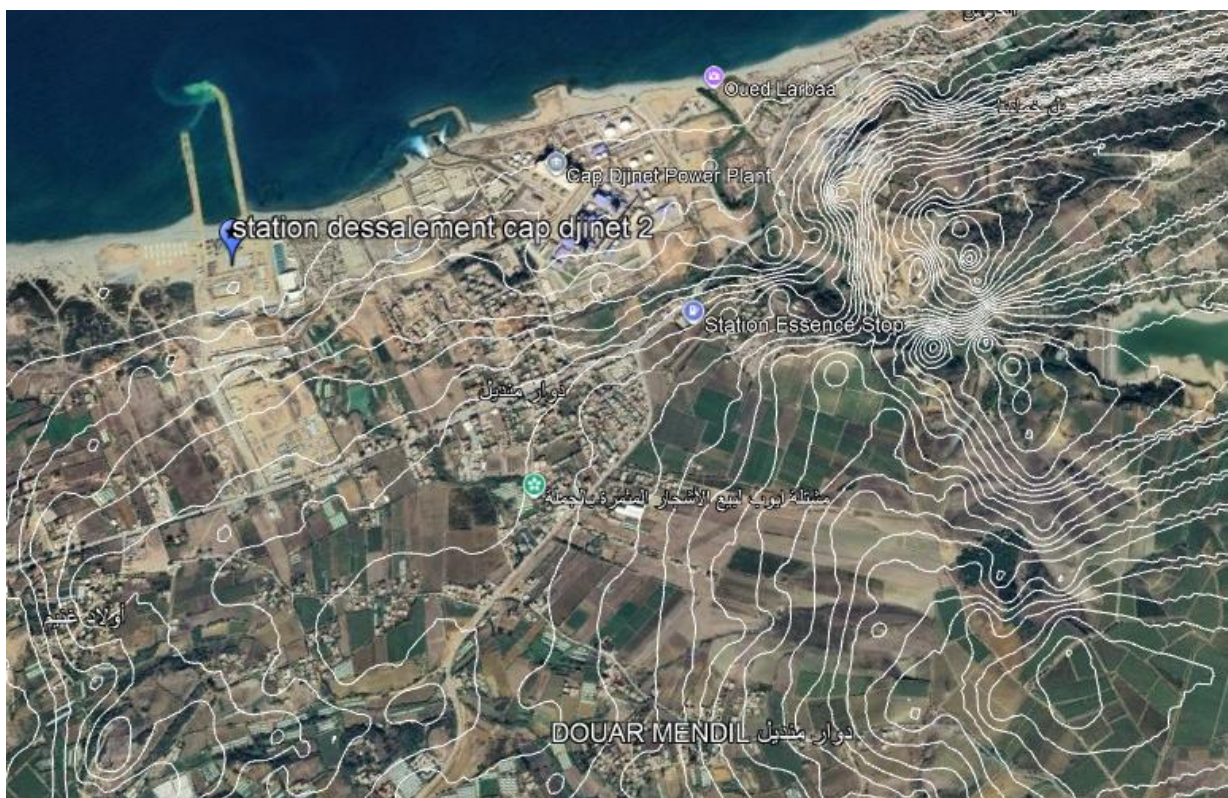


Figure II-2: plan de relief de zone d'étude

II.4 Température

Les données de température relevées en continu par la station de Dellys indiquent que les températures minimales moyennes mensuelles varient entre 12,1 °C en hiver (janvier) et atteignent jusqu'à 26,4 °C en moyenne en juillet. Les températures maximales enregistrées sont de l'ordre de 22,3 °C en hiver et peuvent atteindre 41,3 °C en été, ce qui correspond à une amplitude thermique d'environ 29 °C.

Le tableau de température a la zone de Dyless dans l'année 2021

Tableau II-1 : température a la zone de Dyless dans l'année 2021 [6]

Mois	jan	fev	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sepT	oct	nov	déc	moyenne
T max (°c)	25.3	28.2	22.3	24.8	28.7	34.4	41.3	35.7	36.9	30.5	27.7	23.4	29.93
T min (°c)	12.1	14.4	12.9	16.2	18.9	23.6	26.4	25.8	24.2	21.2	13.2	14.5	18.62
T moy (°c)	18.7	21.3	17.6	20.5	23.8	29	33.85	30.75	30.55	25.85	20.45	18.95	24.275

L'analyse du tableau ci-dessus met en évidence deux périodes climatiques distinctes :

- Une période chaude qui s'étend de juin à septembre, avec un pic de chaleur enregistré en juillet, le mois le plus chaud de l'année.
- Une période froide allant d'octobre à avril, marquée par des températures plus basses, avec un minimum enregistré en janvier, considéré comme le mois le plus froid.

On calcule l'indice de climat avec cette loi :

$$I = \frac{P}{T + 10} \quad (\text{II-1})$$

P : précipitation annuel

T : température moyenne

Application numérique :

$$I=21.88 > 0.75$$

Donc le climat de cette zone d'étude est humide

II.5 Conclusion

La station de dessalement de Cap Djinet 2, implantée dans une zone littorale au relief irrégulier et soumise à un climat méditerranéen humide, est vulnérable aux inondations provoquées par les fortes précipitations. Cette situation rend indispensable la mise en place de mesures de protection contre les crues afin de garantir la sécurité et la pérennité de l'infrastructure.

Chapitre III Etude hydrologique

III.1 Introduction :

Les études hydrologiques représentent une étape cruciale dans la protection des infrastructures vitales contre les aléas naturels, en particulier les inondations.

La présente étude a pour objectif d'analyser le système hydrologique entourant le site de station dessalement Cap djinet 2, en s'intéressant au comportement des précipitations et au ruissellement de surface au sein du bassin-versant. Cette analyse permet d'estimer le débit maximal potentiel ou débit de pointe susceptible de se produire lors d'épisodes pluviométriques extrêmes.

Plus spécifiquement, l'étude vise à déterminer le débit de crue de pointe le long du talweg principal de la rivière, en vue d'orienter les aménagements nécessaires à la protection de la station de dessalement.

III.2 Bassin versant

Un bassin-versant est la surface réceptrice des eaux pluviales qui alimentent un oued, un lac, une nappe souterraine, etc. Soit directement, soit indirectement par l'intermédiaire d'un affluent. [6]

Le bassin-versant constitue généralement l'unité spatiale de référence pour l'étude du cycle hydrologique et de ses impacts. [6]

Le bassin-versant est une unité naturelle cohérente et fermée, d'un point de vue hydrologique. Il est entièrement défini par son exutoire, car tout ce qui se passe à l'amont (pluie, ruissellement) influence le débit à ce point. C'est pourquoi on l'utilise comme base de calcul et d'analyse dans les études hydrologiques, la gestion des inondations.

En général, la ligne de partage des eaux suit les crêtes du relief, délimitant ainsi ce que l'on appelle un bassin-versant topographique.

III.3 Système d'information géographique SIG et l'hydrologie

Modéliser l'influence des variations des paramètres de gestion des aménagements sur le comportement hydrologique d'un bassin-versant reste un défi complexe, voire irréalisable, avec les méthodes traditionnelles d'estimation. Pour surmonter cette limite, le recours à des outils

modernes comme les Systèmes d'Information Géographique (SIG) offre une alternative efficace. [7]

Ces outils permettent de développer des modèles hydrologiques descriptifs adaptables à divers bassins-versants, sous réserve de compatibilité avec leur découpage spatial. Pour la gestion et l'aménagement hydrique, une représentation par bassin élémentaires simplifie la résolution des équations de bilan hydrique à différentes échelles, facilitant ainsi la modélisation globale du bassin. Cette approche flexible intègre efficacement les variations spatio-temporelles des composantes du cycle de l'eau. [7]

Grâce aux progrès des technologies numériques, il est désormais possible de modéliser précisément la topographie via les modèles numériques d'altitude et topographique (MNA/MNT) et de cartographier l'occupation des sols à l'aide d'imagerie aérienne ou satellitaire. [7]

Ces informations permettent désormais une modélisation précise des bassins-versants et une cartographie avancée de leur occupation du sol, améliorant la gestion hydrique et environnementale. [7]

III.4 Généralité sur les MNT

À partir des courbes de niveau ou d'images satellites analysées en 3D, on crée d'abord un modèle d'altitude (MNA) qui est ensuite transformé en modèle de terrain (MNT), permettant ainsi une visualisation précise du relief.

Le Modèle Numérique de Terrain (MNT) représente une modélisation digitale de la topographie, disponible sous deux formats principaux : matriciel (grille) ou vectoriel. Au-delà des simples données altimétriques (MNA), ce modèle intègre plusieurs paramètres géomorphologiques (Les pentes, L'orientation, L'éclairage simulé) [7]

Trois principales méthodes de discrétisation spatiale sont employées pour générer un MNA :

- Maillage régulier : Découpage en grille rectangulaire uniforme

- Réseau irrégulier (TIN) : Triangulation adaptative épousant les discontinuités du relief
- Approche hydrologique : Structuration basée sur les lignes de drainage et courbes de niveau.

Ces trois méthodes permettent d'extraire les caractéristiques topographiques essentielles (altitude, exposition, inclinaison, surface et courbure) qui conditionnent directement les paramètres hydrologiques et les mécanismes d'écoulement.

Pour notre étude, nous avons tout d'abord localisé précisément la zone d'intérêt (coordonnées 36°N, 3°E) à l'aide de Google Earth. Cette localisation correspond au fuseau UTM 31 Nord (zone 31N selon le système de référence WGS84). Le téléchargement des MNT s'effectuera sur des plateformes spécialisées, par exemple le site NASA SRTM Digital Elévation 30m.

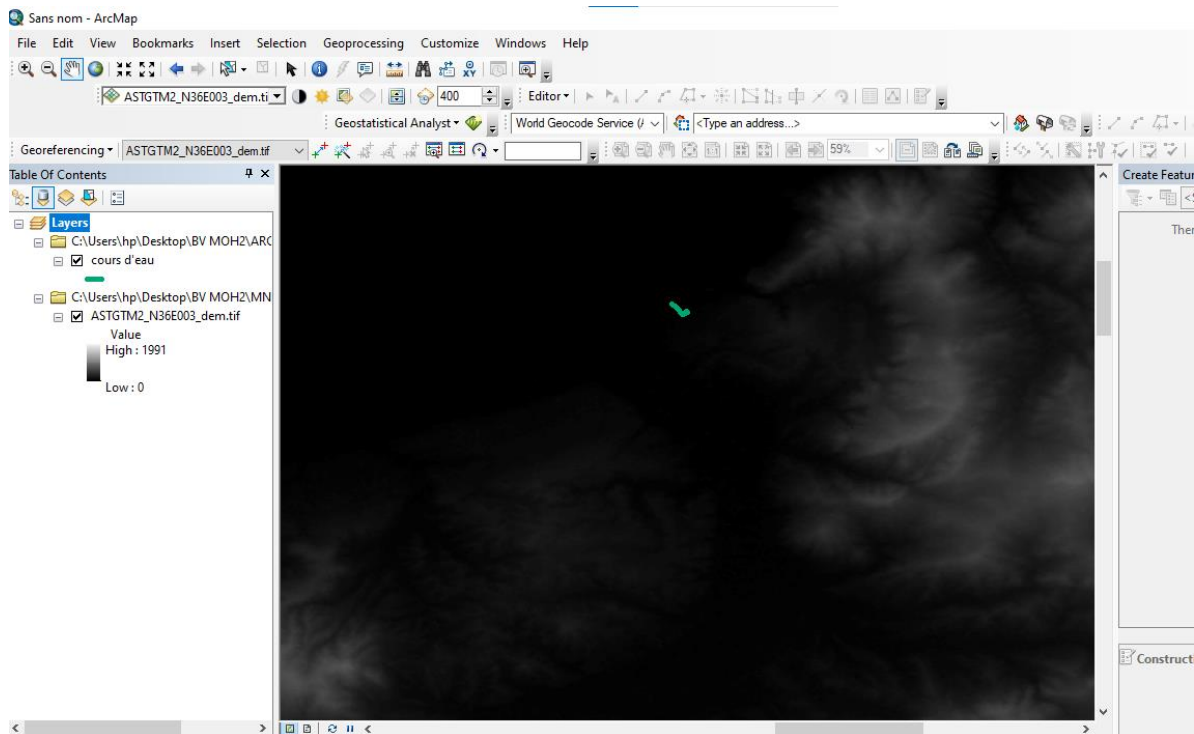


Figure III -1:MNT de la zone 31 nord sur ARC-GIS

Dans le cadre de notre étude, nous avons exploité le Modèle Numérique de Terrain (MNT) du fuseau 31 couvrant le Nord-Est algérien. Grâce à l'utilisation combinée :

- Des fonctionnalités d'analyse spatiale d'ArcGIS
- De la boîte à outils hydrologique

Le réseau hydrographique de bassin versant :

Le réseau hydrographique regroupe tous les cours d'eau (naturels/artificielle, permanents/temporaires). Composante clé du bassin-versant, sa structure varie selon la géomorphologie et les activités humaines, influençant directement les processus hydrologiques.

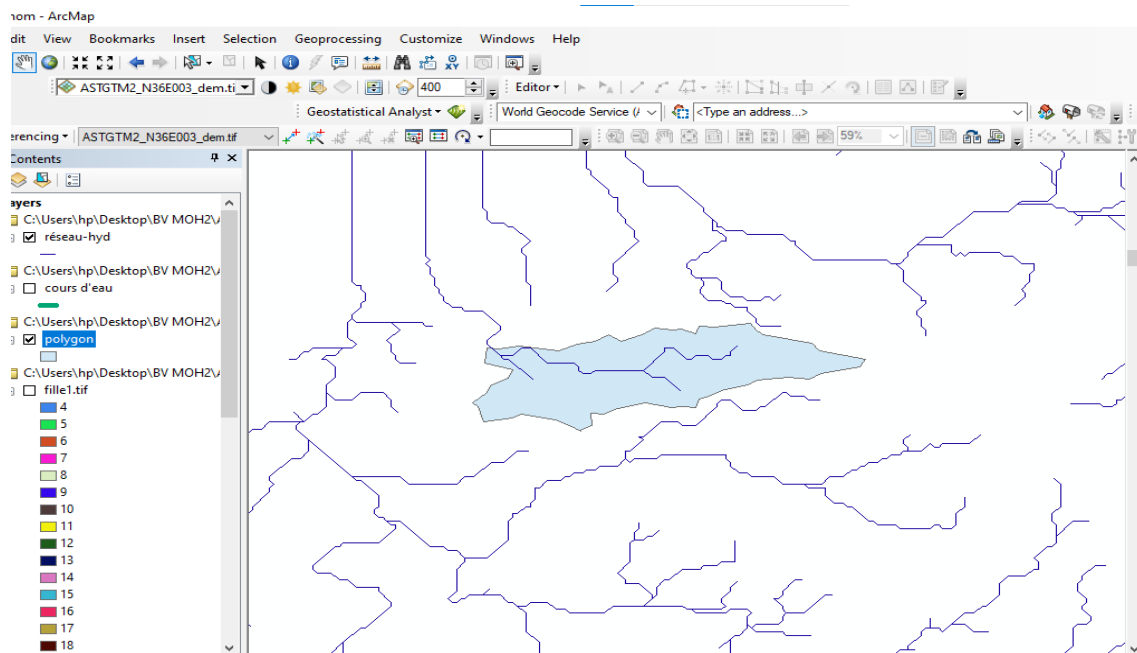


Figure III -2:la carte hydrographique de bassin versant

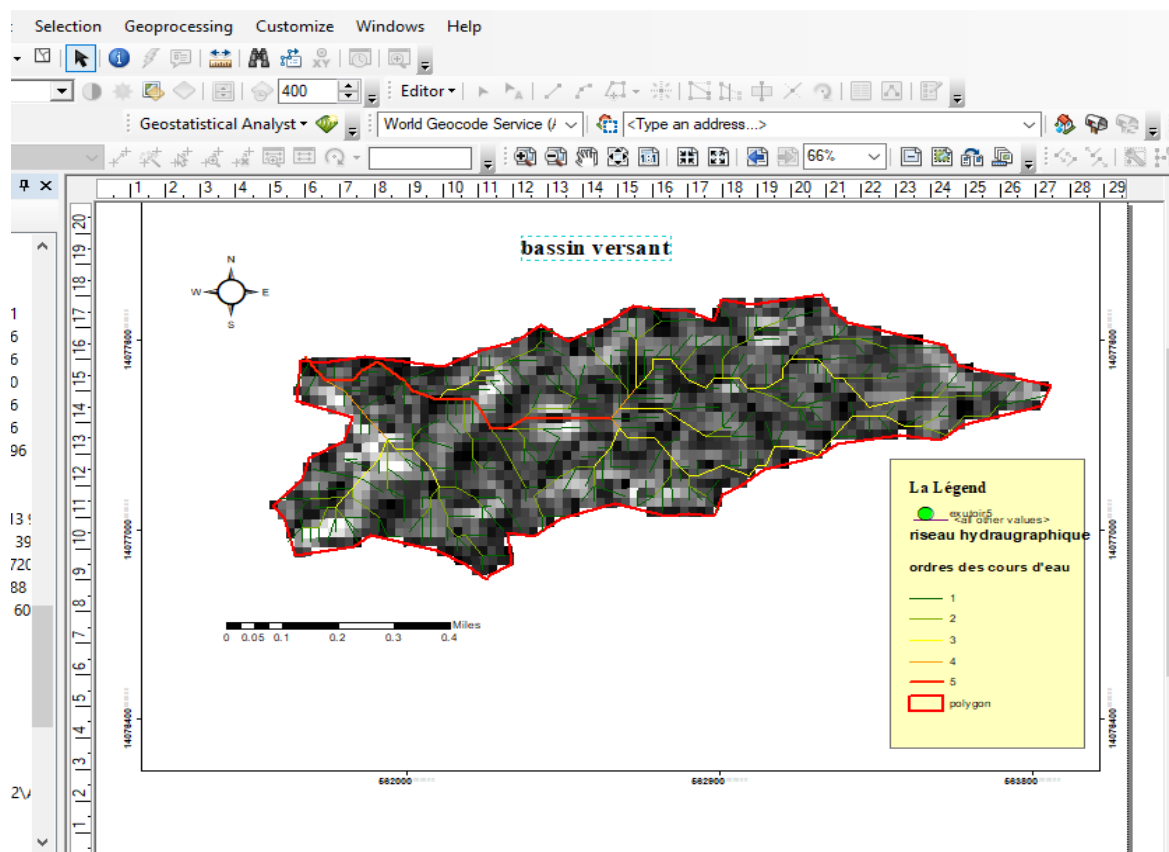


Figure III -3: bassin versant de station cap djinet 2

III.5 Les caractéristiques de BV

III.5.1 La surface

La surface de bassin versant est prise en compte, c'est la zone spécifique qui reçoit la pluie qui alimente les rivières. Les débits vont être en partie reliés à sa surface.

III.5.2 Périmètre

Le périmètre d'un bassin versant représente la limite extérieure qui le délimite. Chaque bassin possède une réaction spécifique face aux précipitations, en fonction de ses caractéristiques hydrologiques. Ces réactions dépendent à la fois du climat local (intensité et fréquence des pluies) et des conditions physiques du milieu (topographie, sol, végétation, etc.).

Le périmètre et la surface et peuvent être déterminés soit manuellement à l'aide d'un curvimètre, soit automatiquement avec ARC GIS :

$$P = 6 \text{ km}$$

$$S = 1.0717 \text{ km}^2$$

III.5.3 La forme

La forme du bassin versant (allongée, circulaire, triangulaire, etc.) a un impact direct sur la durée nécessaire pour que l'eau de pluie atteigne l'exutoire, c'est-à-dire sur le temps de concentration (T_c).

Plus un bassin est compact, plus son temps de concentration est court, ce qui augmente le risque de crue rapide. À l'inverse, un bassin de forme allongé ralentit l'écoulement, ce qui diminue l'intensité de la crue.

Pour connaître la forme d'un bassin versant, on utilise la loi de Gravelius, appelée aussi indice de compacité, qui permet d'évaluer la régularité ou l'allongement du bassin.

$$K_g = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (III -1)$$

K_g : indice de compacité de Gravelius

A : surface de bassin versant

P : périmètre de bassin versant

$K_g > 1$ la forme de bassin versant est allongée

$K_g = 1$ la forme de bassin circulaire

$$K_g = 1.568$$

Donc la forme de bassin étudié est allongée

III.5.4 Rectangle équivalent

Les dimensions, du bassin versant, on assimile ce dernier à un rectangle ayant la même superficie, le même périmètre et la compacité. Ce rectangle, appelé rectangle équivalent, est caractérisé par sa longueur (L_r en km) et sa largeur (l_r en km) qu'on peut calculer à l'aide des formules ci-dessous :

$$L_r = K_g \times \frac{\sqrt{A}}{1,128} \times \left(1 + \sqrt{1 - \left(1, \frac{128}{K_g}\right)^2}\right) \quad (III -2)$$

$$l_r = K_g \times \frac{\sqrt{A}}{1,128} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(1, \frac{128}{K_g}\right)^2}\right) \quad (III -3)$$

K_g : indice de compacité

A : la surface de bassin versant Km^2

AN :

la longueur équivalent de bassin versant est :

$$L = 2.438 Km$$

La largeur équivalent de bassin versant est :

$$l = 0.44 Km$$

III.5.5 La longueur de talweg principal

La longueur principale du talweg (ou longueur hydraulique) est la distance la plus longue que parcourt l'eau à l'intérieur d'un bassin versant vers l'exutoire.

Cette longueur est déterminée par le logiciel ARC GIS :

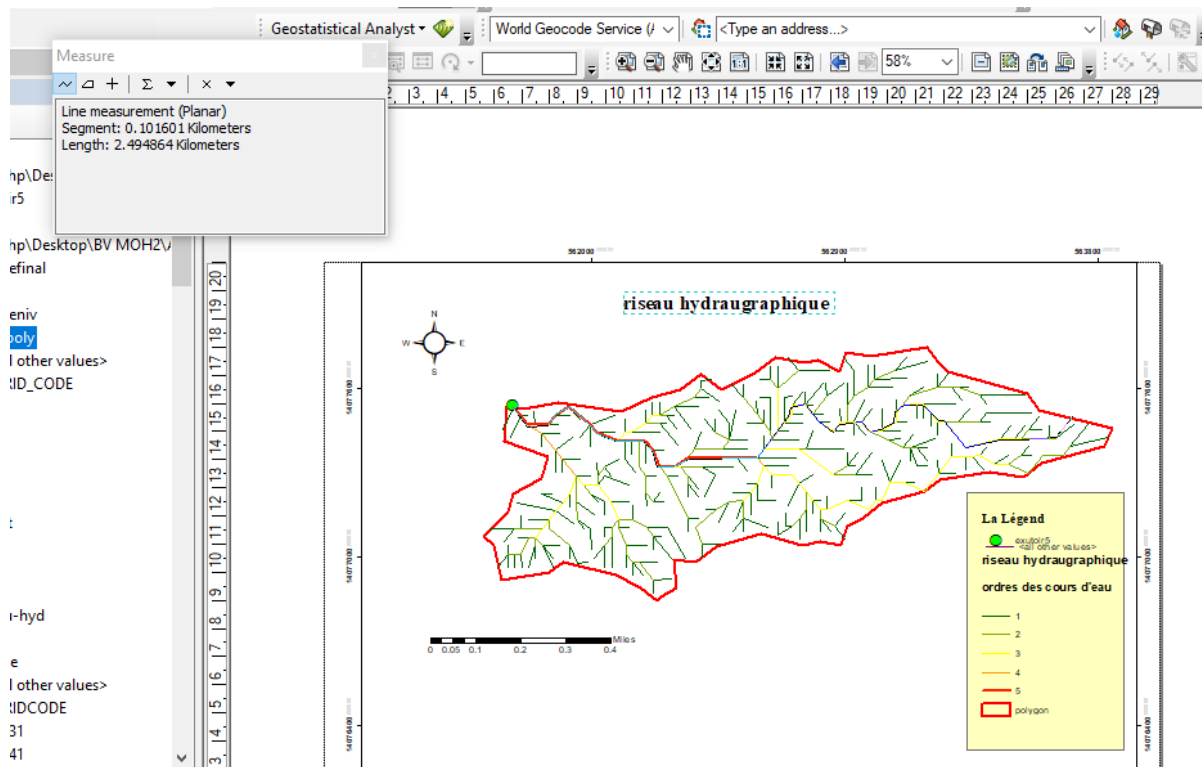


Figure III-4: réseau hydrologique

La longueur du talweg principale :

$$L=2.495\text{Km}$$

III.5.6 Coefficient d'allongement (Ca)

Le coefficient d'allongement (Ca) est un indice morphométrique qui caractérise la forme d'un bassin versant en comparant sa longueur maximale de talweg principal à sa surface. Il permet d'évaluer si le bassin est plutôt allongé (en forme de "rectangle") ou ramassé (proche d'un "cercle"), ce qui influence directement les temps de concentration des eaux et les risques hydrologiques.

$Ca \approx 1$: Bassin circulaire (temps de concentration court, risque de crues brutales).

$Ca > 1.5$: Bassin allongé (écoulement plus lent, atténuation des pics de crue)

Est calculer avec la formule :

$$Ca = \frac{L}{S^2} \quad (III-4)$$

L : longueur de talweg principal en Km

S : surface de BV en km²

$$Ca=4.17$$

Donc le bassin est allongé

III.5.7 La courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique constitue un outil fondamental pour l'analyse morphologique des bassins versants. Cette représentation graphique permet de caractériser la distribution altimétrique d'un bassin versant en mettant en relation les altitudes et les surfaces cumulées.

Nous avons utilisé le logiciel ArcGIS pour extraire les altitudes par classe d'élévation, en divisant la plage altimétrique en 9 intervalles égaux. Grâce à l'outil (Classify) de la boîte à outils, le logiciel a automatiquement calculé les surfaces partielles correspondant à chaque intervalle.

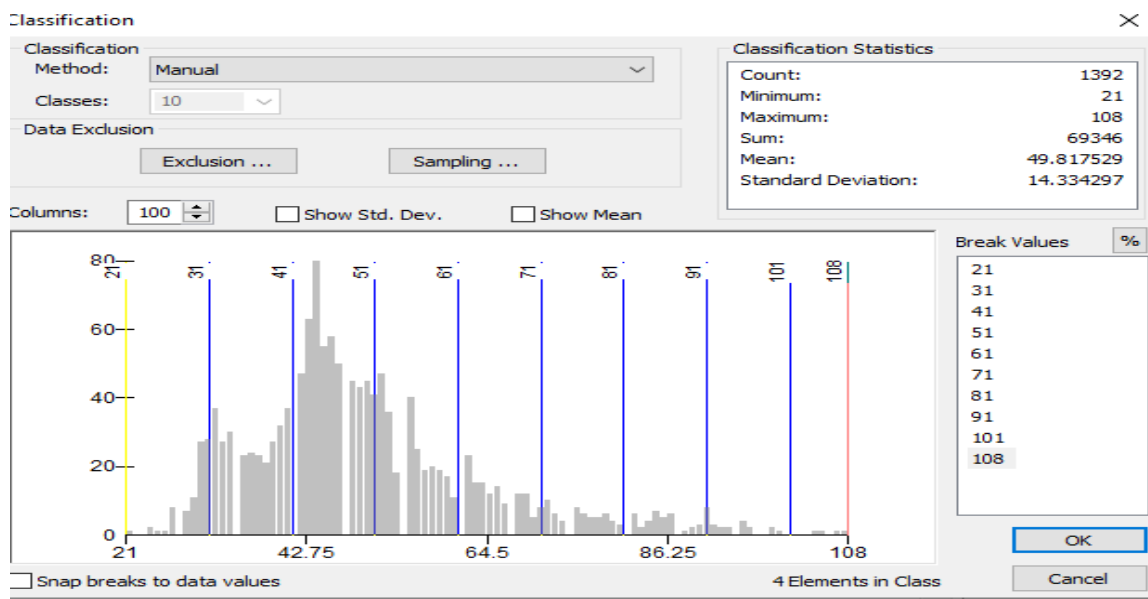


Figure III -5: classification des altitudes avec MNT sur ARC GIS

La figure ci-dessous présente la répartition des classes d'altitude et leur contribution proportionnelle à la superficie totale du bassin-versant.

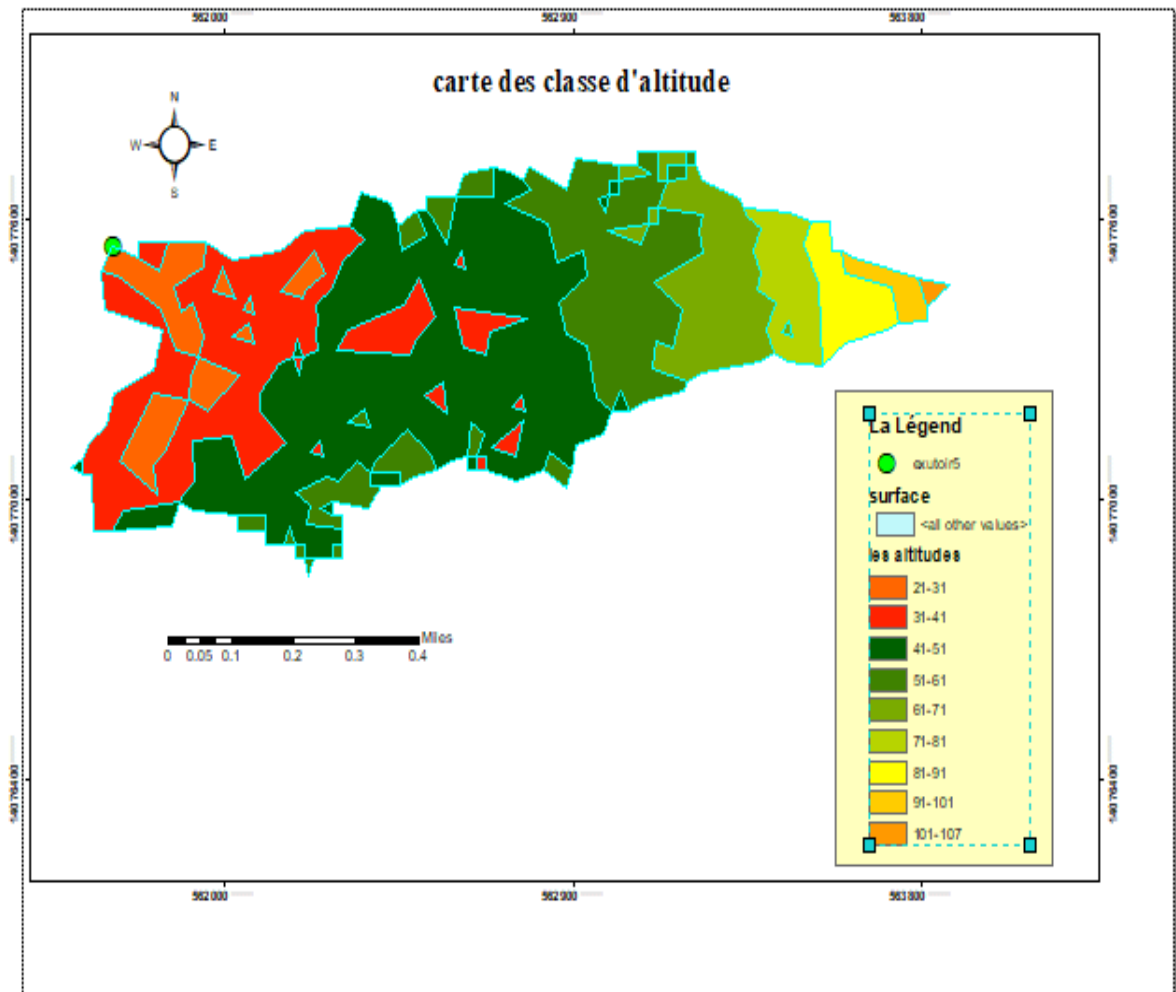


Figure III -6: les classe altitudes avec ARC GIS

Pour compléter l'analyse, j'ai utilisé Microsoft Excel afin de calculer les pourcentages des surfaces partielles. Ce tableau résume les résultats :

Tableau III -1: les surface cumulées

classe altitude	ΔH (m)	centre de classe H_i	surface partielles si km ²	surfaces partielles %	surface cumulée	$H_i * S_i$ (m*km ²)
21-31	10	26	0.0630	5.87%	100.00%	1.637
31-41	10	36	0.2295	21.42%	94.13%	8.264
41-51	10	46	0.4062	37.91%	72.71%	18.686
51-61	10	56	0.1877	17.52%	34.80%	10.514
61-71	10	66	0.0941	8.78%	17.28%	6.211
71-81	10	76	0.0420	3.92%	8.50%	3.195
81-91	10	86	0.0342	3.20%	4.58%	2.945
91-101	10	96	0.0125	1.16%	1.38%	1.196
101-107	6	104	0.0024	0.22%	0.22%	0.246
Somme			1.0717	100.00%		

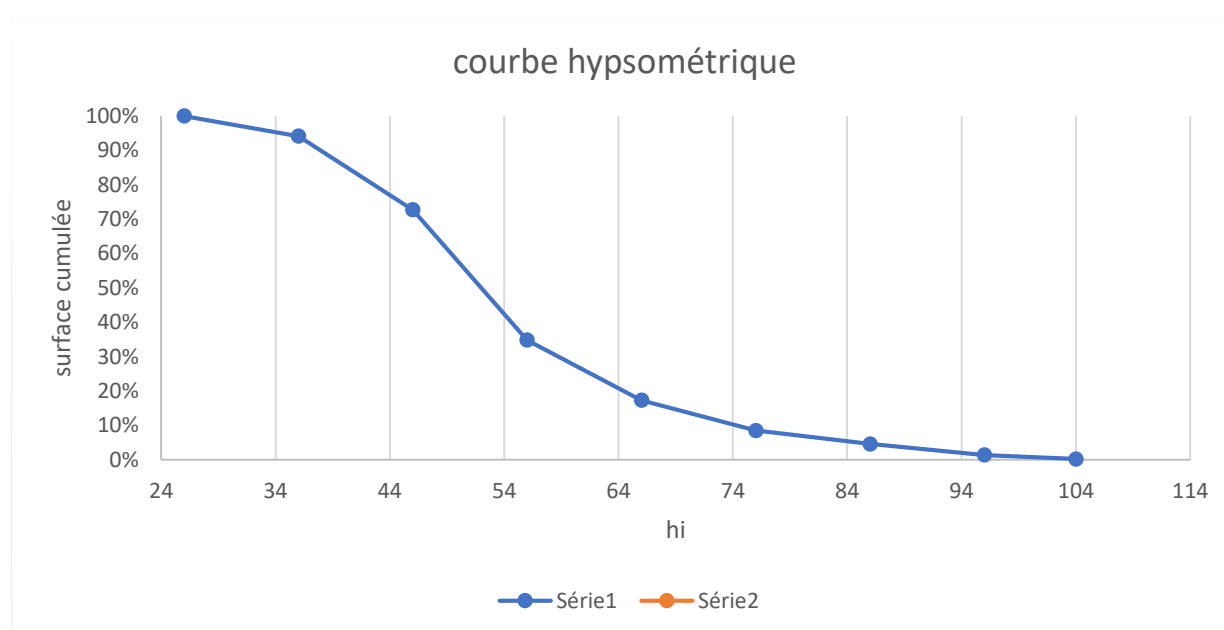


Figure III -7: la courbe hypsométrique de bassin versant

Les altitudes dans le tableau suivant :

Tableau III -2: les altitudes

altitude maximal m	altitude minimal m	altitude moyenne m	altitude médiane m
107	21	65.77	66

La pente moyenne de bassin versant

La pente moyenne est un paramètre clé caractérisant la topographie d'un bassin versant et influençant directement sa réponse hydrologique. Elle détermine le temps de concentration (T_c) et module les débits de pointe, avec des pentes fortes accélérant le ruissellement et intensifiant les crues

$$I_{moy} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} \quad (III -5)$$

H_{max} : altitude maximale

H_{min} : altitude minimal

L_p : longueur de talweg principal

A_n :

$$I_{moy}=0.034$$

III.5.8 Temps de concentration

Le temps de concentration (T_c) représente la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau parcoure l'ensemble du système hydrologique depuis le point le plus éloigné jusqu'à l'exutoire du bassin-versant.

On va calculer ce paramètre avec les cinq méthodes suivantes :

III.5.8.1 La formule de ANRH : (sogreah 1986/89)

Une formule spécifique a été élaborée par Sogreah à la demande de l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques). Validée scientifiquement et particulièrement, adaptée aux petits bassins versants algériens, cette équation s'exprime comme suit :

$$Tc = 3 * \left(\frac{S * L}{(10 * I)^{\frac{3}{2}}} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (III -6)$$

Tc : temps de concentration en h

S : surface de bassin versant en km²

I : la pente de talweg principal m/km

Lp : la longueur de talweg principal km

III.5.8.2 La formule de VENTURA :

Est utiliser pour les petits bassins versant l'exprime comme suite :

$$Tc = 7.62 * \left(\frac{S}{P} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (III -7)$$

S : surface de bassin versant en km²

P : périmètre de bassin versent en km

III.5.8.3 La formule de BAFENI :

Le temps de concentration est calculé par la formule suivante :

$$Tc = \frac{L}{Vc} \quad (III -8)$$

L : longueur de talweg principal en km

Vc : la vitesse de la concentration de la phase maximale de la crue en km/h

La vitesse est calculée comme suite :

$$Vc = 0.75 * S^{\frac{1}{5}} * I^{\frac{1}{3}} \quad (III -9)$$

Vc : la vitesse en km/h

S : la surface de bassin versant en km²

I : la pente de talweg principal en

III.5.8.4 La formule de CALIFORNIA :

Elle s'exprime comme suit :

$$Tc = \left(\frac{0.87 * L^3}{Hmax - Hmin} \right)^{0.386} \quad (III -10)$$

L : longueur de talweg principal en km

Hmax : altitude max de bassin versant en m

Hmin : altitude minimale de bassin versant

III.5.8.5 La formule de GIANDUTI :

Elle s'exprime comme suit :

$$Tc = \frac{1.5 * L + 4 * \sqrt{S}}{0.8 * \sqrt{Hmoy - Hmin}} \quad (III -11)$$

Hmoy : l'altitude moyenne de bassin versant en m

Hmin : l'altitude minimal de bassin versant en m

S : surface de bassin versant en km²

Les résultats obtenus par les quatre méthodes de calcul sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III -3 : Temps de concentration pour les différentes méthodes

temps de concentration					
ventura	anrh	bafeni	ccp	GIANDUTÉ	Tc moy (h)
0.679	0.429	1.008	0.489	1.850	0.891

Le tableau suivant les résultats des calculs des paramètres du bassin versant :

Tableau 0-4: les résultats des calculs des paramètres clés du bassin versant

caractéristique de BV	
Surface km ²	1.07
périmètre km	6
longueur talweg principal km	2.495
caractéristique de BV	
indice de compacité Kc Gravalier	1.567659314
longueur de rectangle km	2.4376
largeur de rectangle km	0.4396
coefficient d'allongement	2.172477869
altitude moyenne m	65.77
altitude max m	107
altitude min m	21
pente moyenne de BV m/m	0.034
Temps de concentration en h	0.891

III.6 La précipitation

Pour ajuster la série de données des précipitations maximales journalières de la zone de Dellys, à partir du tableau suivant, à une loi théorique, afin de déterminer l'intensité de pluie en fonction de la durée et de la période de retour.

Tableau III-5: Série de pluies maximal journalier (mm/j) de zone dylles

Années	p annuelle
1986	97.4
1987	101.4
1988	53.35
1989	91.6
1990	50.6
1991	61.9
1992	34.5
1993	100.7
1995	78.95
1996	42.95
1997	82.75
1998	60.25
1999	103.7
2000	73.1
2001	34.25
2002	116.25
2003	88.55
2004	58.25
2005	82.7
2006	161.95
2007	58.2
2008	85.55
2009	76.55
2010	91.55
2011	60.3

III.6.1 La pluviométrie

Pour dimensionner les ouvrages hydrotechniques. L'étude de la précipitation est importante dans toute analyse hydrologique, puisqu'elle permet de caractériser le régime pluviométrique et son influence sur les crues.

Les données utilisées nous ont été obtenue par l'Office National de la Météorologie (O.N.M) et l'Agence National des Ressources en Hydraulique (ANRH).

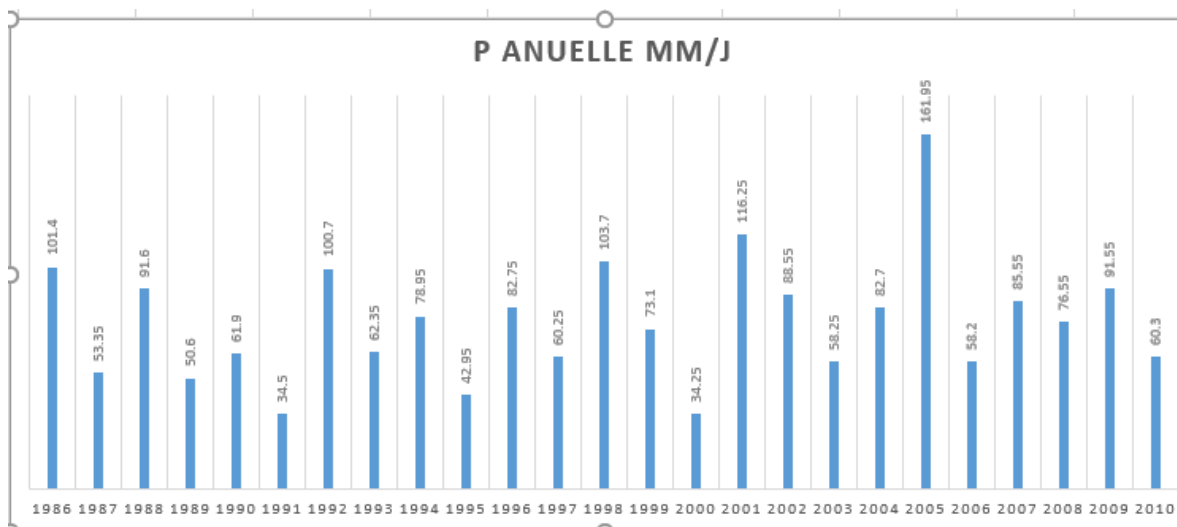


Figure III-8: hydrogramme des pluies maximal journalie

III.6.2 Les caractéristiques

- La moyenne : est une mesure statistique qui représente la valeur moyenne des précipitations enregistrées sur une période donnée. Elle est calculée par la formule :

$$P_{moy} = \frac{\sum pi}{n} \quad (III -12)$$

pi : précipitation maximal annuelle

P_{moy} : précipitation moyenne

n : nombre de série pluviométrique 25

- La médiane : est une mesure de précipitation qui divise les données en deux moitiés. Elle est calculée comme suite :

$$méd = \frac{(n+1)}{2} \quad (III-13)$$

- L'écart-type : c'est une mesure qui indique à quel point les précipitations sont réparties par rapport à la moyenne, Elle est calculée par la formule :

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (P_i - P_{moy})^2}{n}} \quad (III-14)$$

- Coefficient de variation : Il exprime l'écart-type en pourcentage de la moyenne, Elle est calculée comme suite :

$$Cv = \frac{\delta}{P_{moy}} \quad (III-15)$$

- Coefficient d'asymétrie : Il indique si les valeurs de la série sont principalement concentrées d'un côté de la moyenne, elle est calculée comme suite :

$$C_s = \left(\frac{\frac{1}{N-1} \sum (x_i - \bar{x})^3}{\sigma^3} \right)^2 \quad (III-16)$$

- Coefficient d'aplatissement : est une mesure statistique qui évalue la symétrie de la distribution des valeurs de précipitation série de données. et en calcule ce coefficient avec la formule suivante:

$$C_K = \frac{\frac{1}{N-1} \sum (x_i - \bar{x})^4}{\sigma^4} \quad (III-17)$$

Les caractéristiques de la série pluviométrique de Delyss dans le tableau suivant :

Tableau III-6 : Caractéristique de la série de données avec N=26

caractéristique	valeurs
année d'observation	26
minimum	34.25
maximum	161.95
moyenne	77.29
ecart type	27.96
médiane	77.75
coefficient de variation (cv)	0.36
coefficient d'asymétrie (cs)	0.96
coefficient d'aplatissement (CK)	4.08

La représentation des observations sur du papier normal ainsi que leur histogramme sont présentés dans les figures (0-9, 10)

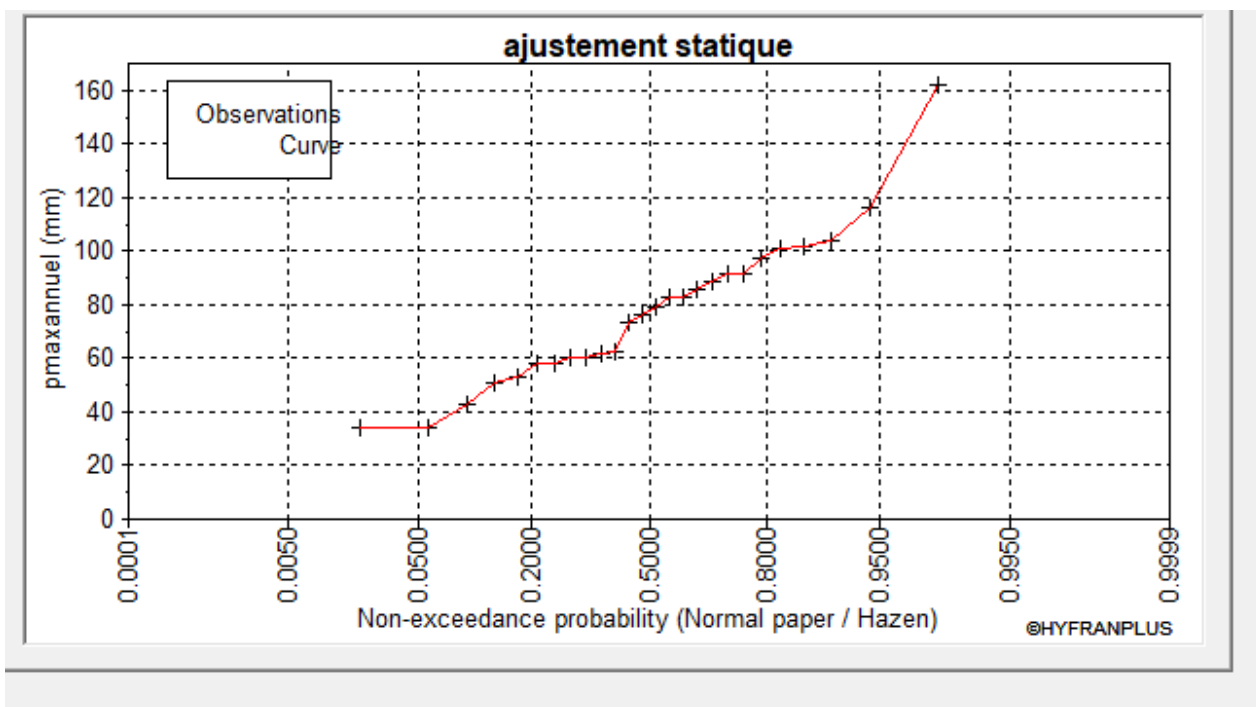


Figure III-9: représentation des observations sur papier normal

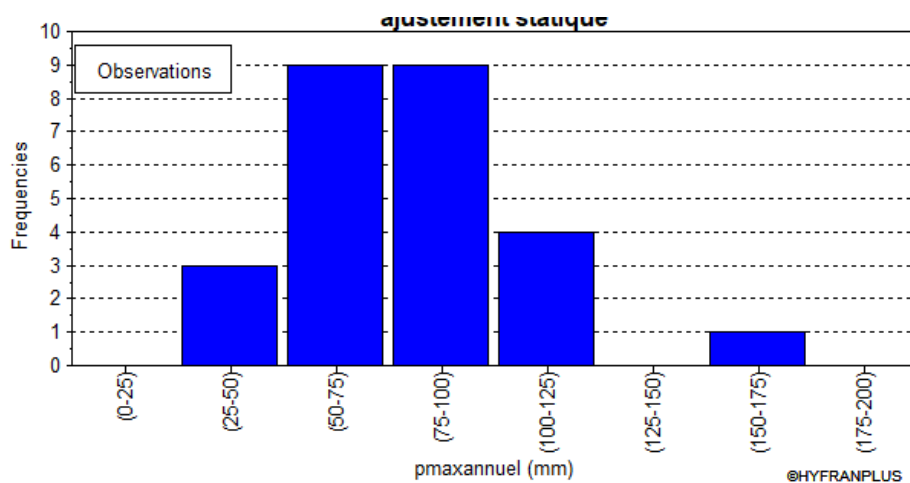


Figure III -10: histogramme des observations

III.6.3 Choix de la loi d'ajustement

Étant donné la diversité des méthodes d'ajustement des séries pluviométriques, l'efficacité d'une méthode d'estimation repose sur la distribution de probabilité choisie, la taille de l'échantillon et les caractéristiques spécifiques de cet échantillon, De nombreuses études

comparatives ont été réalisées pour identifier les conditions dans lesquelles chaque méthode d'estimation offre les meilleures performances pour une loi de probabilité spécifique. Les lois d'ajustement retenues sont les suivantes :

- Loi de GUMBEL
- Loi de GALTON (log normal)
- Loi normal (GAUSS)

III.6.3.1 Ajustement de la série a la loi de GUMBEL

La loi de GUMBEL : Le choix d'ajuster une distribution de Gumbel est pertinent pour modéliser des événements extrêmes, comme les maxima ou minima de variables aléatoires. Voici la méthodologie pour effectuer cet ajustement :

$$F(x) = e^{-e^{-y}} \quad (III -18)$$

Tel que

$$y = a(x - x_0) = -\ln(-\ln(F(x))) \quad (III -19)$$

Y : variable réduite de GUMBEL

X : précipitation maximal journalière (mm)

X0 : ordonné à l'origine

Les étapes d'ajustement :

1- Fréquence expérimental par la formule de HAZEN

$$F(x) = \frac{m - 0,5}{n} \quad (III -20)$$

ma : range de précipitation

n : taille d'échantillon (n=26)

2- La variable réduite de GUMBEL

$$Y = -\ln(-\ln(F(x))) \quad (III -21)$$

3- Les paramètres (a), (x0)

L'équation de

$$y = a(x - x_0) \quad (III -22)$$

Présenté sous la forme

$$P_{maxj} = x = \frac{y}{a} + x_0 \quad (III -23)$$

La pente de droite de GUMBEL

$$\frac{1}{a} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \times \sigma \quad (III -24)$$

Application numérique : $\frac{1}{a} = 0.78 \times 27.96 = 21.81$

l'ordonnée à l'origine :

$$x_0 = x - \frac{\bar{y}}{a} \quad (\text{III -25})$$

La moyenne de \bar{y}

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{N} \quad (\text{III -26})$$

Application numérique :

$$\bar{y} = 14.7246789/26 = 0.57$$

Donc :

$$x_0 = 77.29 - (21.81 \times 0.57) = 64.86$$

La droite de GUMBEL devient :

$$x = \frac{y}{a} + x_0 = 21.81y + 64.86 \quad (\text{III -27})$$

$$P_{maxj} = 21.81y + 64.86 \quad (\text{III -28})$$

Coefficient de corrélation :

$$Cc = \frac{\sum(xi - xb) * (yi - yb)}{\sqrt{\sum(yi - yb)^2 * \sum(xi - xb)^2}} \quad (\text{III -29})$$

Application numérique

$$\sum(xi - xb) * (yi - yb) = 858.94$$

$$\sum(yi - yb)^2 * \sum(xi - xb)^2 = 762904.3$$

$$Cc = \frac{858.94}{\sqrt{762904.3}} = 0.983 \approx 1$$

Donc la corrélation est bonne entre les pluies maximum journaliers et le variable réduite de GUMBEL

Période de retour

$$F(x_i) = 1 - \frac{1}{T} \quad (III -30)$$

Tableau III -7: les résultats d'ajustement par la loi de GUMBEL

T (ans)	Fxi	Pmaxj	écart-type	intervalle de confiance
1000	0.999	164	13.4	137 - 190
100	0.99	142.3	10.7	121.3 - 163.3
50	0.98	134.7	9.8	115.5 - 153.9
20	0.95	123.3	8.51	106.6 - 139.9
10	0.9	113.1	7.47	98.47 - 127.7
5	0.8	100.8	6.41	88.24 - 113.4
2	0.5	77.29	5.48	66.55 - 88.03

III.6.3.1.1 Test d'homogénéité :

Test d'adéquation de khi carrée

III.6.3.1.2 L'hypothèse :

H0 : La distribution sous-jacente de cet échantillon est Gumbel

H1 : La distribution sous-jacente de cet échantillon n'est pas celle de Gumbel

III.6.3.1.3 Résultats :

Khi carré : 3.62

P-value : 0.4606

Degré de liberté : DDL=4

Nombre de classe : 7

Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5%. La figure illustre l'ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL.

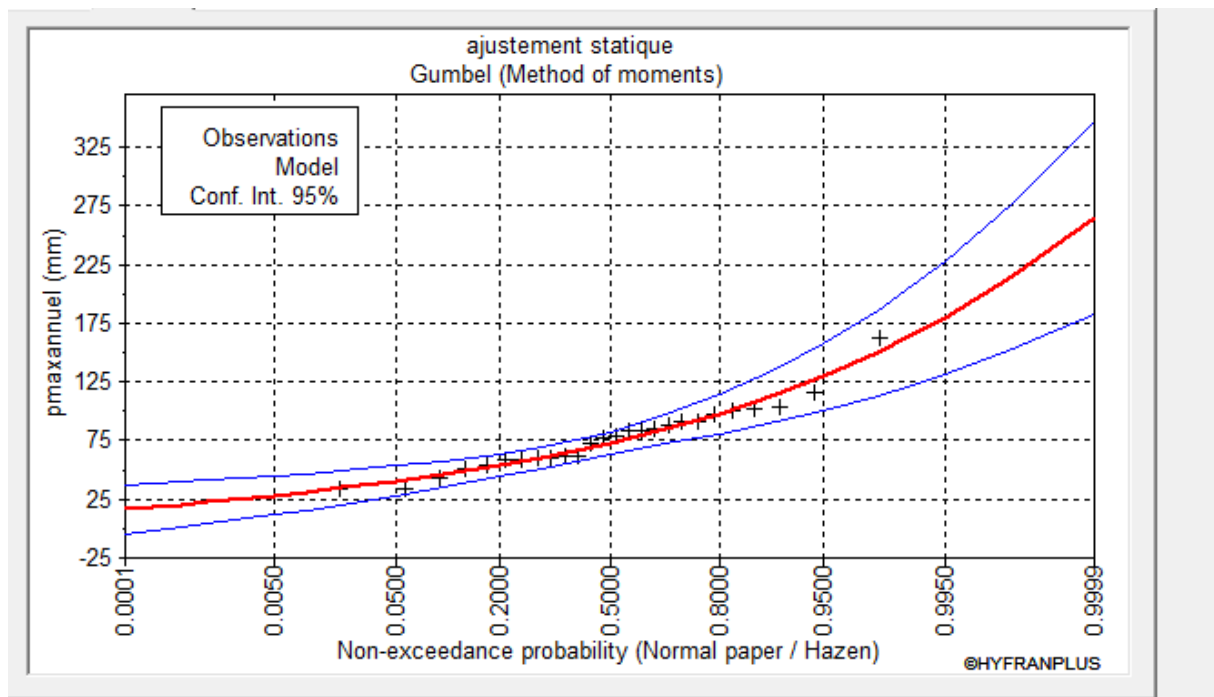


Figure III -11: ajustement à la loi de GUMBEL

III.6.3.2 La loi normal (GAUSS):

Est une méthode d'ajustement statistique qui repose sur l'hypothèse que les valeurs d'une série de données suivent une courbe en cloche (distribution gaussienne). Elle est souvent utilisée

pour modéliser des phénomènes naturels, y compris les précipitations. Varié a deux paramètres la moyenne et l'écart type

Voici la méthodologie pour effectuer cet ajustement :

La loi de GAUSS à une fonction de densité de probabilité :

$$Px = \frac{1}{\delta * \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-m}{\delta}\right)^2\right) \quad (III -31)$$

Px : Probabilité

m : espérance

δ : écart type

Gauss (maximum des varies semblances)

Nombre d'observation : 26

Les paramètres :

Mu : la moyenne 77.29

Sigma : l'écart type 27.93

Les résultat d'ajustement de la loi normal(GAUSS)

Tableau III-8 : les résultats d'ajustement par la loi de GAUSS

T (ans)	Fxi	Pmaxj	écart-type	interval de confiance
1000	0.999	164	13.4	137 - 190
100	0.99	142	10.7	121 - 163
50	0.98	135	9.8	116 - 154
20	0.95	123	8.51	107 - 140
10	0.9	113	7.47	98.5 - 128
5	0.8	101	6.41	88.3 - 113
2	0.5	77.3	5.48	66.6 - 88.1

III.6.3.2.1 Test d'homogénéité :

Test d'adéquation de khi carrée

- **L'hypothèse :**

H0 : La distribution sous-jacente de cet échantillon est normale.

H1 : La distribution sous-jacente de cet échantillon n'est pas normale.

- **Résultats :**

Khi carré : 4.69

P-value : 0.3203

Degré de liberté : DDL=4

Nombre de classe : 7

Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5%. La figure illustre l'ajustement de la série pluviométrique à la loi de GAUSS (normale).

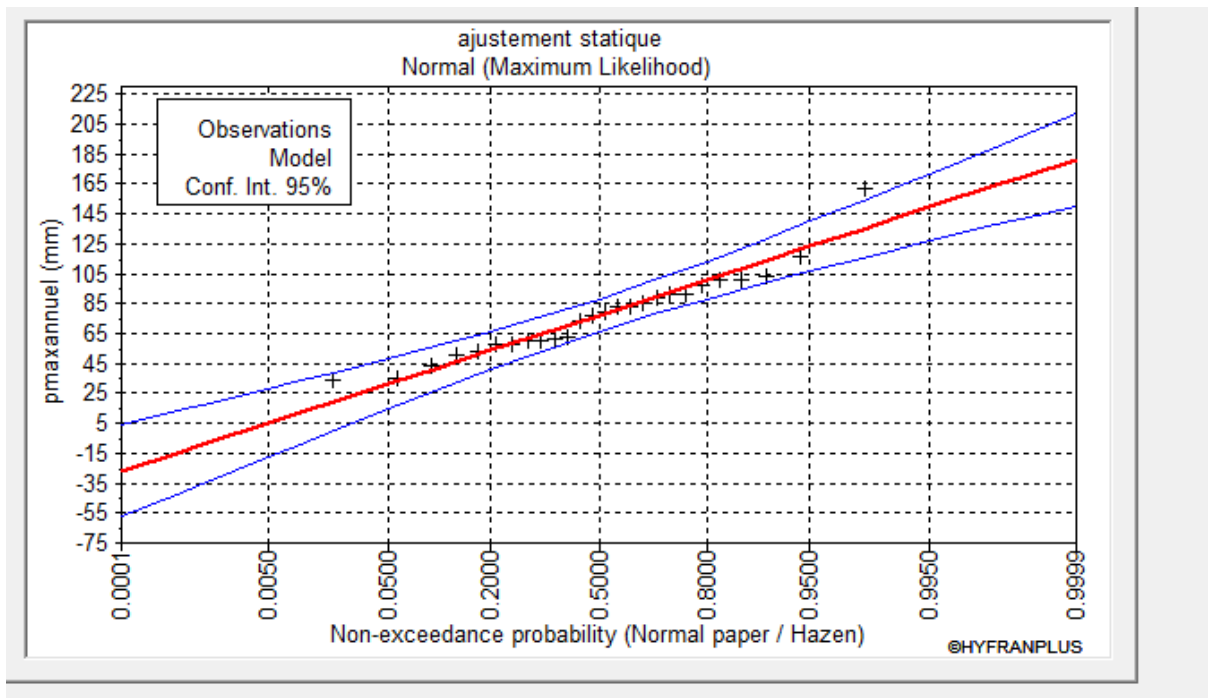


Figure III -12: Ajustement à la loi de GAUSS

III.6.3.3 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON :

$$Fp = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln p - pmoy)^2}{2\delta^2}\right) \tag{III -32}$$

δ : écart type

P : précipitation

Pmoy : la moyenne :

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

Nombre d'observation : 26

- Les paramètre :

La moyenne des valeurs logarithmique : 4.285

L'écart type des valeurs logarithmique : 0.366

Les résultat d'ajustement par la loi log normal :

Tableau III-9: les résultats d'ajustement par la loi log-normal

T (ans)	Fxi	Pmaxj	écart-type	interval de confiance
1000	0.999	225	39.6	148 - 303
100	0.99	170	23.9	123 - 217
50	0.98	154	19.8	115 - 193
20	0.95	133	14.8	104 - 162
10	0.9	116	11.4	93.9 - 138
5	0.8	98.8	8.31	82.5 - 115
2	0.5	72.6	5.22	62.4 - 82.8

III.6.3.3.1 Test d'homogénéité :

Test d'adéquation de khi carrée

- **L'hypothèse :**

H0 : La distribution sous-jacente de cet échantillon est lognormale.

H1 : La distribution sous-jacente de cet échantillon n'est pas lognormale.

- **Résultats :**

Khi carré : 3.62

P-value : 0.4606

Degré de liberté : DDL=4

Nombre de classe : 7

Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5%. La figure illustre l'ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON (Log normal).

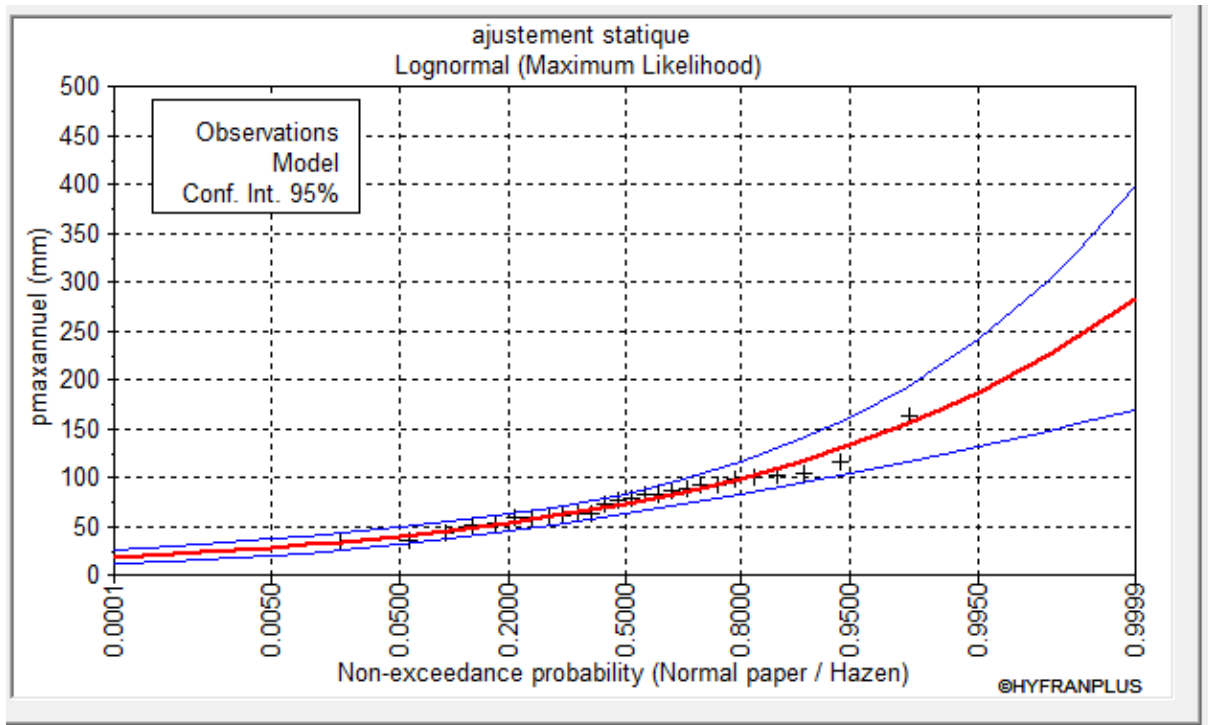


Figure III -13: Ajustement à la loi de GATLON

III.6.3.4 Comparaison entre les trois lois d'ajustement :

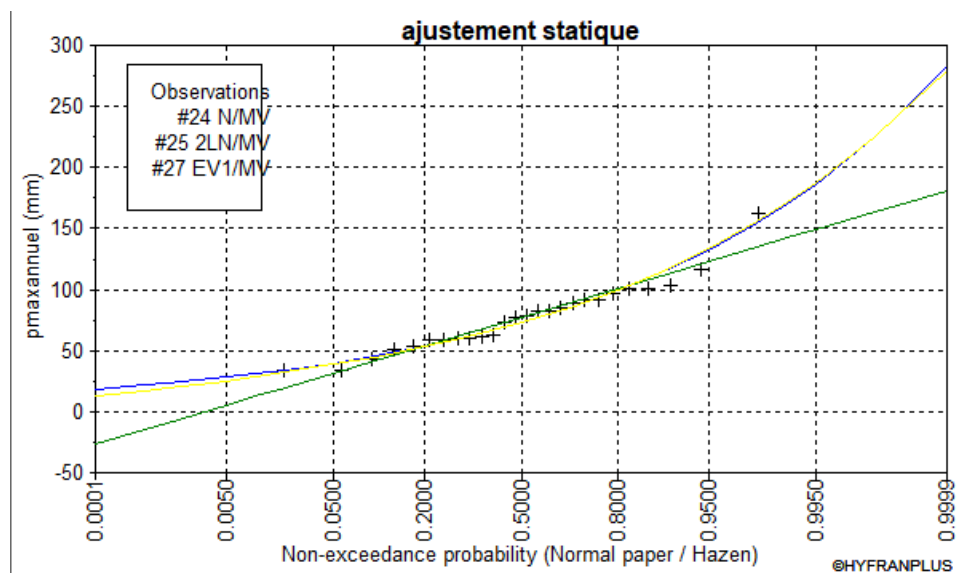


Figure III -14: Comparaison entre trois ajustement

En se référant aux graphes obtenus, par ces lois, celui de GUMBEL et GALTON et GAUSS, nous avons remarqué que l'ajustement issu de la loi de GALTON et GUEMBUL sont les meilleurs du moment que la position des données expérimentales sont plus proches de la droite théorique. Alors on opte pour la loi de GALTON (Log normal) et GUMBEL.

III.6.4 Pluie de courte durée et leurs intensités à différentes Fréquences

III.6.4.1 La pluie de courte durée à différentes Fréquences

La pluie de courte durée on va calculer avec cette loi

$$Pct = Pmaxj \times \left[\frac{t}{24} \right]^\beta \quad (III -33)$$

β : (L'exposant climatique) donnée par l'ANRH est 0.37

Pct : la pluie de courte duré

Pmaxj : la pluie maximale journalière

t : duré en heur

β : coefficient de Montana 0.37

III.6.4.2 L'intensité à différentes Fréquences :

Avec cette loi on va calculer l'intensité de pluie :

$$It = \frac{Pct}{t(h)} \quad (III -34)$$

It : intensité de pluie mm/h

Pct : la pluie de courte duré

t : duré en heur

Tableau III -11 : pluie courte durée et intensité maximal de durée t(h) et période de retour (ans)

période de retour	1000ans		100 NOR		50NOR		20NOR		10NOR		5NOR		2NOR	
	pc 1000	INT 1000	PC 100	INT 100	PC 50	INT 50	PC 20	INT 20	PC 10	INT 10	PC 5	INT 5	PC 2	INT 2
0.5	53.72	107.44	40.99	81.99	37.1	74.2	31.9	63.79	27.8 9	55.77	23.7 1	47.4 1	17. 39	34.7 8
0.782	63.39	81.06	48.37	61.85	43.7 8	55.98	37.6 4	48.13	32.9	42.08	27.9 7	35.7 7	20. 52	26.2 4
1	69.42	69.42	52.98	52.98	47.9 5	47.95	41.2 2	41.22	36.0 4	36.04	30.6 4	30.6 4	22. 47	22.4 7
2	89.72	44.86	68.47	34.23	61.9 7	30.98	53.2 7	26.64	46.5 7	23.29	39.5 9	19.8	29. 05	14.5 2
3	104.2 4	34.75	79.55	26.52	72	24	61.9	20.63	54.1 1	18.04	46	15.3 3	33. 75	11.2 5
4	115.9 5	28.99	88.48	22.12	80.0 8	20.02	68.8 5	17.21	60.1 9	15.05	51.1 7	12.7 9	37. 54	9.38
5	125.9 3	25.19	96.1	19.22	86.9 7	17.39	74.7 7	14.95	65.3 7	13.07	55.5 7	11.1 1	40. 77	8.15
6	134.7 2	22.45	102.8	17.13	93.0 4	15.51	79.9 9	13.33	69.9 3	11.66	59.4 5	9.91	43. 61	7.27
7	142.6 2	20.37	108.8 4	15.55	98.5 1	14.07	84.6 9	12.1	74.0 4	10.58	62.9 4	8.99	46. 17	6.6
8	149.8 5	18.73	114.3 5	14.29	103. 49	12.94	88.9 8	11.12	77.7 9	9.72	66.1 3	8.27	48. 51	6.06
9	156.5 2	17.39	119.4 4	13.27	108. 1	12.01	92.9 4	10.33	81.2 5	9.03	69.0 7	7.67	50. 67	5.63
10	162.7 4	16.27	124.1 9	12.42	112. 4	11.24	96.6 3	9.66	84.4 8	8.45	71.8 2	7.18	52. 69	5.27
11	168.5 9	15.33	128.6 5	11.7	116. 44	10.59	100. 1	9.1	87.5 1	7.96	74.3 9	6.76	54. 58	4.96
12	174.1	14.51	132.8 6	11.07	120. 25	10.02	103. 38	8.61	90.3 8	7.53	76.8 3	6.4	56. 36	4.7
13	179.3 3	13.79	136.8 5	10.53	123. 86	9.53	106. 48	8.19	93.0 9	7.16	79.1 4	6.09	58. 06	4.47
14	184.3 2	13.17	140.6 6	10.05	127. 3	9.09	109. 44	7.82	95.6 8	6.83	81.3 4	5.81	59. 67	4.26
15	189.0 9	12.61	144.2 9	9.62	130. 6	8.71	112. 27	7.48	98.1 6	6.54	83.4 4	5.56	61. 21	4.08
16	193.6 6	12.1	147.7 8	9.24	133. 75	8.36	114. 99	7.19	100. 53	6.28	85.4 6	5.34	62. 69	3.92
17	198.0 5	11.65	151.1 3	8.89	136. 79	8.05	117. 6	6.92	102. 81	6.05	87.4	5.14	64. 11	3.77
18	202.2 8	11.24	154.3 6	8.58	139. 71	7.76	120. 11	6.67	105. 01	5.83	89.2 6	4.96	65. 49	3.64
19	206.3	10.86	157.4	8.29	142. 53	7.5	122. 54	6.45	107. 13	5.64	91.0 7	4.79	66. 81	3.52
20	210	11	161	8	145	7	125	6	109	5	93	5	68	3
21	214	10	163	8	148	7	127	6	111	5	95	5	69	3
22	218	10	166	8	150	7	129	6	113	5	96	4	71	3
23	221	10	169	7	153	7	132	6	115	5	98	4	72	3
24	225	9	172	7	155	6	134	6	117	5	99	4	73	3

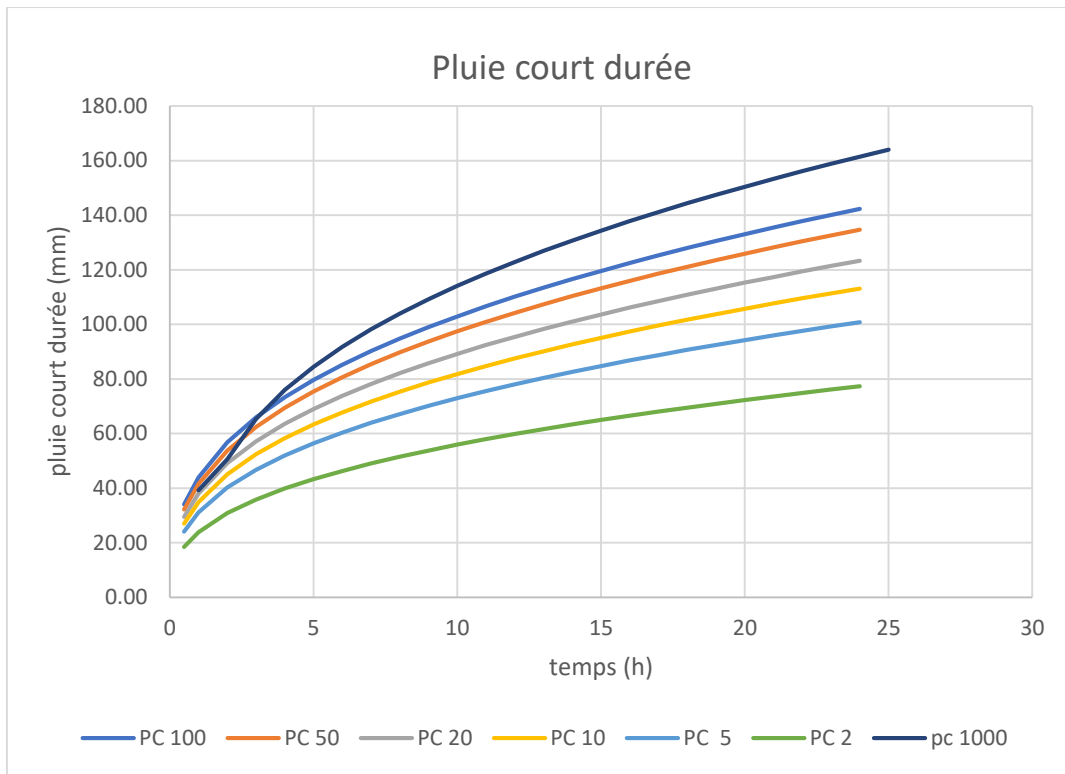


Figure III -15: courbe pluie de courte durée fréquentielle

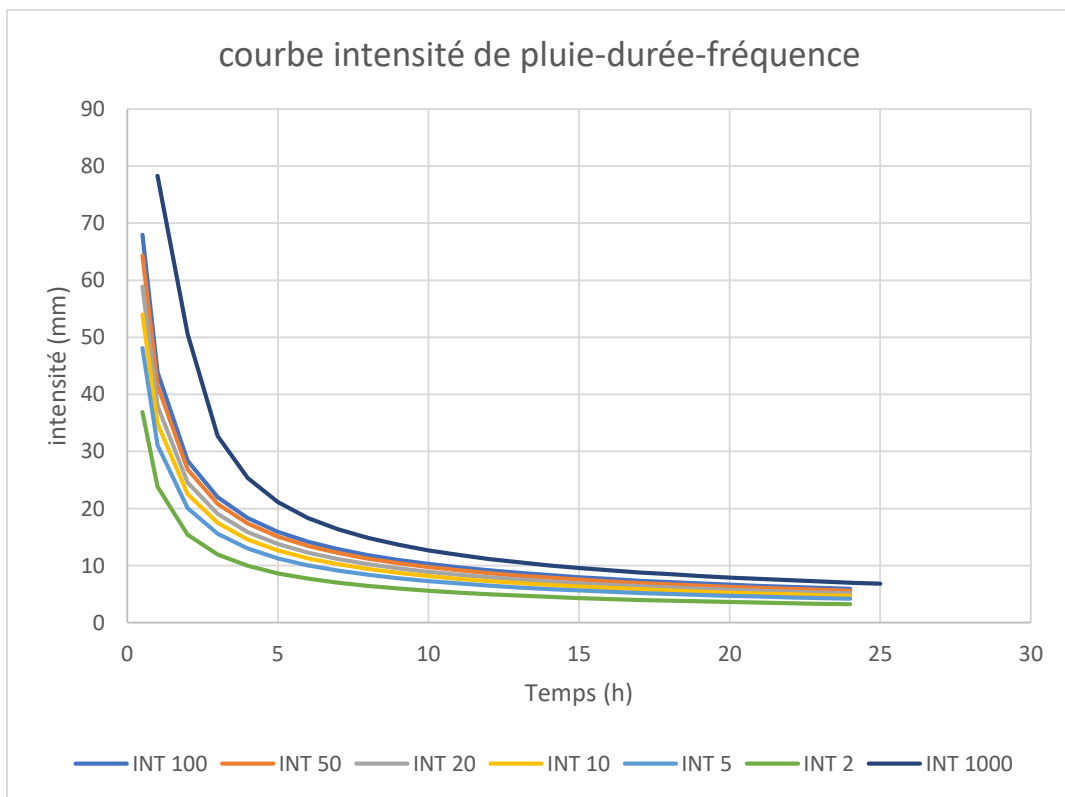


Figure III -16: courbe intensité de pluie-durée-fréquence

III.7 Etude de crue

Les crues, caractérisées par des débits exceptionnels dans les bassins versants, résultent de l'interaction de plusieurs facteurs hydrologiques et morphologiques. L'intensité, le temps de concentration des pluies jouent un rôle déterminant, tout comme la topographie et les propriétés du bassin. En Algérie, cette dynamique est particulièrement marquée dans les Oueds, où le régime hydrologique passe brutalement de périodes d'étiage (débits nuls) à des crues violentes et soudaines, principalement déclenchées par des précipitations abondantes. Cette forte variabilité rend essentiel le recours à différentes méthodes de calcul pour estimer et prévoir ces événements extrêmes.

Les crues se caractérisent par des écoulements à forts débits, dont l'étude vise à déterminer les hydrogrammes fréquentiels et les débits maximaux probables sur un bassin versant. Ces événements dépendent de plusieurs paramètres clés :

- Le temps de concentration.
- Le débit de pointe.
- La forme de l'hydrogramme (la montée, la décrue).

III.7.1 Débit de pointe

La valeur maximale du débit d'eau (en m^3/s) mesurée ou estimée à un exutoire de bassin-versant, lors d'un épisode pluvieux ou d'une crue.

Pour déterminer le débit maximal (Q_p), l'approche consiste à analyser les précipitations les intensités sur une durée critique correspondant au temps de concentration (T_c) du bassin-versant.

Donc on applique ces formules suivantes :

III.7.2 Le débit de pointe max

Notre étude utilise des formules empiriques adaptées aux bassins aux oueds algériens pour calculer le débit maximal (Q_{max}). Ces méthodes relient simplement les caractéristiques

du bassin (superficie, pente, pluie) au débit de pointe. Nous appliquons trois approches complémentaires suivantes :

III.7.2.1 La formule de GIANDOTTI

$$Q_{max} = C * S * \sqrt{\frac{(H_{moy} - H_{min})}{4 * \sqrt{S} + 1.5 * L}} * P_{tc} \quad (III -35)$$

C : coefficient topographique varie de 130 à 160 et on prend 145

S : surface de bassin versant en km²

L : longueur de talweg principal km

H_{moy} : altitude moyenne de BV en m

H_{min} : altitude minimal de BV en m

P_{tc} : pluie fréquentielle de courte durée, correspondant au temps de concentration en (m)

III.7.2.2 La formule SKOLOVESKY

$$Q_{max} = 0.28 * P_{tc} * S * F * \frac{C_r}{T_c} \quad (III -36)$$

P_{tc} : pluie fréquentielle de courte durée, correspondant au temps de concentration en (m)

S : surface de bassin versant en km²

C_r : coefficient de ruissellement 0.65

T_c : temps de concentration en h

F : coefficient de forme qui dépend de la forme de l'hydrogramme de crue est 1.2 .

III.7.2.3 La formule de TURUZA :

$$Q_{max} = \frac{1}{3.6} * I_t * C * S \quad (III-37)$$

I_t : intensité de pluie en mm/h

S : surface de BV en km²

C_r : coefficient de ruissellement 0.65

Les résultats dans le tableau suivant :

Tableau III -12: les débits de point max m³/s

formule	M samie	TURUZA	SOKOLOVSKY	gianduti	débit moyenne m ³ /s
débit m ³ /s	1.52	14.49	19.87	19.66	13.88
	1.15	11.01	15.09	14.94	10.55
	1.04	9.96	13.66	13.52	9.55
	0.90	8.56	11.74	11.62	8.21
	0.78	7.49	10.27	10.16	7.18
	0.67	6.36	8.73	8.64	6.10
	0.49	4.67	6.40	6.34	4.47

III.7.3 Hydroramme de crue

L'hydrogramme de crue illustre l'évolution du débit d'un cours d'eau en fonction du temps. Il permet d'identifier les principales caractéristiques de la crue, telles que sa forme, son volume, le temps de monter et le temps de décrue.

Dans cette étude, la forme de l'hydrogramme est déterminée à partir de deux formules empiriques. L'une modélisant la phase de montée, l'autre celle de la décrue.

III.7.3.1 La montée

$$Q_m = Q_{max} * \left(\frac{t}{t_m}\right)^m \quad (III-38)$$

Q_{max} : débit de pointe en m^3/s

T_m : T_c temps de montée ou temps de concentration en h

La décrue :

$$Q_d = Q_{max} * \left(\frac{t_b - t}{t_d} \right)^n \quad (III -39)$$

T_b : temps de base

T_d : temps de la décrue

Sont calculer comme suivent

$$t_d = t_c * \gamma \quad (III -40)$$

$$t_b = (\gamma + 1) * t_m \quad (III -41)$$

γ : Le coefficient γ est estimé en fonction de la taille du cours d'eau.

Tableau III -13: Description du cours d'eau

Description du cours d'eau	γ
Petite cours d'eau	2 à 2.5
Moyenne cours d'eau	3 à 3.5
Grand cours d'eau	4 à 7

m, n : puissance des équations $m = 2, n = 3$

III.7.3.2 Les paramètres pour déterminer le hydrogramme de crue

Les paramètres de hydrogramme de crue dans le tableau suivant :

Tableau III -14: les paramètres de hydrogramme de crue

tc	tb	td	
0.891	4.01	3.12	3.5

Les débits de crue correspondant aux différentes périodes de retour du bassin-versant sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau III -15 : Débit de crue pour déférence période de retour en m³/s

t en h	Débit de crue pour déférence période de retour						
	1000ans	100ans	50ans	20ans	10ans	5ans	2ans
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1	0.25	0.19	0.17	0.15	0.13	0.11	0.08
0.2	1.00	0.76	0.69	0.59	0.52	0.44	0.32
0.3	2.25	1.71	1.55	1.33	1.16	0.99	0.73
0.4	4.00	3.04	2.75	2.37	2.07	1.76	1.29
0.5	6.26	4.75	4.30	3.70	3.23	2.75	2.02
0.6	9.01	6.84	6.19	5.32	4.66	3.96	2.90

Tableau III -16 : Débit de crue pour déférence période de retour en m³/s (suit)

t en h	Débit de crue pour déférence période de retour						
	1000ans	100ans	50ans	20ans	10ans	5ans	2ans
0.7	12.26	9.31	8.43	7.25	6.34	5.39	3.95
0.75	14.08	10.69	9.68	8.32	7.28	6.19	4.53
0.8	16.02	12.17	11.01	9.46	8.28	7.04	5.16
0.85	18.08	13.73	12.43	10.68	9.35	7.95	5.82
0.891	19.87	15.09	13.66	11.74	10.27	8.73	6.40
0.9	19.68	14.95	13.53	11.63	10.17	8.65	6.34
1	17.84	13.55	12.27	10.54	9.22	7.84	5.75
1.1	16.12	12.24	11.08	9.53	8.33	7.08	5.19
1.2	14.52	11.02	9.98	8.58	7.50	6.38	4.68
1.3	13.02	9.89	8.95	7.69	6.73	5.72	4.19
1.4	11.63	8.83	8.00	6.87	6.01	5.11	3.75
1.5	10.35	7.86	7.11	6.11	5.35	4.55	3.33
1.6	9.16	6.95	6.30	5.41	4.73	4.02	2.95
1.4	11.63	8.83	8.00	6.87	6.01	5.11	3.75
1.5	10.35	7.86	7.11	6.11	5.35	4.55	3.33
1.6	9.16	6.95	6.30	5.41	4.73	4.02	2.95
1.7	8.06	6.12	5.54	4.76	4.17	3.54	2.60
1.4	11.63	8.83	8.00	6.87	6.01	5.11	3.75
1.4	11.63	8.83	8.00	6.87	6.01	5.11	3.75
1.5	10.35	7.86	7.11	6.11	5.35	4.55	3.33
1.6	9.16	6.95	6.30	5.41	4.73	4.02	2.95
1.7	8.06	6.12	5.54	4.76	4.17	3.54	2.60
1.8	7.06	5.36	4.85	4.17	3.65	3.10	2.27
1.9	6.15	4.67	4.23	3.63	3.18	2.70	1.98
2	5.31	4.03	3.65	3.14	2.75	2.33	1.71
2.1	4.56	3.46	3.13	2.69	2.36	2.00	1.47
2.2	3.88	2.95	2.67	2.29	2.01	1.70	1.25
2.3	3.27	2.48	2.25	1.93	1.69	1.44	1.05
2.4	2.73	2.07	1.88	1.61	1.41	1.20	0.88
2.5	2.25	1.71	1.55	1.33	1.16	0.99	0.73
2.6	1.83	1.39	1.26	1.08	0.95	0.81	0.59
2.7	1.47	1.12	1.01	0.87	0.76	0.65	0.47
2.8	1.16	0.88	0.80	0.68	0.60	0.51	0.37
2.9	0.89	0.68	0.62	0.53	0.46	0.39	0.29
3	0.67	0.51	0.46	0.40	0.35	0.30	0.22
3.1	0.49	0.37	0.34	0.29	0.25	0.22	0.16
3.2	0.35	0.26	0.24	0.21	0.18	0.15	0.11
3.3	0.23	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10	0.08
3.4	0.15	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.05
3.5	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03
3.6	0.05	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01
3.7	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
3.8	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

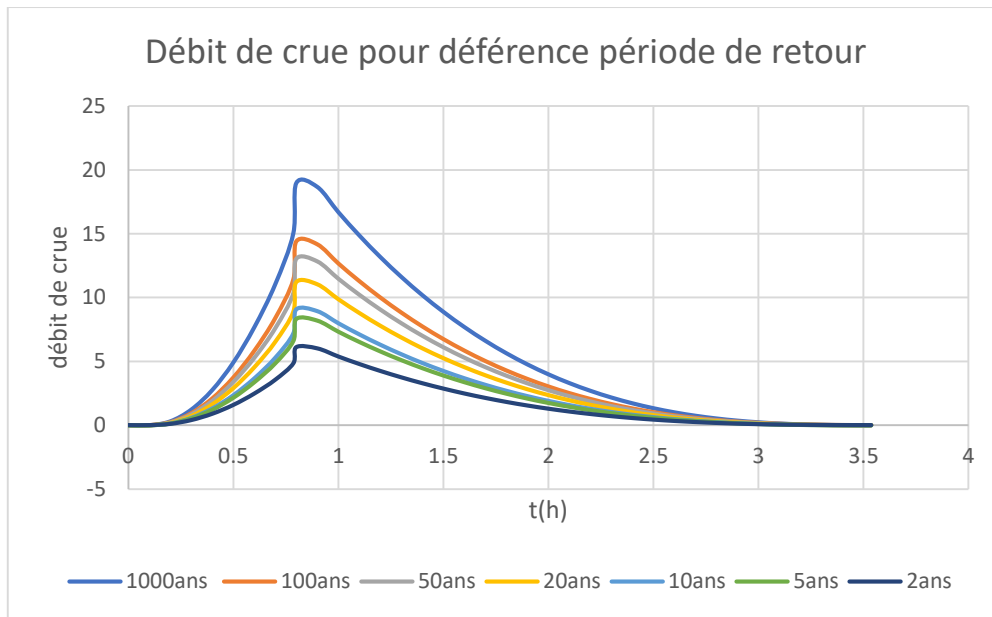


Figure III -17 : hydrogramme de crue

Les débits sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III -17: les débit obtenue

période de retour	Débit en m3/s
1000 ans	19.78
100 ans	15.09

III.8 Conclusion

Ce chapitre avait pour objectif d’analyser les caractéristiques hydrologiques du bassin-versant, notamment le débit de crue, afin de mieux comprendre son influence sur le cours d’eau et de proposer un aménagement adapté de la vallée.

Chapitre IV Modalisation HEC-RAS

IV.1 Introduction

La modélisation des rivières est une tâche délicate qui nécessite une bonne connaissance du terrain et du comportement de l'eau.

Pour créer un modèle hydraulique, on a besoin de plusieurs types de données : la forme du cours d'eau (longueur, largeur, pente, etc.), les caractéristiques d'écoulement (débit, hauteur d'eau, vitesse en amont et en aval), ainsi que la rugosité du lit et des berges. La modélisation hydraulique représente de façon simplifiée l'écoulement de l'eau à surface libre.

Pour des canaux simples, on peut parfois utiliser des maquettes physiques (modèles réduits).

Mais pour les rivières naturelles comme un oued, il faut utiliser des logiciels spécialisés comme HEC-RAS, qui permet de simuler les écoulements dans des lits naturels ou aménagés.

Dans notre cas, nous avons d'abord réalisé une simulation sans aménagements afin de mieux comprendre le comportement naturel de l'oued, surtout en cas de crue centennale.

Cela nous permet d'identifier les zones inondables et de définir les types d'aménagements nécessaires, ainsi que les dimensions des ouvrages à mettre en place.

IV.2 Présentation succincte de HEC-RAS

Est un logiciel de modélisation hydraulique, Il permet de simuler l'écoulement de l'eau dans les cours d'eau naturels ou artificiels, en modélisant les régimes d'écoulement en une (1D) ou deux dimensions (2D). Est principalement utilisé pour [8]:

- Calculer la hauteur d'eau et la vitesse d'écoulement dans les cours d'eau.
- Analyser les inondations.
- Évaluer les impacts des ouvrages hydrauliques.
- Modéliser la quantité d'eau.

IV.2.1 HEC-RAS en Bref

Pour simuler le comportement hydraulique d'un cours d'eau dans diverses conditions, HEC-RAS utilise le concept de "Projet", qui regroupe l'ensemble des fichiers nécessaires à cette simulation. [8]

IV.2.2 Terminologie utilisée

- **Projet** : Un projet dans HEC-RAS est une structure qui regroupe tous les fichiers et paramètres nécessaires pour une simulation hydraulique, incluant le titre, la description, le système d'unités, les fichiers de géométrie, de conditions d'écoulement, et de plans. Il stocke les paramètres par défaut définis par l'utilisateur, assurant une gestion centralisée et cohérente de l'étude. [8]
- **Géométrie** : la géométrie représente la configuration physique d'un cours d'eau ou d'un réseau hydraulique à modéliser. Elle inclut les sections transversales, les structures hydrauliques, les limites du domaine de simulation et les caractéristiques du terrain. La géométrie définit la forme, les dimensions et les propriétés du lit de la rivière ou de la plaine inondable, et sert de base à la simulation hydraulique. Elle est stockée dans un fichier de géométrie qui peut être modifié ou complété selon les besoins de l'étude [8]
- **Flow (débit)** : Le fichier de débit dans HEC-RAS définit les conditions d'écoulement en incluant les valeurs de débits ou niveaux d'eau aux points amont et aval, pouvant être constants ou variables, et influence la simulation hydraulique. [8]
- **Plan** : Le fichier Plan permet de configurer et d'exécuter une simulation hydraulique précise en rassemblant toutes les informations nécessaires en un seul endroit. Et est un élément central du projet HEC-RAS qui combine la géométrie du cours d'eau avec les conditions d'écoulement spécifiques pour réaliser une simulation. Il définit quels fichiers de géométrie et de débit seront utilisés, ainsi que les paramètres de calcul, tels que le type de régime (permanent ou transitoire), la durée de la simulation, et les options de sortie des résultats. [8]

- **Résultats (output) :** Le fichier de résultats enregistre les hauteurs d'eau, les vitesses et les débits issus de la simulation, et permet leur visualisation dans RAS Mapper ou sous forme de tableaux et graphiques. [8]

Les fichiers d'un projet HEC-RAS partagent le même nom, mais ont des extensions différentes générées automatiquement. Les extensions numérotées indiquent l'ordre de sauvegarde et lient les fichiers Plan, Run et Output.

Voici la description d'un plan :

IV.2.3 Fonctionnement HEC-RAS

IV.2.3.1 Démarrage

Pour le démarrage de logiciel HEC-RAS, une clique droite sur l'icône suivant dans le bureau et choisir ouvrir.

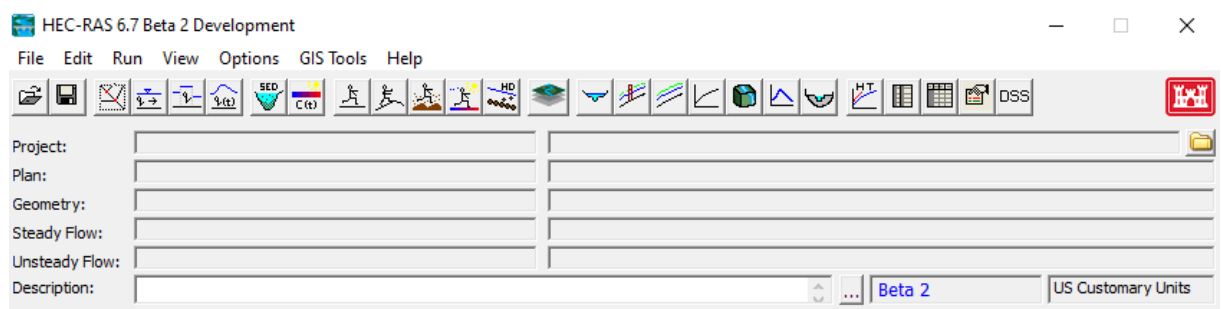


Figure IV -1: fenêtre principal de HEC-RAS

La barre de menu regroupe l'ensemble des fonctionnalités disponibles dans HEC-RAS, comme illustré dans le tableau suivant :

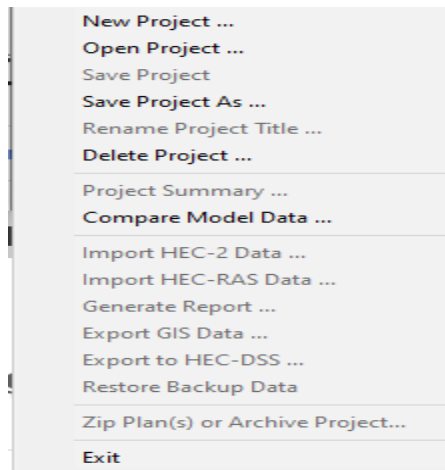


Figure IV -2: les utilités de fille

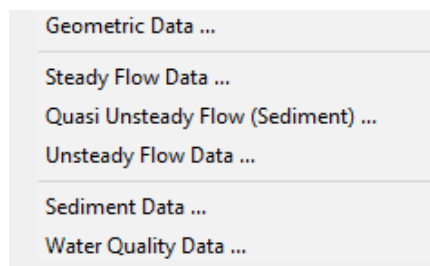


Figure IV -3: figure les utilités de Edite

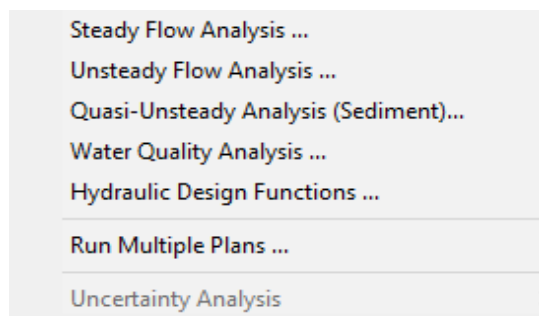


Figure IV -4: les utilité de RUN

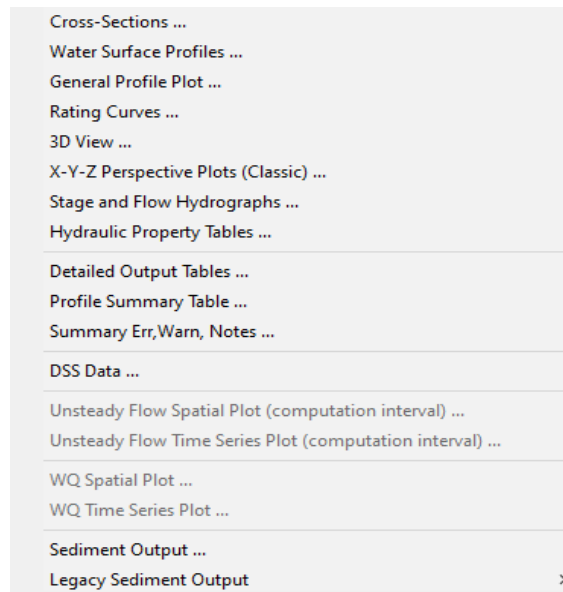


Figure IV -5: l'utilités de NVIEW

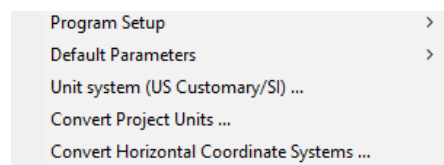


Figure IV -6:l'utilités options

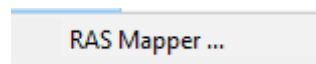


Figure IV -7: l'utilité GIS TOOLS

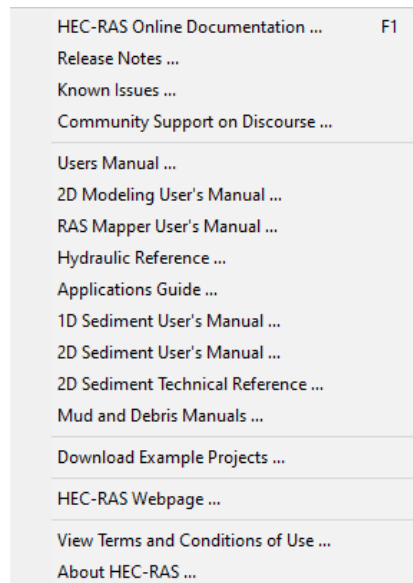


Figure IV -8: figure de l'utilités de HELP

IV.2.3.2 Nouveau projet :

Sélectionnez New Project dans la menue fille pour afficher une fenêtre similaire à celle montrée ci-dessous :

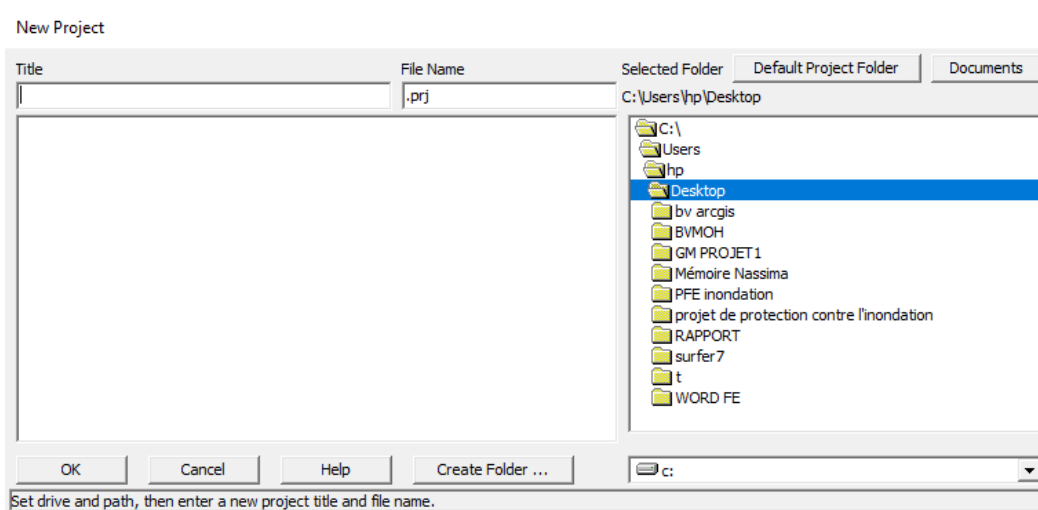


Figure IV -9: création un nouveau projet

IV.2.3.3 Le profil de terrain de cours d'eau :

Le profil de terrain d'un cours d'eau est essentiel dans la modélisation hydraulique. Elle permet d'analyser la topographie existante et de concevoir un canal artificiel pour améliorer

l'écoulement ou pour des objectifs de protection contre les inondations. Voici les étapes qui nous faire pour définir le profil de terrain :

1. Lancer l'outil RAS-MAPPER dans la barre d'outil
2. Définir le système de projection : Aller dans projet sélectionner "Set Projection".
Importer une carte altimétrique (MNT) format pnj. Vérifier si les coordonnées (projection) sont ce qu'est correcte. Dans notre cas : UTM Zone 31N, WGS 84

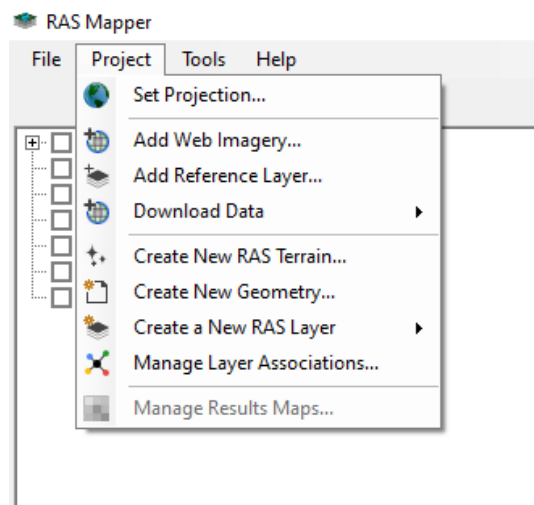


Figure IV -10:fenêtre de projet Ras-Mapper

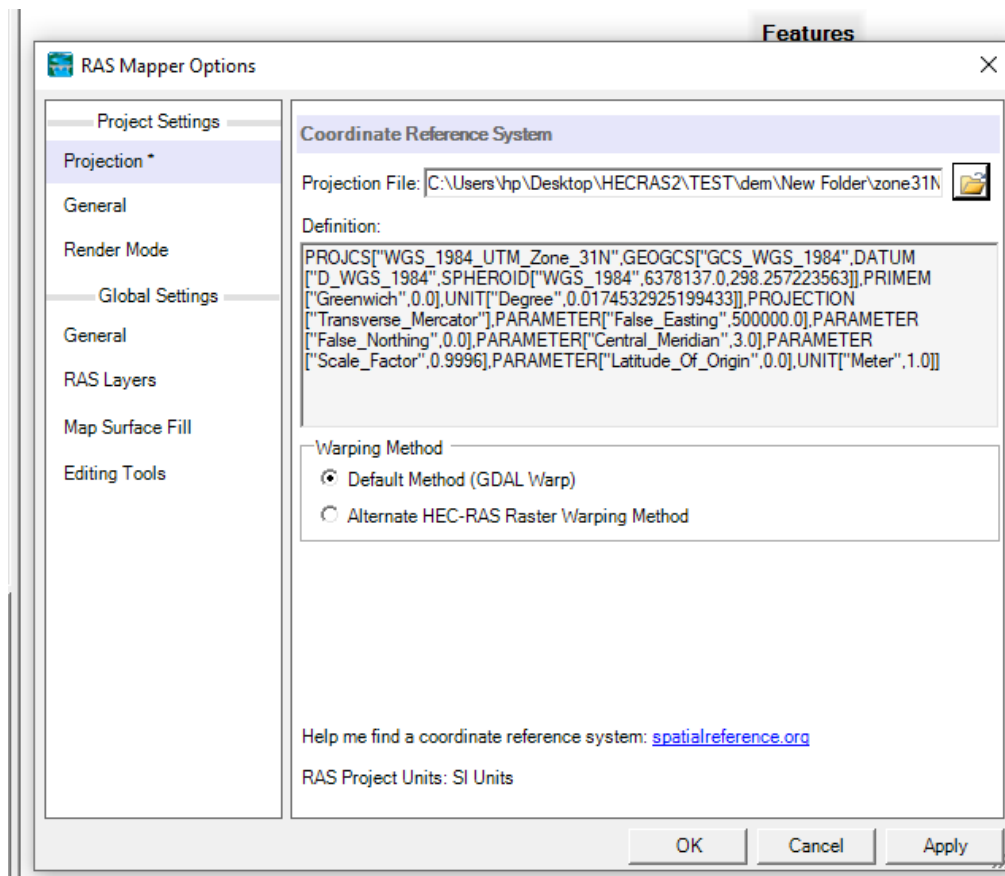


Figure IV -11:fenêtre de d'importer la projection

3. Ajouter la carte d'élevation (TIN) (format shp) qui a été créée avec Google Earth et ArcGIS dans l'onglet Terrain. Cela permettra à HEC-RAS de lire les altitudes de chaque point du lit de la rivière.

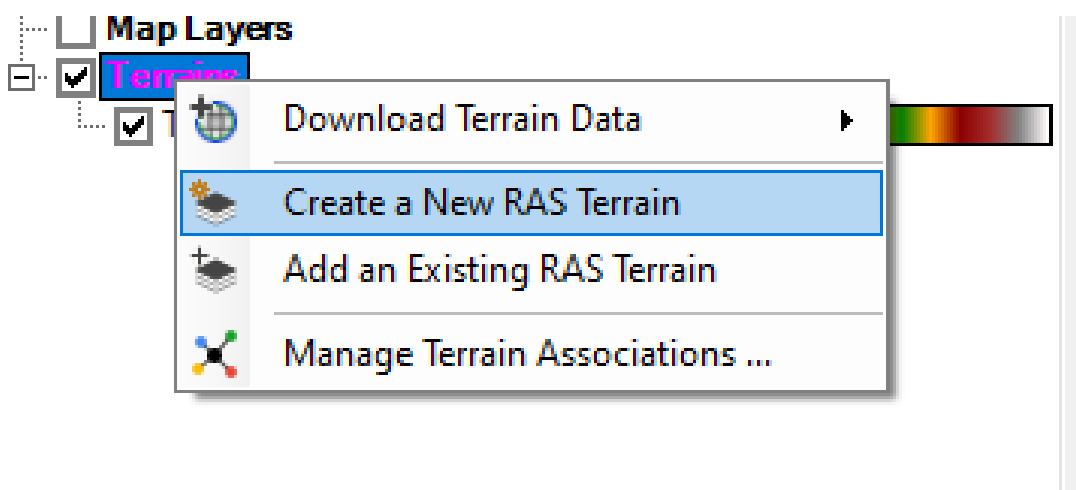


Figure IV -12:l'outil terrain

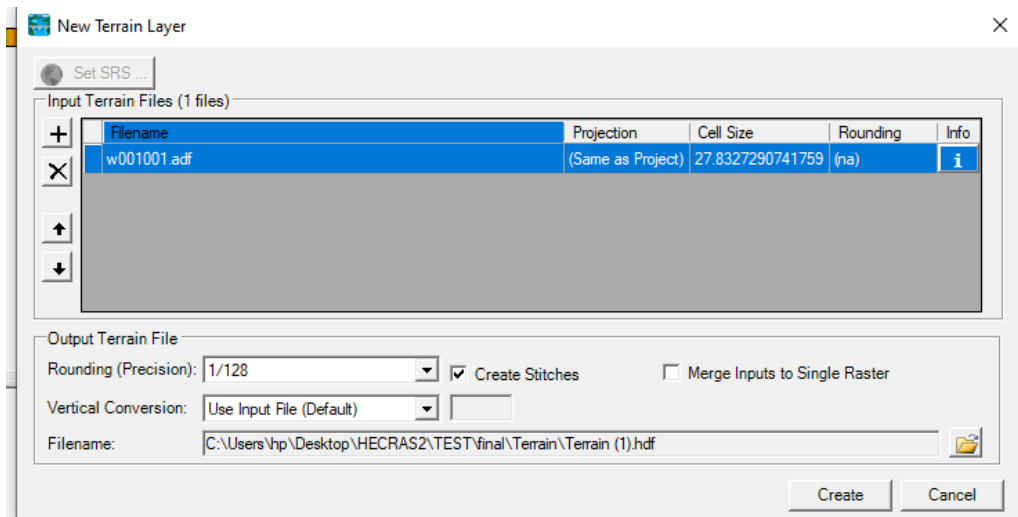


Figure IV -13:ajouter le terrain

4. Avec l'outil "Map layer", Ajouter un fond de carte (Google Satellite, OpenStreetMap, Hybrid...). Pour localiser précisément le tracé du cours d'eau par rapport au terrain réel.

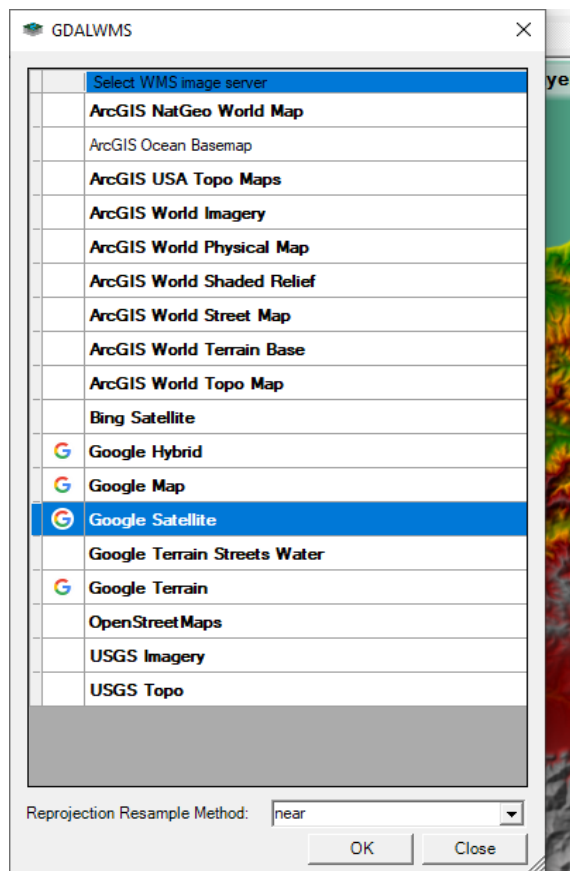


Figure IV -14:l'outil mapp layer

5. Tracer le schéma du cours d'eau avec un profil en ligne. Cliquer droit sur le profil créé, puis choisir "Mapping Results" et sélectionner "Profil détaillé".

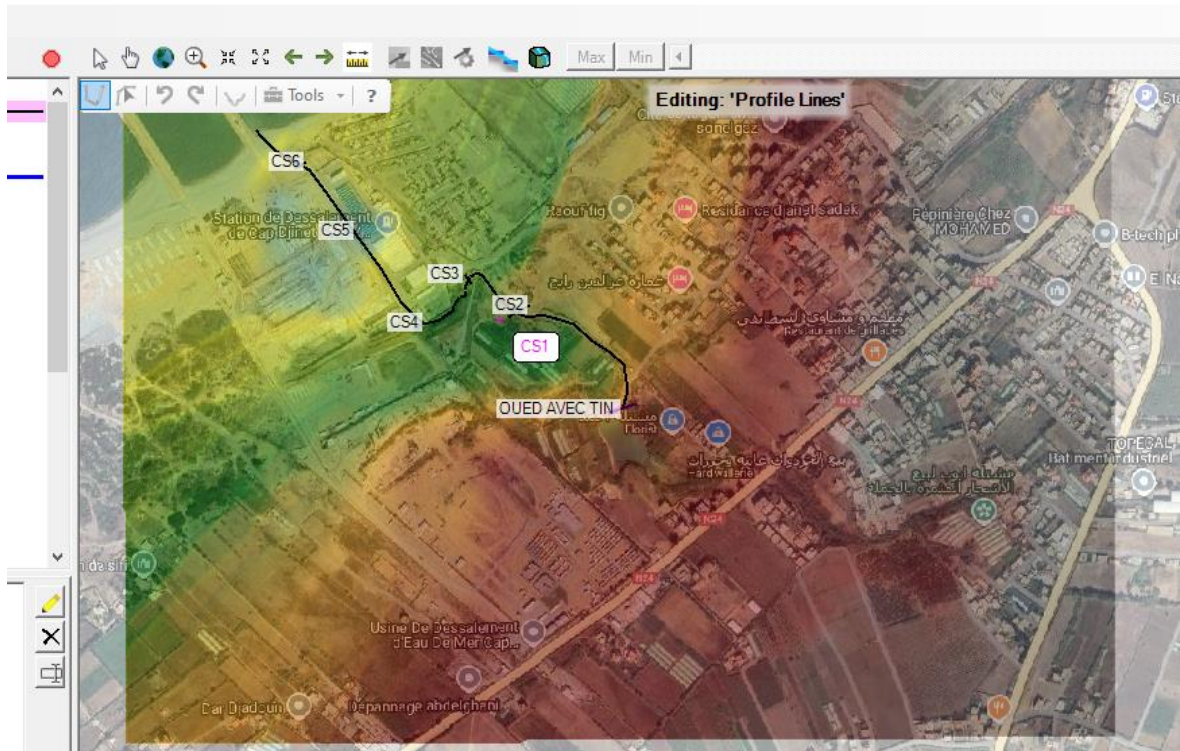


Figure IV -15:le cours d'eau

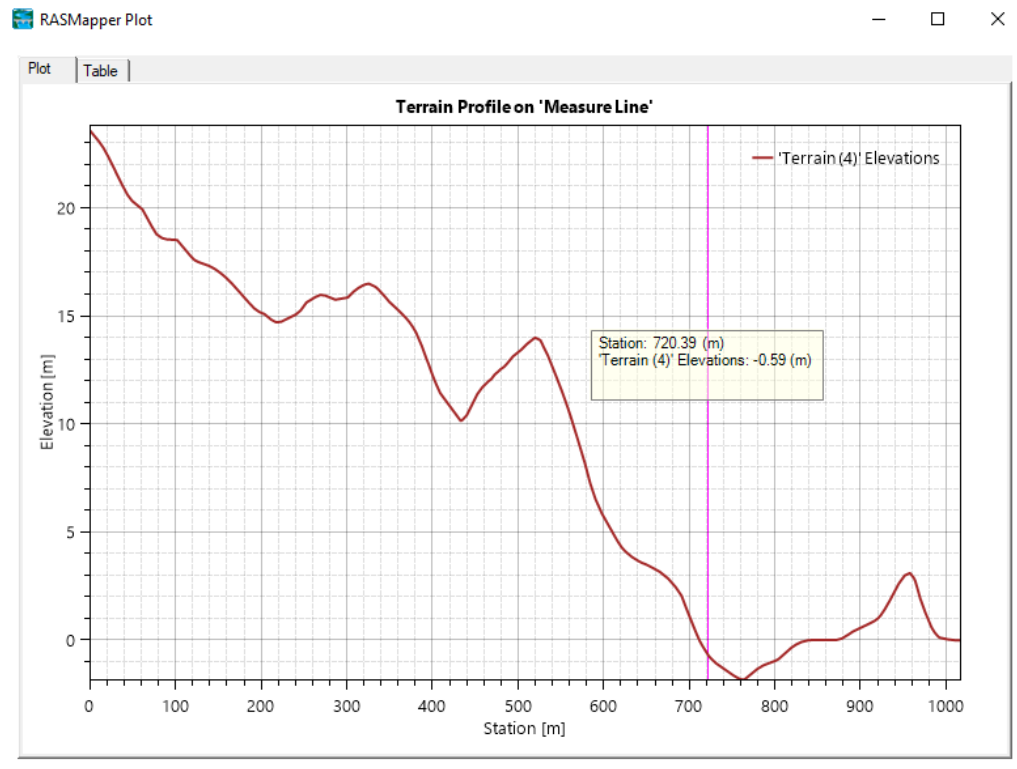


Figure IV -16:profil de terrain de cours d'eau

IV.2.3.4 Géométrie des sections :

La prochaine étape consiste à configurer les caractéristiques géométriques du système modélisé, Une fois les principaux paramètres du projet défini.

Préparation et intégration des données topographiques dans HEC-RAS à l'aide de Google Earth, Global Mapper et Covadis, en suivant les étapes suivantes :

- 1- Acquisition des points topographiques via Google Earth :** tracer les points de la zone de l'oued et exporter les données au format KMZ."
- 2- conversion des coordonnées géographiques vers le système UTM :** s'effectue dans Global Mapper en important d'abord le fichier KMZ, puis en transformant les coordonnées de latitude/longitude au format UTM WGS84 zone 31 Nord. Et exporter un fichier text.
- 3- Importation et traitement des données dans Covadis :** La première étape consiste à importer les points en coordonnées UTM dans Covadis à l'aide de l'utilitaire Covadis 2D, suivi du chargement des points en semis. Ensuite, le traitement des données comprend la

génération du MNT (Modèle Numérique de Terrain) via le module Covadis 3D en utilisant la méthode de calcul ancien (calculer les mnt). Une fois le MNT créé, on procède à la digitalisation de l'axe du projet avec Covadis VRD, puis à l'établissement du profil en long (Covadis VRD > Projet Linéaire > Profils Longitudinaux > Création du profil log) et des profils en travers pour les (cross-sections, Covadis VRD > Projet Linéaire > Profils en travers > Automatique à partir de l'axe et MNT) nécessaires à l'analyse hydraulique et exporter les donner format Word.

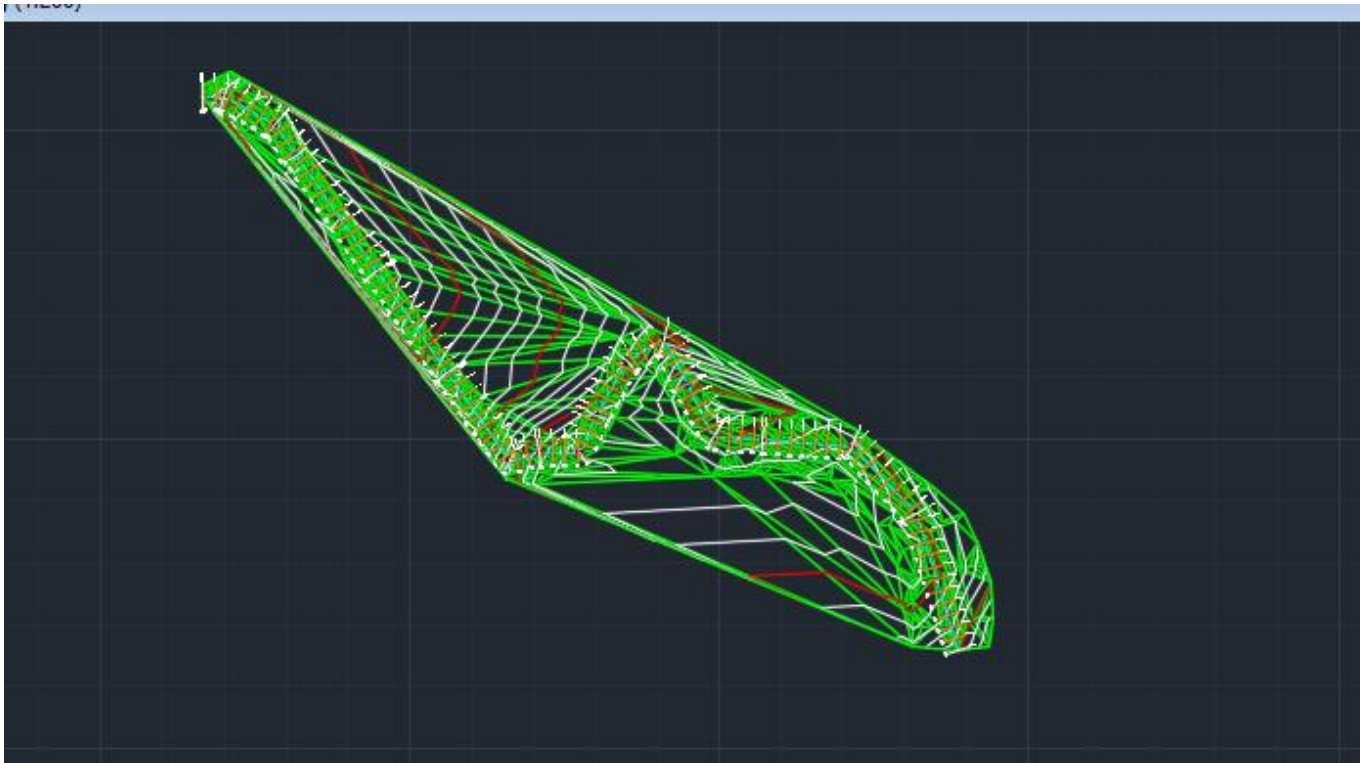


Figure IV -17:le cours d'eau avec covadis

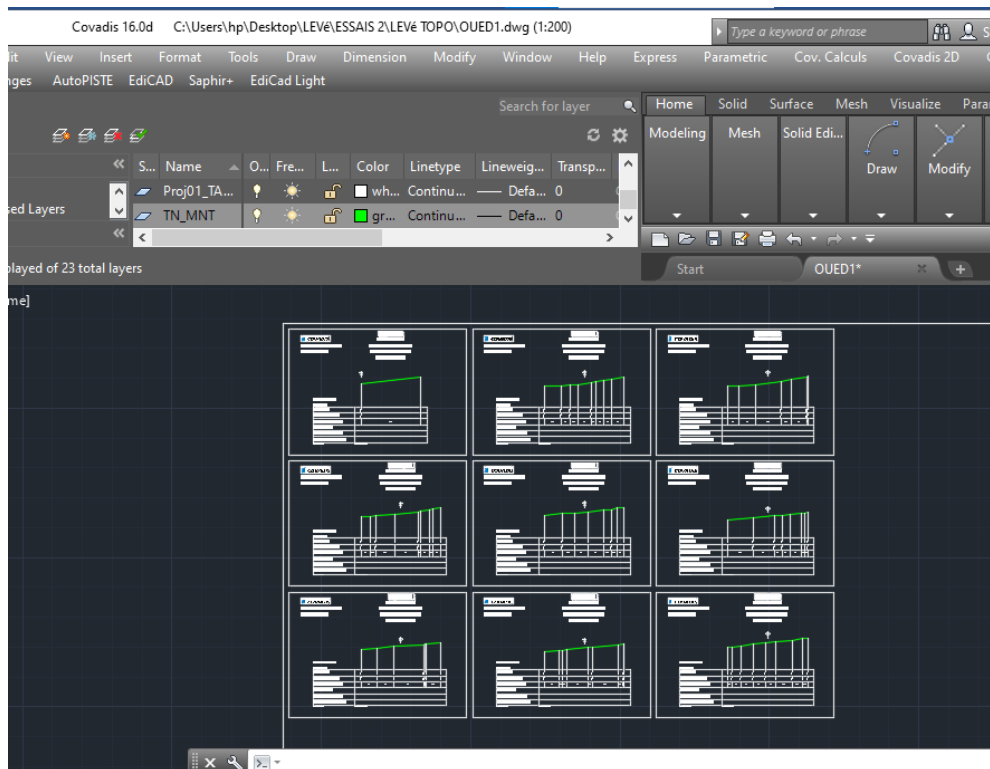


Figure IV -18:profile en travers avec Covadis

4-Exrorter vers HEC RAS manuellement comme suit : cette étape consiste d'abord à tracer le tronçon de rivière (River Reach) dans la géométrie data, puis à exporter les points du profil en long. Avec l'outils GIS TOOLS, on sélectionne ensuite la ligne d'inversion du tronçon (Reach Invert Line) pour en extraire la table de données correspondante. Ces valeurs sont ensuite transférées dans HEC-RAS.

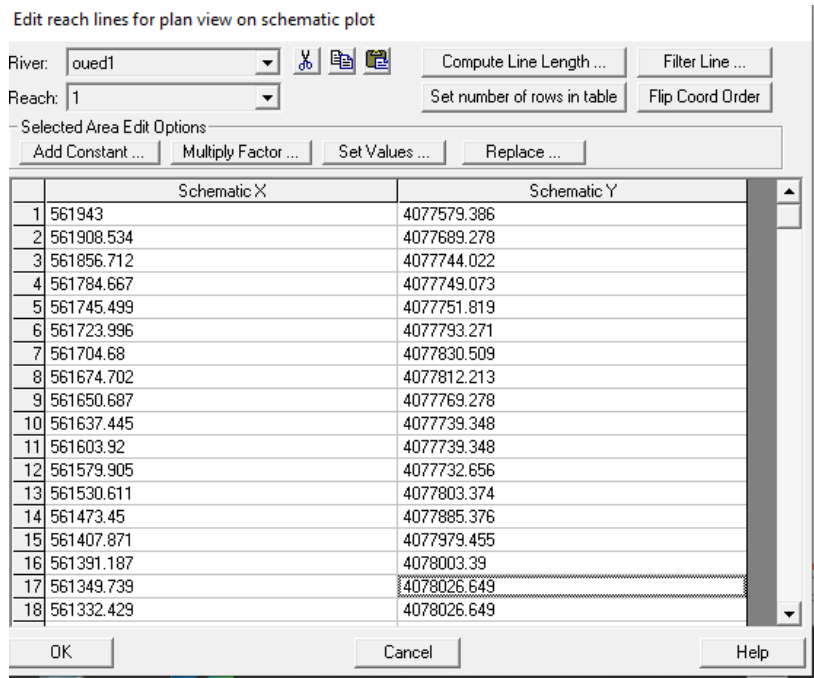


Figure IV -19:insertion les points de profil log

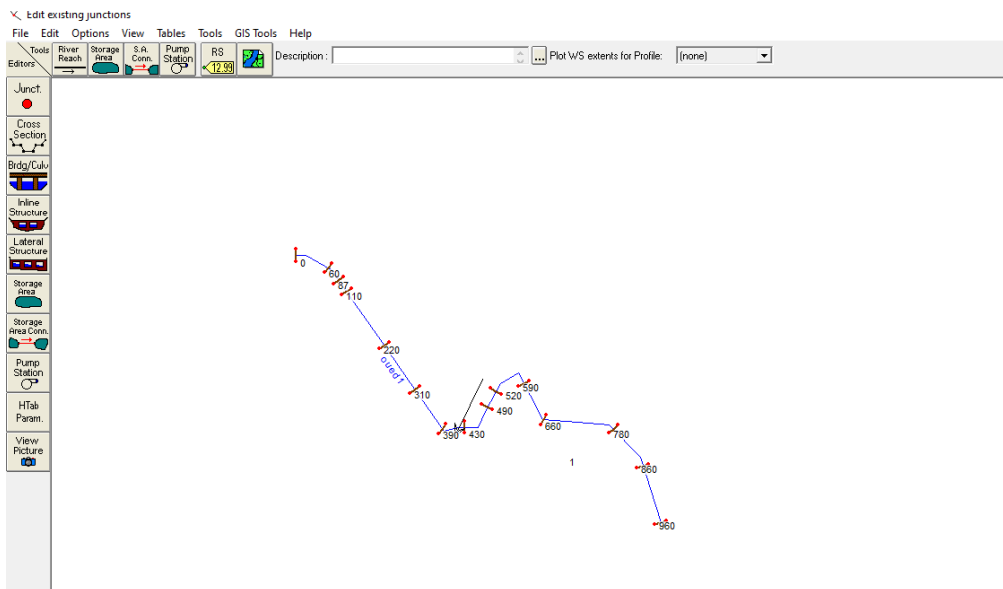


Figure IV -20:cours d'eau avec HEC RAS

Aussi les cross sections avec copier les donner EDIT >cross section et copier les stations et les altitudes

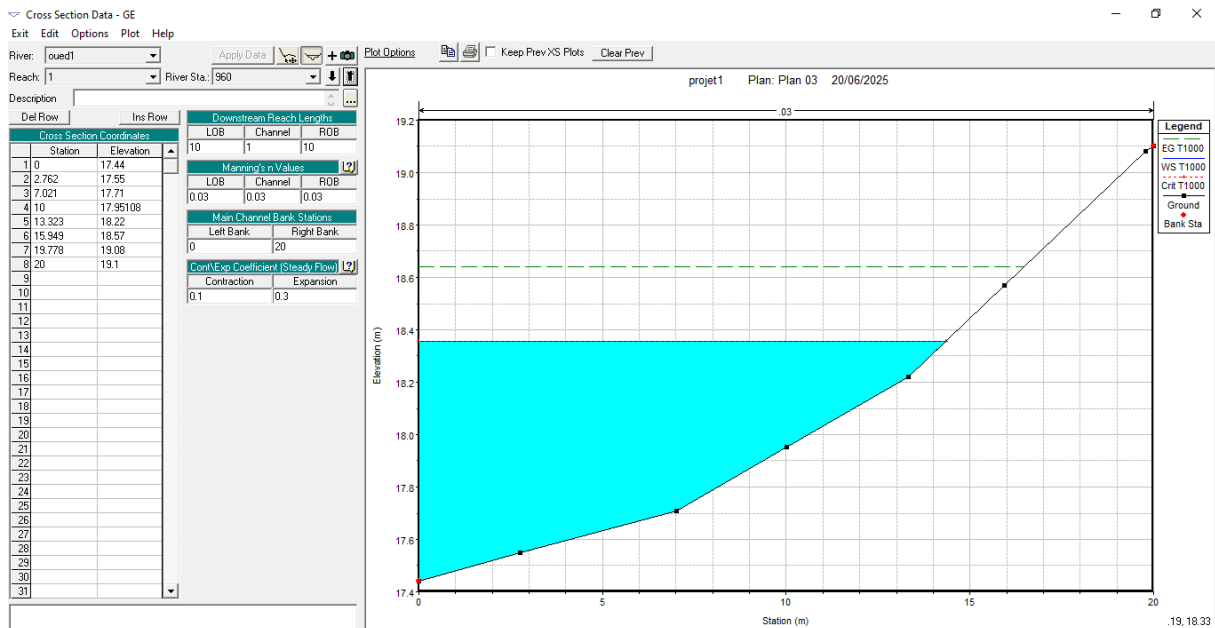


Figure IV -21:insertion les stations et altitudes en travers

Ainsi, nous allons pouvoir modéliser la géométrie de l'oued.

IV.2.3.5 Débit et condition limite :

Dans cette étape de la modélisation hydraulique avec HEC-RAS est définir les débits requis pour le calcul des profils d'écoulement.

La modélisation hydraulique a été réalisée en saisissant les paramètres d'écoulement via l'interface "Steady Flow Data" de HEC-RAS. Sept valeurs de débit correspondant à différentes périodes de retour (de 2,5,10,20,50,100,1000 ans) ont été intégrées au modèle. Les conditions aux limites ont été configurées selon une approche standard : une profondeur critique (critical depth) a été appliquée tant à la limite amont qu'aval du tronçon étudié.

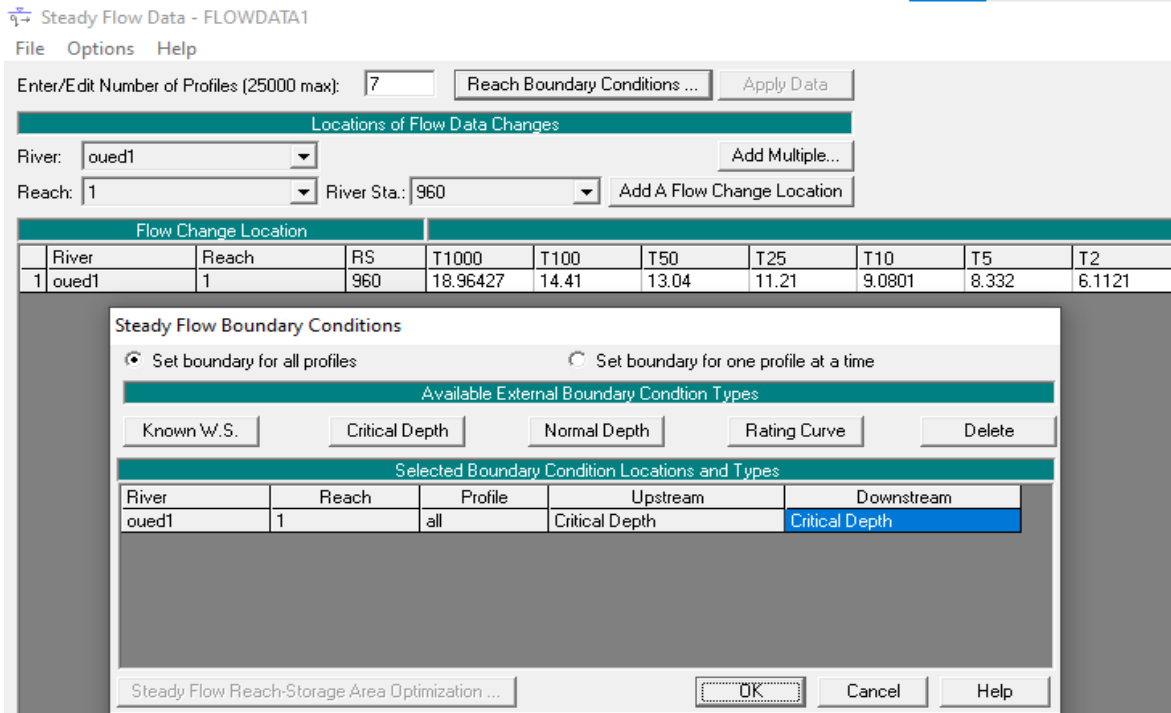


Figure IV -22:de study flow data (condition limites)

IV.2.3.6 Simulation :

La simulation dans HEC-RAS s'effectue selon une procédure standardisée. Après avoir défini la géométrie du cours d'eau, les paramètres hydrauliques sont configurés dans l'interface "Steady Flow Data". On sélectionne alors le régime mixte (Mixed Flow Regime) avant de lancer les calculs "Compute". Cette méthode permet d'obtenir rapidement des résultats fiables pour l'analyse des écoulements en régime permanent.

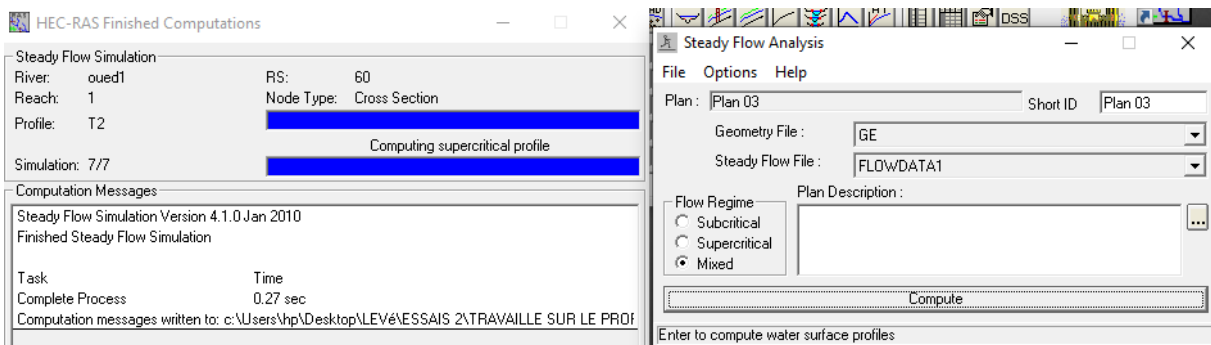


Figure IV -23:la simulation

IV.2.3.7 Les résultats

La simulation dans HEC-RAS consiste à exécuter les calculs hydrauliques en utilisant les fichiers de géométrie, de débit et de plan préalablement configurés.

- **Le premier résultat** : intéressant à consulter est l'affichage du profil longitudinal du tronçon simulé.

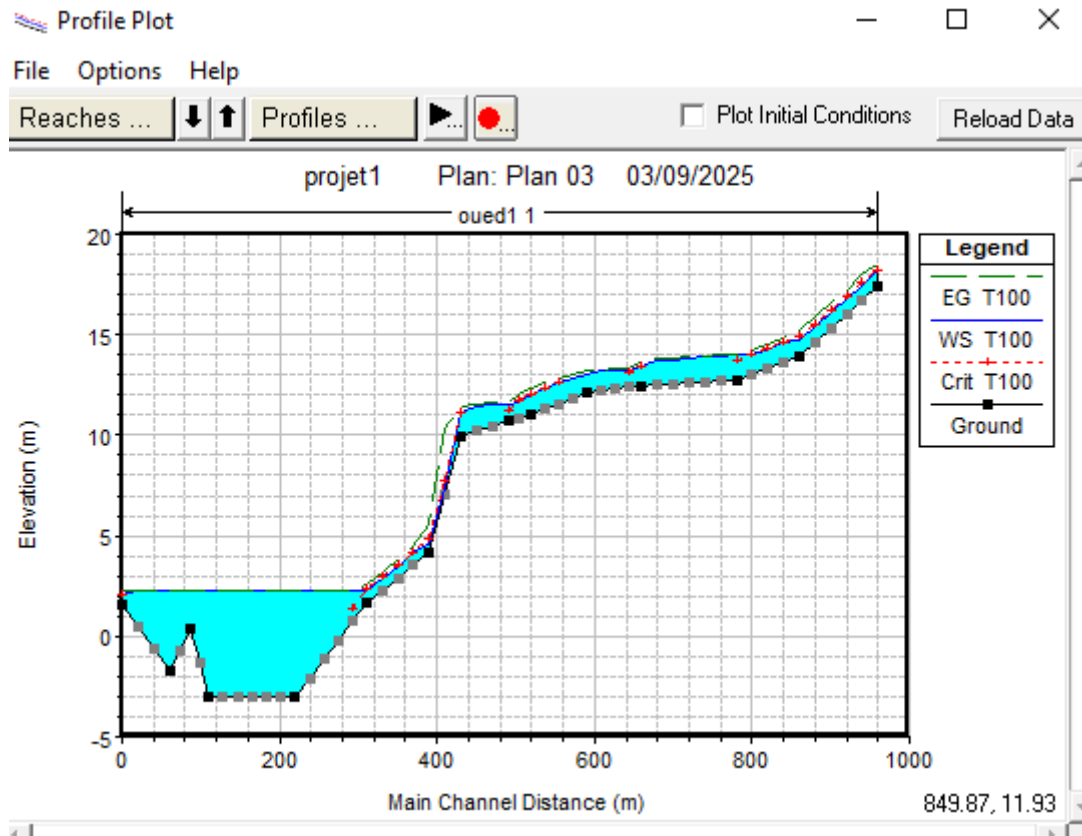


Figure IV -24:Le profile long de cours d'eau

- **Le deuxième résultat intéressant** : est le graphique accessible via le bouton "View 3D Multiple Cross Section Plot"

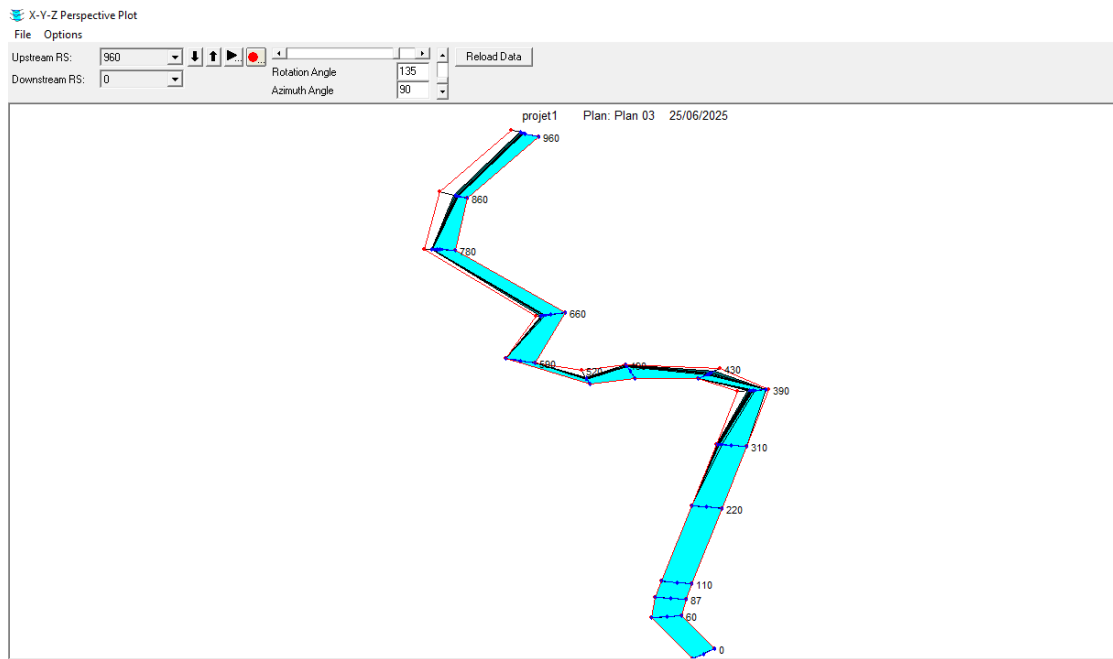


Figure IV -25:visualisation 3D les zones

➤ **Le troisième résultat intéressant : c'est l'observation de la section transversale.**

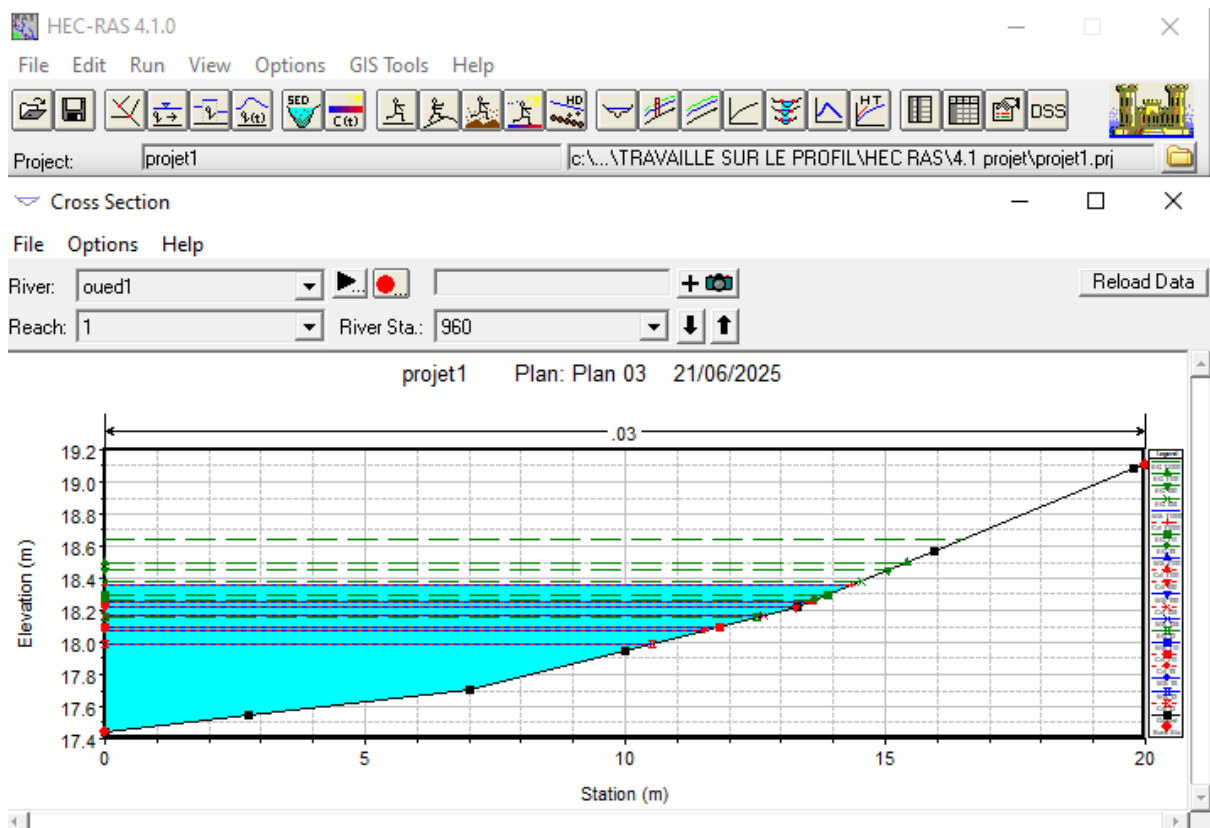


Figure IV -26:cross section après la simulation

À partir des résultats de la simulation par le modèle HEC-RAS, on déduit que les sections des sons complètement inondations.

Les résultats sont tous dans l'annexe 1 :

Les résultats sont présentés sous forme de tableaux qui résument les paramètres hydrauliques pour chaque station du cours d'eau étudié. Ils donnent plusieurs informations sur le régime d'écoulement dans chaque section, comme les paramètres suivants

- Le débit de la crue en [m³/s]
- La hauteur du radier en [m]
- La hauteur de la ligne d'eau en [m]
- La hauteur de la ligne critique en [m]
- La hauteur de la ligne d'énergie en [m]
- La pente de la ligne d'énergie en [m/m]
- La vitesse d'écoulement en [m/s]
- La surface mouillée en [m²/s]
- Le périmètre mouillé en [m]
- Le nombre de Froud

Les résultats sont dans le tableau suivant :

Tableau IV-1: résultats de simulation HEC RAS

STATION	débit	cote minimal de section	niveau d'eau	cote de niveau d'écoulement critique	cote d'énergie	la pente du ligne d'énergie	la vitesse	section mouillée	largeur au méroir	Nombre de Froude Fr
	m3/s	m		m	m	m/m	m/s	m2	m	
960	15.09	17.44	18.27	18.27	18.52	0.012407	2.23	6.77	13.68	1.01
940	15.09	16.74	17.39	17.6	18.05	0.046543	3.59	4.2	11.24	1.87
920	15.09	16.05	16.78	16.92	17.26	0.029809	3.07	4.91	11.83	1.52
900	15.09	15.35	16.08	16.25	16.62	0.034001	3.24	4.66	11.4	1.62
880	15.09	14.66	15.41	15.58	15.94	0.033448	3.24	4.66	11.24	1.61
860	15.09	13.96	14.73	14.9	15.28	0.03364	3.27	4.62	11.04	1.61
840	15.09	13.66	14.63	14.63	14.86	0.012402	2.16	6.98	14.72	1
820	15.09	13.36	14.28	14.32	14.57	0.017321	2.38	6.35	14.98	1.16
800	15.09	13.06	14.02	14.02	14.26	0.013016	2.16	6.97	15.16	1.02
780	15.09	12.76	14.01	13.7	14.1	0.002578	1.29	11.7	16.03	0.48
760	15.09	12.71	13.96		14.04	0.002634	1.3	11.61	16.08	0.49
740	15.09	12.67	13.9		13.99	0.002728	1.31	11.49	16.15	0.5
720	15.09	12.62	13.84		13.93	0.002913	1.33	11.31	16.39	0.51
700	15.09	12.57	13.78		13.87	0.00323	1.37	11.05	16.78	0.54
680	15.09	12.53	13.7		13.8	0.003733	1.42	10.59	16.87	0.57
660	15.09	12.48	13.43	13.43	13.66	0.012409	2.14	7.06	15.18	1
642.5	15.09	12.39	13.27	13.12	13.39	0.004871	1.52	9.91	17.82	0.65
625	15.09	12.3	13.26		13.32	0.002076	1.12	13.46	19.99	0.44
607.5	15.09	12.2	13.23		13.29	0.001924	1.09	13.86	19.99	0.42
590	15.09	12.11	13.05		13.21	0.010327	1.8	8.39	20	0.89
572.5	15.09	11.84	12.89		13.04	0.008723	1.72	8.79	20	0.83
555	15.09	11.57	12.65	12.64	12.85	0.012554	1.99	7.57	18.24	0.99
537.5	15.09	11.29	12.39	12.39	12.62	0.013366	2.13	7.08	16.03	1.02
520	15.09	11.02	12.01	12.06	12.36	0.015202	2.62	5.76	10.26	1.12
505	15.09	10.86	11.63	11.74	12.03	0.033093	2.83	5.34	15.95	1.56
490	15.09	10.7	11.6	11.29	11.66	0.001894	1.09	13.89	20	0.42
470	15.09	10.46	11.55		11.62	0.002375	1.16	12.98	20	0.46
450	15.09	10.22	11.47		11.56	0.003452	1.3	11.6	20	0.55
430	15.09	9.98	11.15	11.15	11.42	0.012494	2.32	6.51	12.04	1.01
410	15.09	7.06	7.39	7.77	10.4	0.531474	7.68	1.96	11.03	5.81
390	15.09	4.14	4.59	4.84	5.58	0.112153	4.4	3.43	13.79	2.81
370	15.09	3.53	4.14	4.22	4.46	0.024921	2.51	6	18.07	1.39

Tableau IV-2: résultats de simulation HEC RAS (suit)

STATION	débit	cote minimal de section	niveau d'eau	cote de niveau d'écoulement critique	cote d'énergie	la pente du ligne d'énergie	la vitesse	section mouillée	largeur au méroir	nombre de froud
	m ³ /s	m		m	m	m/m	m/s	m ²	m	
350	15.09	2.91	3.48	3.6	3.87	0.034175	2.77	5.44	17.97	1.61
330	15.09	2.3	2.87	2.97	3.22	0.029943	2.62	5.76	18.71	1.51
310	15.09	1.68	2.23	2.34	2.6	0.032224	2.67	5.65	18.78	1.55
292	15.09	0.74	2.29	1.42	2.31	0.000271	0.6	25.2	20	0.17
274	15.09	-0.2	2.3		2.3	0.000048	0.35	43.74	20	0.07
256	15.09	-1.14	2.3		2.3	0.000017	0.24	62.13	20	0.04
238	15.09	-2.08	2.3		2.3	0.000008	0.19	80.45	20	0.03
220	15.09	-3.02	2.3		2.3	0.000004	0.15	98.71	20	0.02
201.67	15.09	-3.01	2.3		2.3	0.000004	0.15	100.27	20	0.02
183.34	15.09	-3	2.3		2.3	0.000004	0.15	101.45	20	0.02
165.01	15.09	-2.99	2.3		2.3	0.000004	0.15	102.24	20	0.02
146.68	15.09	-2.99	2.3		2.3	0.000004	0.15	102.65	20	0.02
128.35	15.09	-2.98	2.3		2.3	0.000004	0.15	102.67	20	0.02
110	15.09	-2.97	2.3		2.3	0.000004	0.15	102.32	20	0.02
87	15.09	-1.31	2.3		2.3	0.000012	0.22	68.7	20	0.04
78	15.09	0.35	2.29		2.3	0.000134	0.48	31.73	20	0.12
69	15.09	-0.68	2.29		2.3	0.000029	0.29	52.94	20	0.06
60	15.09	-1.7	2.29		2.29	0.000014	0.22	69.33	20	0.04
40	15.09	-0.61	2.29		2.29	0.000036	0.3	50.09	20	0.06
20	15.09	0.48	2.28		2.29	0.00015	0.49	30.84	20	0.13
0	15.09	1.57	2.07	2.07	2.26	0.012745	1.96	7.69	20	1.01

IV.3 Conclusion

Pour la crue centennale, les vitesses d'écoulement mesurées dans le tronçon étudié varient entre 0,15 m/s et 7,68 m/s, la grande vitesse de l'écoulement favorise l'érosion de berge et la faible vitesse favorise les sédimentations. Cette cours d'eau elle a une pente n'est pas uniforme. La surface mouillée moyenne est 28.52 m². HEC RAS il permet d'afficher les lignes d'eau dans plusieurs sections en travers qui indique tous les zones inondées. A partir de ces résultats obtenus, il est nécessaire de crée un canal pour éliminer ces risques d'inondation.

Chapitre V Les calculs hydrauliques

V.1 Introduction

Après avoir identifié une grande partie de la zone d'activité de comme étant à risque d'inondation en cas de crue centennale, cette partie sera consacrée au dimensionnement hydraulique du canal destiné à éliminer les débordements du cours d'eau susceptibles de menacer l'usine de dessalement de Cap Djinet 2.

Ce chapitre présente les aménagements hydrauliques proposés pour protéger les personnes et les biens, assurer le bon fonctionnement des ouvrages dans le temps, et respecter les conditions naturelles du site ainsi que les normes d'écoulement.

V.2 Généralité

L'écoulement à surface libre est le mouvement de l'eau dont la surface est en contact avec l'air, comme dans les rivières, oueds et canaux. Il est guidé par la gravité et se distingue par une surface libre visible, avec des hauteurs et vitesses variables. Ce type d'écoulement est fondamental en hydraulique pour la modélisation des crues, la conception de canaux et la gestion des inondations.

V.2.1 Les Canales ouvertes

Les canaux ouverts sont des conduits où l'eau s'écoule à surface libre, c'est-à-dire en contact avec l'air. Ils peuvent être naturels (comme les rivières ou les oueds) ou artificiels (creusés ou construits pour des usages comme l'irrigation ou le drainage). Leur forme varie selon les besoins hydrauliques (trapézoïdale, rectangulaire, etc.).

V.2.2 Types des Canales

Deux types de canaux sont

V.2.2.1 Canal naturel

C'est un cours d'eau formé naturellement par des processus géologiques et hydrologiques. Il suit un tracé naturel et son lit est façonné par l'érosion et les dépôts sédimentaires.

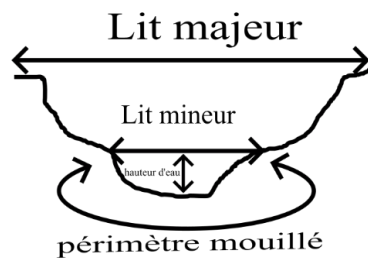


Figure V-1: géométrie d'un canal naturel

V.2.2.2 Canal artificiel :

C'est un canal creusé ou construit par l'homme dans le but de détourner, transporter ou contrôler l'eau. Sa forme, sa pente et ses dimensions sont généralement conçues selon des besoins spécifiques.

On a plusieurs formes de canaux artificiels. Voici quelques-unes de ces formes :

- Circulaire.
- Rectangulaire.
- Triangulaire.
- Trapézoïdal.

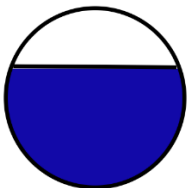

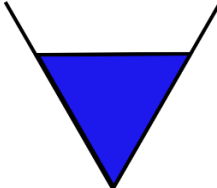

Circulaire.	Rectangulaire.	Triangulaire.	Trapézoïdal.
			

Figure V -2: Les canaux artificiel

V.3 Proposition aménagement

Pour réduire le risque d'inondation de la station de dessalement de Cap Djinet 2 lors des crues, nous proposons l'aménagement d'un canal trapézoïdal le long du cours d'eau. Ce type de canal a été sélectionné pour ses avantages en termes de stabilité et de fiabilité, garantissant une meilleure gestion des débits et une protection optimale de la station.

Le dimensionnement du canal repose sur le débit de crue maximal, déterminé en fonction de la période de retour. Ce débit représente le volume d'eau que le canal doit évacuer sans provoquer d'inondation. Nous avons choisi un débit centennal est (15.09m³/s), correspondant à une crue probable sur une période de 100 ans. Bien que les apports solides soient négligeables par rapport à ce débit, ils sont pris en compte en ajoutant une hauteur de revanche à la hauteur du canal, garantissant ainsi une marge de sécurité supplémentaire.

Nous avons subdivisé l'Oued Cap Djinet 2 en deux (02) tronçons avec de différentes longueurs :

Tronçon 1 : 960-310 distance de 650m

Tronçon 3 : 310-0 distance de 310m

Aux niveaux des tronçons (01 et 02), un canal trapézoïdal accompagné d'un réglage de la pente est prévu afin de permettre l'écoulement du débit de crue sans encombre.

D'autres paramètres jouent un rôle crucial dans le dimensionnement. Les voici :

- La hauteur normale
- La hauteur critique
- Le régime de l'écoulement

V.3.1 Les avantages de canal trapézoïdal

On peut citer quelques avantages d'un canal trapézoïdal

- Bonne résistance contre l'érosion et réduction du risque d'érosion du lit.

- Facilité de construction avec un coût réduit.
- Facilité de nettoyage et moins de dépôts de sédiments par rapport aux canaux rectangulaires.

V.3.2 La géométrie des canaux

Les paramètres d'une section sont :

S_m : est la surface de contact entre l'eau et les parois du canal ou du lit du cours d'eau. (m²)

P_m : est la longueur totale du contact entre l'eau et les parois du canal ou du lit de la rivière en (m)

R_h : le rayon hydraulique en (m). Est calculer comme suite :

$$R_h = \frac{S_m}{P_m} \quad (V-1)$$

b : la largeur de base

$$b = 2 * h * \sqrt{(1 + m^2)} - m \quad (V-2)$$

B : la largeur de canal (m)

D_h : la profondeur hydraulique de canal en (m). Est calculée comme suite :

$$D_h = \frac{S_m}{B} \quad (V-3)$$

Le fruit de talus de canal , $m=\sqrt{3}$; ou $\alpha = 60$ (la pente la plus avantageuse)

h : la hauteur d'eau (m)

j_f : la pente longitudinal de canal

j_w : la pente piézométrique

Tableau V-1: Tableau les formules de calculer les paramètres des canaux

forme	S	Pm	RH
Rectangulaire	$s = b * h$	$Pm = b + 2h$	$RH = \frac{(b * h)}{b + 2h}$
Triangulaire	$S = mh^2$	Pm $= 2h * \sqrt{(1 + m^2)}$	$RH = \frac{mh}{2\sqrt{1 + m^2}}$
Trapézoïdal	$S = (b + mh) * h$	Pm $= b + 2h\sqrt{(1 + m^2)}$	RH $= \frac{(b + mh) * h}{(b + 2h\sqrt{(1 + m^2)})}$
Circulaire	$S = \frac{D^2}{8} * (\theta - \sin\theta)$	$Pm = \frac{D * \theta}{2}$	$RH = \frac{D^2}{4} * \left(1 - \frac{\sin\theta}{\theta}\right)$

V.3.3 Choix de revanche de canal

La revanche constitue une marge de sécurité indispensable dans la conception des ouvrages hydrauliques. Elle permet d'assurer la protection contre les vagues et fluctuations de niveau générées dans un canal, notamment lors des crues. Après avoir déterminé, la surface mouillée nécessaire pour l'écoulement, une revanche appropriée doit être prévue afin de garantir la sécurité de l'ouvrage.

Tableau V-2: la revanche en fonction de débit

débit	>0.75	0.75 à 1.5	1.5 à 85	>85
revanche	0.45	0.6	0.75	0.9

Pour notre cas le débit est 14.41m³/s donc la revanche elle est 0.75m

V.4 Calcule hydraulique de la section d'écoulement

V.4.1 Détermination la section de l'écoulement

La détermination de la section d'écoulement nécessaire pour un cours d'eau représente une étape clé dans la conception hydraulique. Cette conception suit une démarche structurée, composée de plusieurs étapes successives :

- Détermination des débits à évacuer
- Analyse des caractéristiques du terrain (type de sol, pente, etc.)
- Identification des contraintes à respecter (talus, érosion, environnement...)
- Recherche des solutions possibles
- Étude et comparaison des solutions
- Vérification du respect des contraintes techniques et environnementales

V.4.2 Principal de calcule

Les conditions de dimensionné les sections de l'écoulement :

- La vitesse par rapport la pente.
- Minimiser le rayon hydraulique de canal

V.4.3 La démarche consiste le plus souvent :

- Adapter la pente pour maintenir une vitesse d'eau ni trop faible ni trop élevée.
- Optimiser la section pour assurer une bonne vitesse d'écoulement tout en la minimisant.
- Augmenter la hauteur afin d'atteindre le débit centennal.

V.4.4 Dimensionnement de canal

Les formes optimales du point de vue économique Les formes optimales du point de vue économique

- Les sections demi-circulaires sont les plus efficaces sur le plan hydraulique mais difficiles et coûteuses à réaliser.
- Les sections rectangulaires sont faciles à construire, mais nécessitent une grande profondeur et ont un faible rendement hydraulique.
- Les sections trapézoïdales offrent un bon compromis entre performance et facilité d'exécution, mais prennent plus de place et peuvent subir l'érosion.

V.4.5 La vitesse admissible de l'écoulement

Avant de valider le choix de la forme du canal, il est important de vérifier que la vitesse d'écoulement reste dans une plage acceptable. Une vitesse trop faible peut provoquer la sédimentation des matériaux transportés, tandis qu'une vitesse trop élevée peut entraîner l'érosion des parois du canal.

On adopte

- Un canal trapézoïdal creusé en terrain naturel peut supporter une vitesse d'écoulement comprise entre 1 et 3 m/s.
- Une plage de vitesse comprise entre 1 m/s et 4.5 m/s pour un canal en béton.
- Pour un revêtement en matelas ou gabion peut résister à une vitesse d'écoulement de 6 m/s.

La formule de Manning vitesse :

$$V = \left(\frac{1}{n}\right) * RH^{\frac{2}{3}} * \sqrt{I} \quad (V-4)$$

RH : rayon hydraulique en m

I : la pente en m/m

n : coefficient de Manning

V.4.6 Les calculs hydrauliques des paramètres de l'écoulement

Le calcul des paramètres géométriques du canal est réalisé à l'aide de la méthode de Newton-Raphson. Cette méthode consiste à intégrer dans l'équation Manning les expressions de la surface mouillée (S_m), du rayon hydraulique (RH), de la largeur au radier (b), du coefficient de Strickler ($1/n$) et de la pente du fond (I). Ensuite, on fait varier la hauteur d'eau h jusqu'à ce que le débit calculé Q soit égal ou supérieure au débit maximal Q_{max} .

Pour limiter les coûts, on cherche la forme de section la plus efficace pour transporter un débit maximal.

La formule utilisée pour le dimensionnement des canaux est celle de Manning-Strickler :

$$Q = \left(\frac{1}{n}\right) * RH^{\frac{2}{3}} * S_m * \sqrt{I} \quad (V-5)$$

RH : rayon hydraulique en m

I : la pente en m/m

n : coefficient de Manning

S_m : surface mouillée

Tableau V-3: coefficient de Manning [9]

nature de parois	coefficient de manning
béton	0.012 - 0.015
gabion	0.025 - 0.035
naturel	0.030 - 0.040

V.4.7 Les résultats de différentes Calculs pour la section trapézoïdale

V.4.7.1 Variet 1 : Canal en béton

Les résultats de calcul des caractéristiques du canal trapézoïdal en béton avec la pente naturelle 0.024 et angle de 60 sont présenté dans le tableau suivant :

Tableau V-4: les résultats des calculs pour un canal en béton avec la pente naturelle de première tronçon

l/n	pente(m/m)	B	b(m)	m	h(m)	s(m ²)	p(m)	Rh(m)	débit (m ³ /s)	vitesse (m/s)	Nombre de Froude	régime
71.429	0.024	2.194	1.270	0.577	0.800	1.386	3.118	0.444	8.930	6.445	2.182	torrentiel
71.429	0.024	2.367	1.386	0.577	0.850	1.595	3.349	0.476	10.764	6.749	2.208	torrentiel
71.429	0.024	2.540	1.501	0.577	0.900	1.819	3.580	0.508	12.814	7.046	2.232	torrentiel
71.429	0.024	2.714	1.617	0.577	0.950	2.057	3.811	0.540	15.088	7.336	2.254	torrentiel
71.429	0.024	2.887	1.732	0.577	1.000	2.309	4.041	0.571	17.598	7.620	2.276	torrentiel
71.429	0.024	3.060	1.848	0.577	1.050	2.576	4.272	0.603	20.350	7.898	2.296	torrentiel
71.429	0.024	3.233	1.963	0.577	1.100	2.858	4.503	0.635	23.354	8.172	2.316	torrentiel

Tableau V-5: les résultats des calculs pour un canal en béton avec la pente naturelle de deuxième tronçon

l/n	pente(m/m)	B	b(m)	m	h(m)	s(m ²)	p(m)	Rh(m)	débit (m ³ /s)	vitesse (m/s)	Nombre de Froude	régime
71.429	0.00065	4.619	2.887	0.577	1.50	5.629	6.351	0.886	9.46	1.680	0.403	torrentiel
71.429	0.00065	4.792	3.002	0.577	1.55	6.041	6.582	0.918	10.39	1.720	0.405	torrentiel
71.429	0.00065	4.965	3.118	0.577	1.60	6.466	6.813	0.949	11.37	1.759	0.408	torrentiel
71.429	0.00065	5.138	3.233	0.577	1.65	6.907	7.044	0.981	12.41	1.797	0.410	torrentiel
71.429	0.00065	5.312	3.349	0.577	1.70	7.361	7.275	1.012	13.51	1.836	0.412	torrentiel
71.429	0.00065	5.485	3.464	0.577	1.75	7.830	7.506	1.043	14.67	1.873	0.414	torrentiel
71.429	0.00065	5.554	3.510	0.577	1.77	8.022	7.598	1.056	15.15	1.888	0.415	torrentiel
71.429	0.00065	5.658	3.580	0.577	1.80	8.314	7.736	1.075	15.88	1.911	0.416	torrentiel
71.429	0.00065	6.004	3.811	0.577	1.90	9.324	8.198	1.137	18.50	1.984	0.420	torrentiel

La figure suivante montre les caractéristiques géométriques de notre profil trapézoïdal de première tronçon avec la pente naturel 0.024 et deuxième tronçon de pente naturel 0.00065 en béton

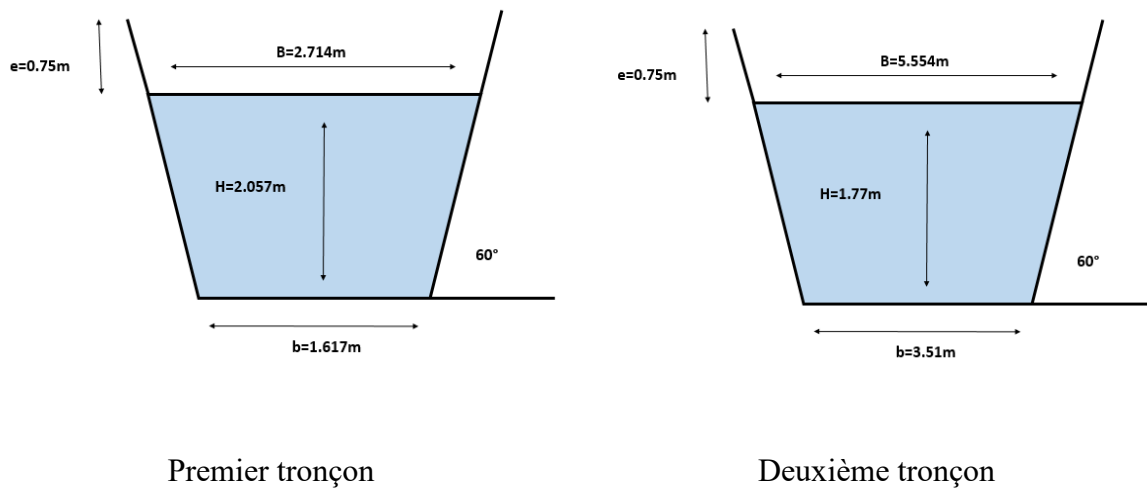


Figure V-3:caractéristique géométrique de notre section en béton avec la pente naturel

En remarque que la vitesse dépasse la limite de vitesse admissible de 4.5 m/s dans le premier tronçon, il faut donc réduire la pente de canal a 0.006 m/m.

Le deuxième tronçon la vitesse est inférieure à la vitesse admissible de 4.5m

Calculs pour la nouvelle pente 0.006 de première tronçon

Tableau V-6: les résultats Pour la pente corrigée 0.006 de première tronçon

l/n	pente(m/m)	B	b(m)	m	h(m)	s(m ²)	p(m)	Rh(m)	débit (m ³ /s)	vitesse (m/s)	Nombre de Froude	régime
71.429	0.006	2.887	1.732	0.577	1.00	2.309	4.041	0.571	8.80	3.810	1.138	torrentiel
71.429	0.006	3.233	1.963	0.577	1.10	2.858	4.503	0.635	11.68	4.086	1.158	torrentiel
71.429	0.006	3.580	2.194	0.577	1.20	3.464	4.965	0.698	15.08	4.352	1.176	torrentiel
71.429	0.006	3.597	2.205	0.577	1.205	3.496	4.988	0.701	15.26	4.365	1.177	torrentiel
71.429	0.006	4.272	2.656	0.577	1.40	4.850	5.889	0.824	23.58	4.861	1.209	torrentiel
71.429	0.006	4.619	2.887	0.577	1.50	5.629	6.351	0.886	28.74	5.105	1.224	torrentiel

La figure suivante montre les caractéristiques géométriques de notre profil trapézoïdal avec la pente corrigé 0.006 en béton

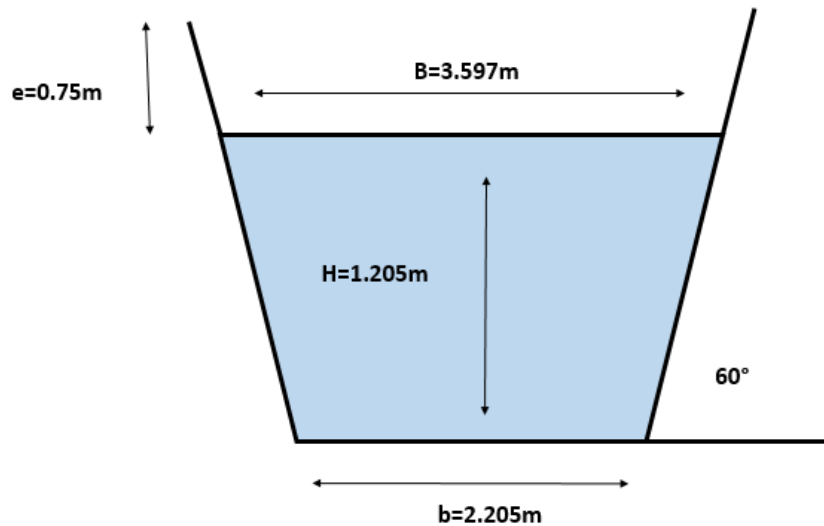


Figure V-7:Les caractéristique géométrique de notre section en béton avec la pente naturel 0.006

On propose de réaliser une grande chute de 11.86m ou bien pour faciliter de réalisation on réalise plusieurs chutes (73 chutes) de 0.16 m

Le schéma suivant représente cette proposition

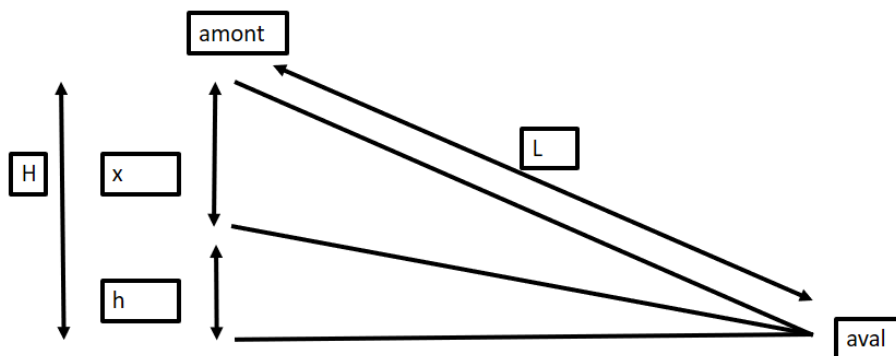


Figure V-4:schéma de proposition de réalisation de chute

H : la hauteur de canal

h : la hauteur de la pente corrigé

x : la hauteur de chute

L : la longueur de canal

V.4.7.2 Variante 2 : Canal en gabion

Les résultats de calcul des caractéristiques du canal trapézoïdal en gabion de pente naturelle 0.024 et angle de 60 sont présenté dans le tableau suivant :

Tableau V-7: les résultats Pour en gabion et les pentes naturelles et angle de 60 et n de 0.028:

l/n	pente(m/m)	B	b(m)	m	h(m)	s(m ²)	p(m)	Rh(m)	débit (m ³ /s)	vitesse (m/s)	Nombre de Froude	régime
35.714	0.024	2.887	1.732	0.577	1.00	2.309	4.041	0.571	8.80	3.810	1.138	torrentiel
35.714	0.024	3.233	1.963	0.577	1.10	2.858	4.503	0.635	11.68	4.086	1.158	torrentiel
35.714	0.024	3.580	2.194	0.577	1.20	3.464	4.965	0.698	15.08	4.352	1.176	torrentiel
35.714	0.024	3.583	2.196	0.577	1.201	3.470	4.970	0.698	15.11	4.355	1.177	torrentiel
35.714	0.024	3.926	2.425	0.577	1.30	4.128	5.427	0.761	19.03	4.610	1.193	torrentiel
35.714	0.024	4.272	2.656	0.577	1.40	4.850	5.889	0.824	23.58	4.861	1.209	torrentiel

La figure suivante montre les caractéristiques géométriques de notre profil trapézoïdal avec la pente 0.024 en béton avec gabion

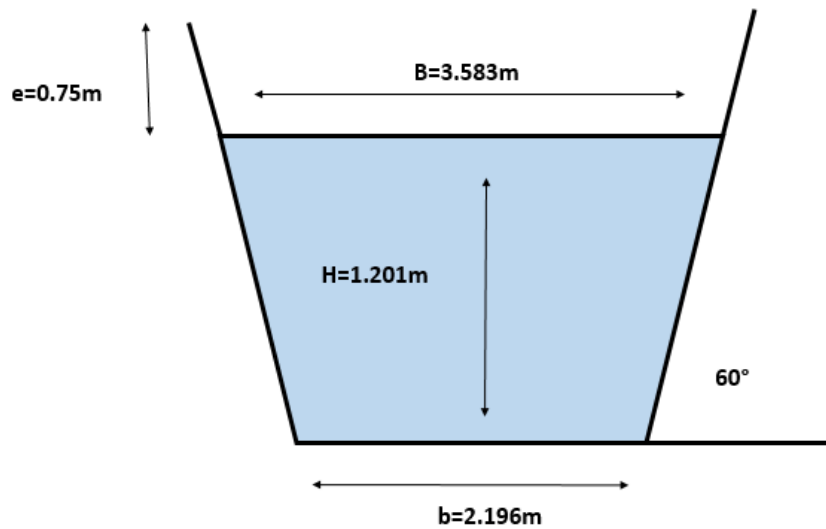


Figure V-5: Les caractéristiques géométriques de notre section en gabion avec la pente naturelle 0.024

V.4.7.3 Interpolation des résultats

D'après les résultats du calcul hydraulique de la section choisie du canal en béton du premier tronçon, il apparaît que, dans le cas de la pente naturelle, la vitesse d'écoulement dépasse la valeur admissible de 4,5 m/s. Il est donc nécessaire de corriger la pente longitudinale en créant des chutes d'une hauteur de 16 cm, permettant ainsi de réduire la vitesse et de dissiper l'excès d'énergie. Pour le deuxième tronçon, on garde la même pente de 0,0006 m/m. Pour la construction de ce canal, nous avons proposé deux variantes.

La première variante, pour le premier tronçon du canal en béton, présente les dimensions géométriques suivantes : une base de 2.205 m et une hauteur de 1,205 m avec une revanche de 0,75 m ; la hauteur totale du canal est donc de 1.955 m, avec une pente de 0,006 m/m.

Les dimensions géométriques du deuxième tronçon sont : une base de 3.51 m et une hauteur de 1,77 m, avec une revanche de 0,75 m ; la hauteur totale du canal est donc de 2.52 m, avec une pente de 0,00065 m/m. Cette variante présente des avantages et des inconvénients.

Avantage :

- Facilité de nettoyage.
- Les matériaux disponibles.
- Durabilité.

Inconvénients

- Cout élevé.
- Risque de fissuration.
- Réparation couteuse.

La deuxième variante est un canal trapézoïdal en béton avec gabion dimensionné comme suit : la base de 2.196 m et les hauteurs de 1.201 m avec une revanche de 0.75 donc la hauteur totale de canal est 1m avec une pente de 0.024, cette variante présente des avantages et des inconvénients.

Avantage :

- Protection contre l'érosion.
- Durabilité.
- Meilleures stabilités des talus.

Inconvénients :

- Cout élevé.
- Complexité de mise en œuvre (main d'œuvre qualifiée, pose des gabions).
- Risque de déformation.

En pratique, il n'existe pas de méthode standard permettant de déterminer directement les paramètres optimaux des canaux, car chaque site possède des caractéristiques particulières qui exigent une approche adaptée. Ainsi, plusieurs variantes

sont étudiées et comparées sur le plan économique. La solution retenue est généralement celle offrant le meilleur rapport coût-efficacité, on prend en compte les points suivants :

- La conception des canaux repose sur l'hypothèse d'un écoulement uniforme, avec un dimensionnement prévu pour résister aux événements extrêmes.
- Pour les débits réduits, une section triangulaire est généralement adoptée, Pour les débits importants, la section trapézoïdale constitue la solution la plus appropriée.
- L'alignement du canal est établi de manière à limiter sa longueur, tout en tenant compte de contraintes telles que le droit de passage, l'accessibilité et l'équilibre entre déblais et remblais.
- La pente du fond est définie en fonction de la topographie du site et la vitesse d'écoulement, tandis que la forme et les dimensions du canal sont choisies selon le débit à évacuer, la simplicité et le coût de construction, ainsi que l'efficacité hydraulique.

Le choix ne sera pas uniquement technique. La décision finale sera prise en concertation avec les responsables de la réalisation.

V.5 Conclusion

On a fait les calculs pour construire un canal en forme trapézoïdal. On propose deux variantes de le faire.

Première variante : un canal en béton par 2 tronçons de 650 m et de 310 m les dimensions de ces parties sont :

Premier tronçon : la base de 2.205 m et les hauteurs de 1.205 m avec une revanche de 0.75 donc la hauteur totale de canal est 1.955 m avec une pente de 0.006

Deuxième tronçon : la base de 3.51 m et la hauteur de 1.77 m avec une revanche de 0.75m donc la hauteur totale de canal est 2.52m, de la pente 0.00065 m/m

Deuxième variante : un canal en béton avec gabion : la base de 2.196m et les hauteurs de 1.201 m avec une revanche de 0.75 donc la hauteur totale de canal est 2.951 m avec une pente de 0.024.

Le choix entre la Variante 1 et la Variante 2 ne sera pas uniquement technique. La décision finale sera prise en concertation avec les responsables de la réalisation.

Conclusion général

Le principal objectif de cette étude est de proposer un aménagement hydraulique de protection de la station dessalement Cap Djinet 2 contre les inondations.

L'étude hydrologique a montré qu'il y'a un petit bassin versant couvrant une superficie de 1.07km². Il est situé entre une altitude de 107m et 21m. Les caractéristiques physiques de ce bassin versant montrent qu'il a une forme allongée avec une longueur de cours d'eau de 2.49km et un rectangle équivalent d'une longueur de 2.43km et d'une largeur de 0.4396 km.

D'après l'analyse de la série des données pluviométrique et climatologique, on trouve que : le débit de projet Q (100ans) de 15.09 m³ /s au niveau de l'exutoire de bassin

L'utilisation de logiciel HEC-RAS, nous a acquiescé d'avoir les niveaux de la ligne d'eau à plusieurs points du lit de cours d'eau et de localiser les zones envahies par les inondations, on remarque qu'il y a des débordements importants dans tous le long de notre cours d'eau.

Pour la crue centennale, les vitesses d'écoulement dans le tronçon considéré pour notre étude varient entre 0.15m/s et 7.68m/s les vitesses supérieures peuvent entrainer une érosion du lit de cours d'eau et les berges, les faibles vitesses favorise les sédimentations. la vitesse d'écoulement moyenne est de 1.62 m/s et la pente est non uniforme, la surface mouillée moyenne pour les sections en travers est de 28.52 m².

En fin on a opté pour la conception d'un canal artificiel à section transversale trapézoïdale, par ce que cette forme représente, la section la plus avantageuse pour les écoulements à surface libre ; et d'autre part, elle offre l'avantage d'être technicoéconomique

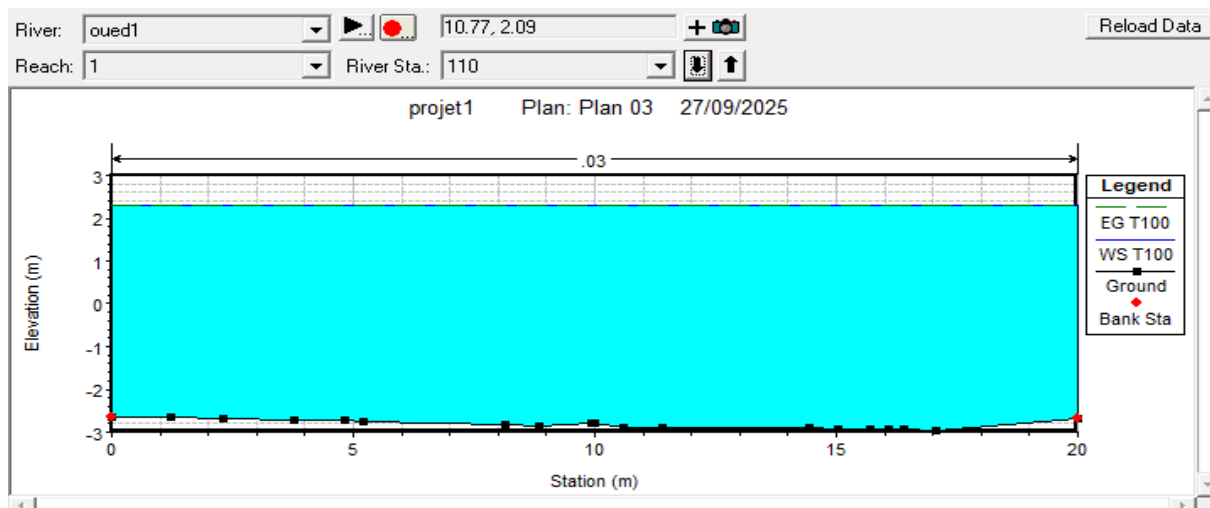
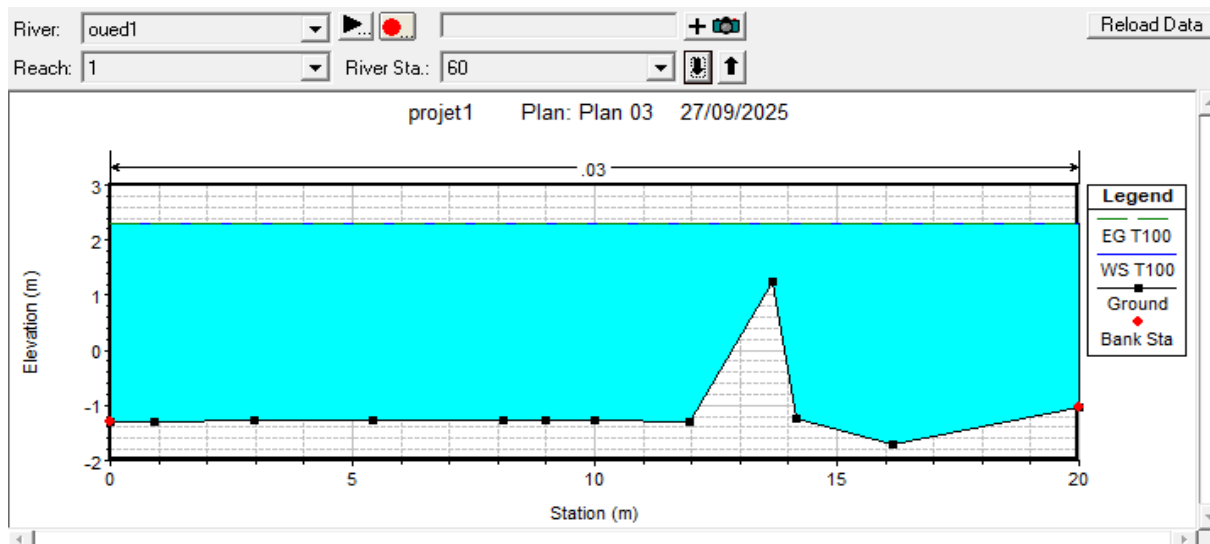
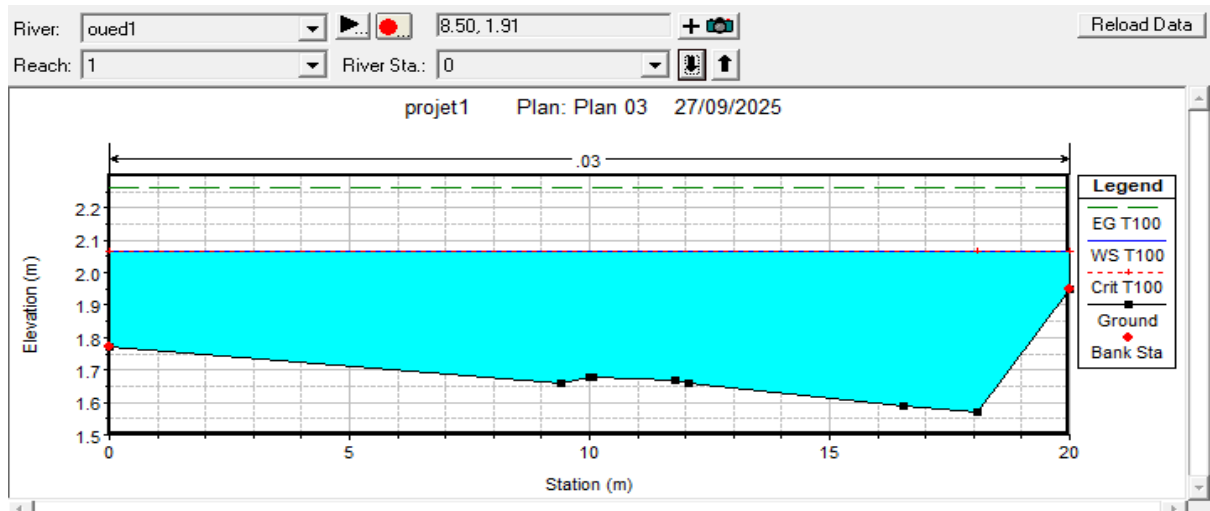
Pour notre cas nous proposons un canal en gabion pour le premier tronçon et en béton pour le deuxième. Le choix final du type de canal revient aux services concernés.

Liste des références

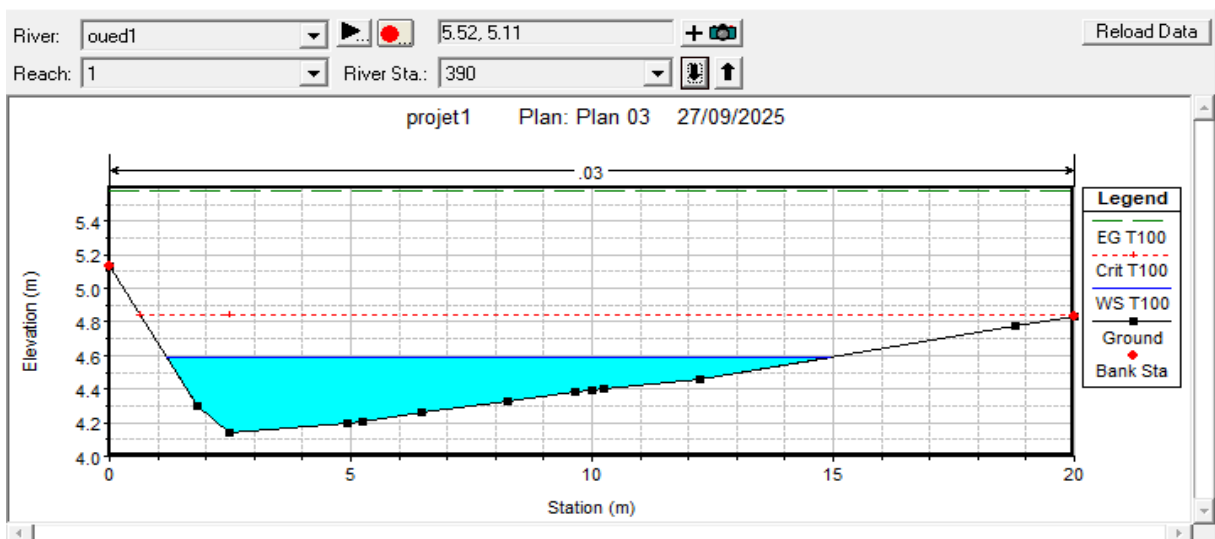
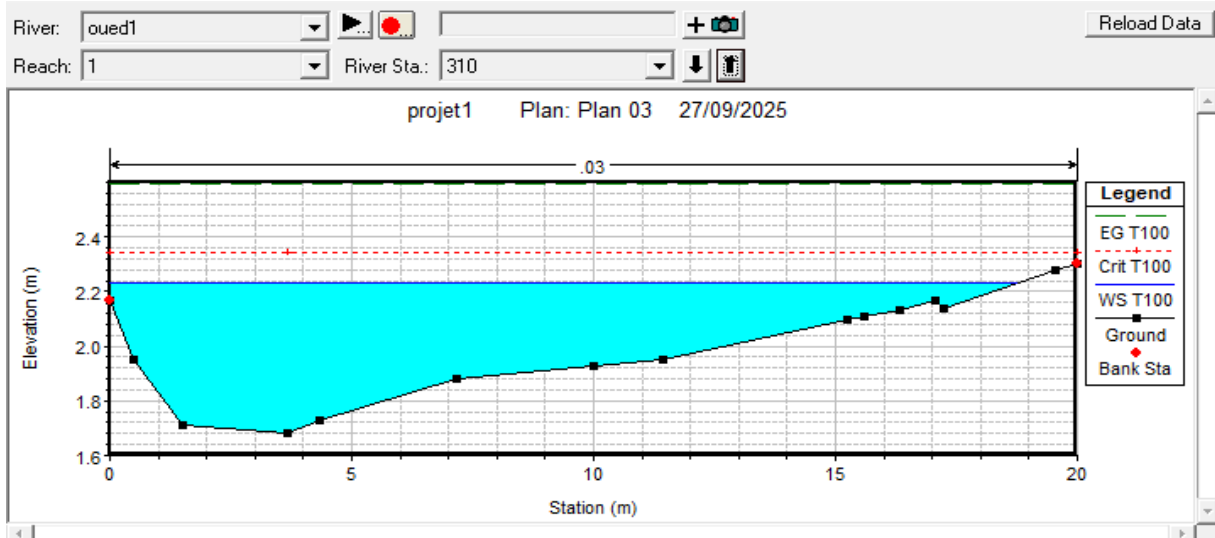
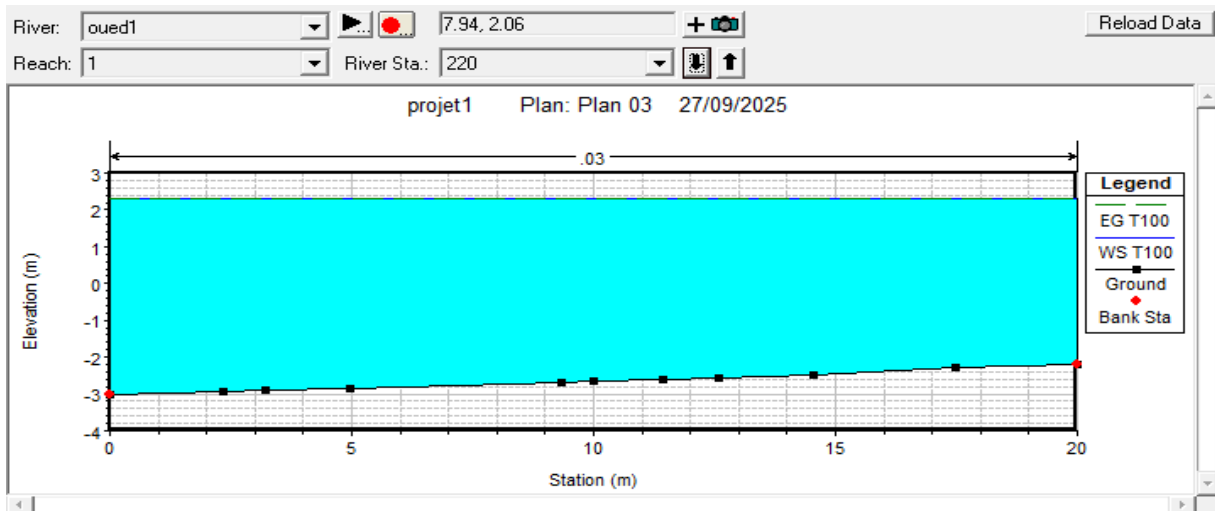
- [1] «l'inondation,» le ministère de l'écologie et du développement durable, aout 2004.
- [2] I. Hafiane et I. Benzaid , «lutte contre les inondations de la commune de Bouhachanna,» 2019.
- [3] S. Seddi et A. Benrezgua, «Protection des villes contre les Inondations cas commune El Anasser wilaya de Bordj Bou Arreridj,» 2022.
- [4] S. S. Mouaz et A. Saidi , «Contrôle des risques des crues à distance par système d'information géographique et propositions des techniques de protection contre les inondations: Cas de la w. de Tiaret,» w. de Tiaret, 2021.
- [5] M. NOURI, A. OZER et . P. OZER, «Geo-Eco-Trop,» [En ligne]. Available: https://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub_403_02.pdf.
- [6] «meteociel.fr,» [En ligne]. Available: https://www.meteociel.com/climatologie/obs_villes.php?code2=60387&mois=2&annee=2021&sn=0.
- [7] A. Rahai , «DELIMITATION DES ZONES INONDABLES – APPLICATION A L'OUED ALLALAH–Bassin Versant de Ténès,» ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE, Ténès, 2007.
- [8] «HEC-RAS 6.5 Training Tutorial Model Workshop Guide HEC-RAS Training,» [En ligne].
- [9] «HEC-RAS Rivers analyse systeme,» 2016. [En ligne]. Available: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Reference%20Manual.pdf>.

**Annexe 1: les section en travers après la
simulation**

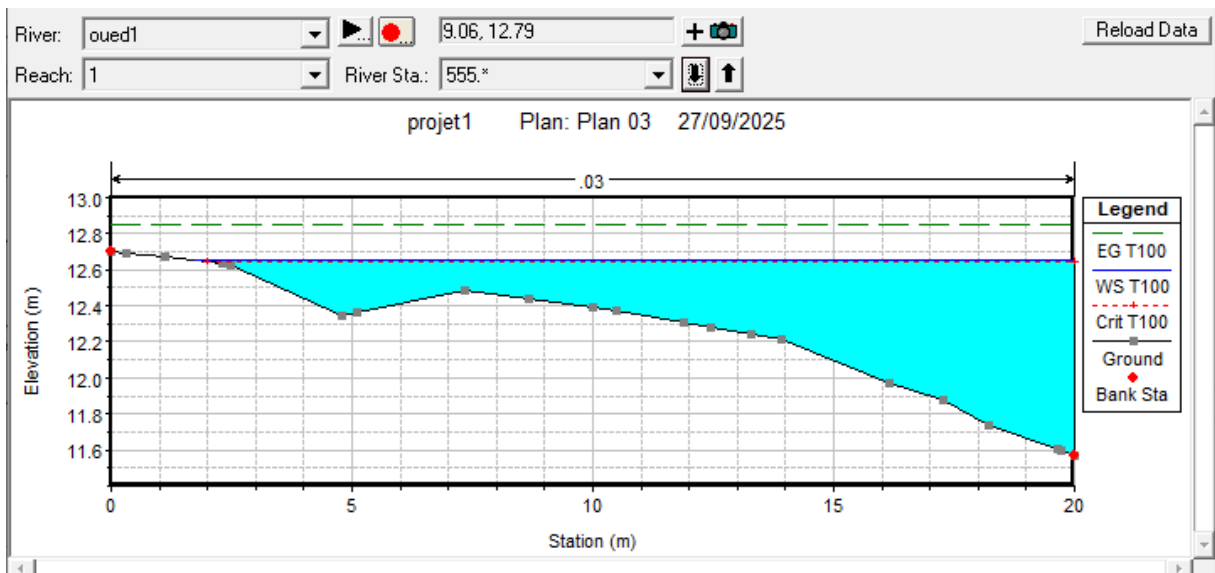
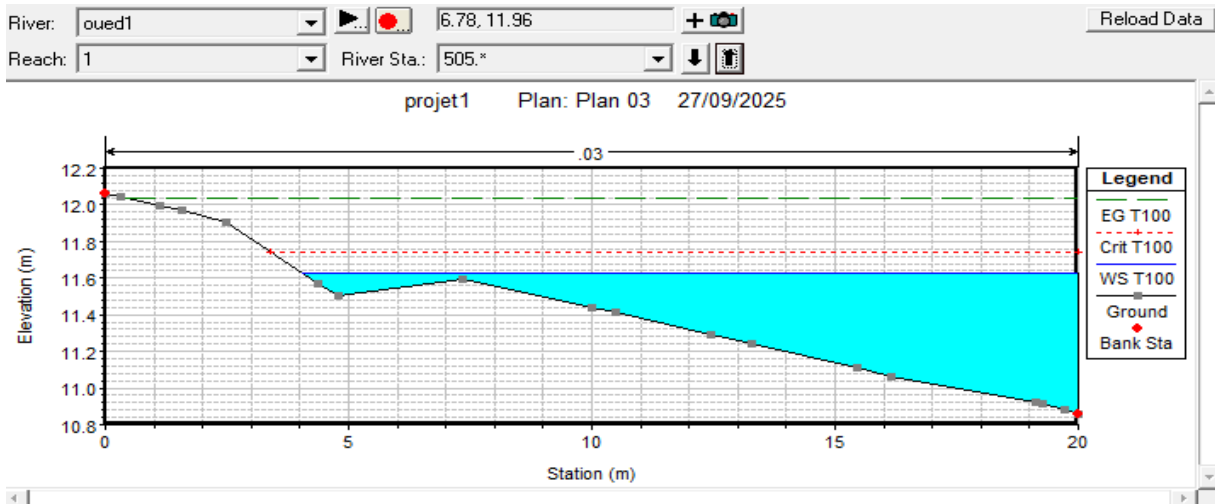
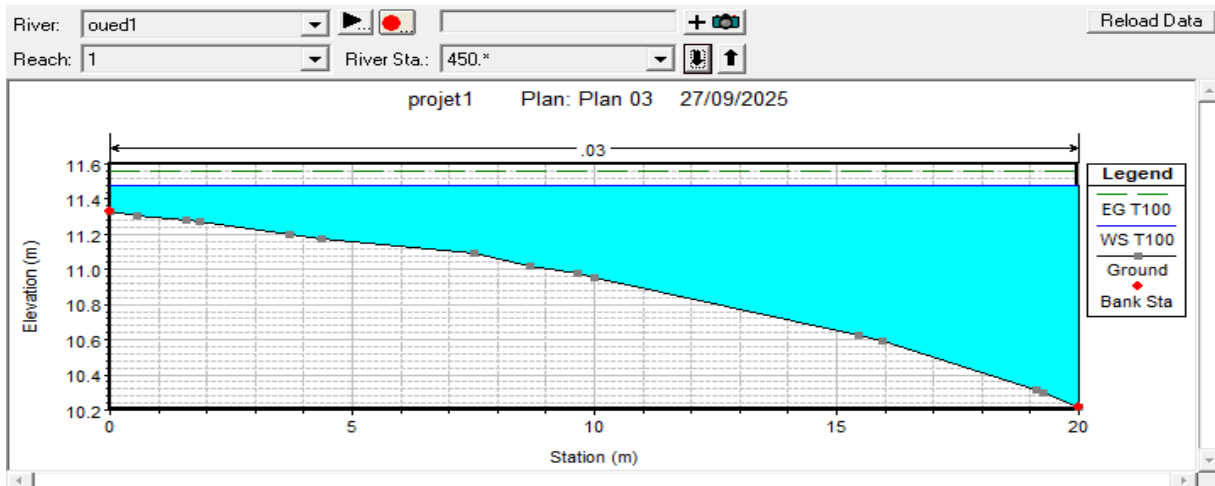
Station : 0, 60, 110



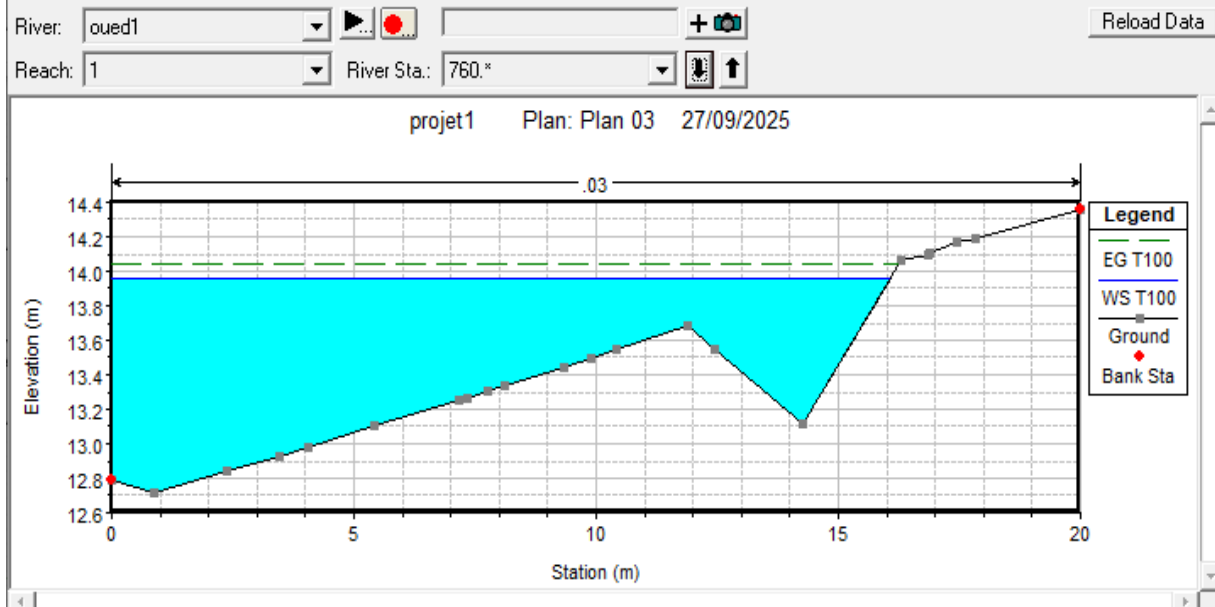
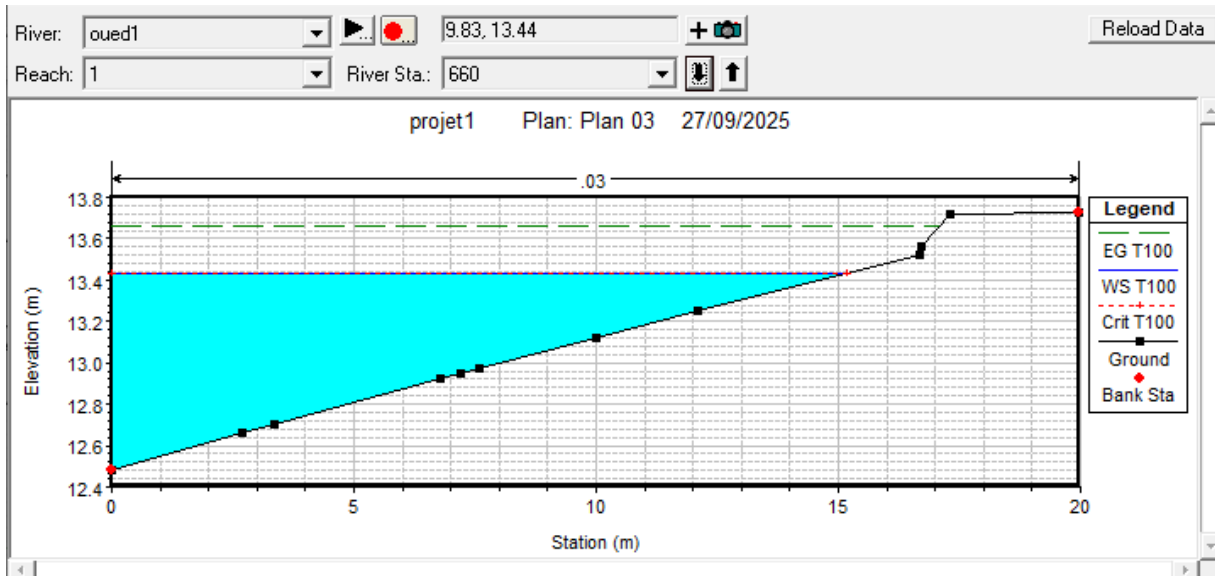
Station : 220, 310, 390



Station : 450, 505, 555



Station : 660, 760



Station : 860, 960

