

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

NATIONAL HIGHER SCHOOL FOR  
HYDRAULICS

"The Mujahid Abdellah ARBAOUI"



المدرسة الوطنية العليا للري

"المجاهد عبد الله عرباوي"

ⵓⵔⵓⵙⵓⵔ ⵓⵔⵓⵙⵓⵔ ⵓⵔⵓⵙⵓⵔ ⵓⵔⵓⵙⵓⵔ ⵓⵔⵓⵙⵓⵔ

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

**Option: Conception des ouvrages hydrotechniques**

### **THEME :**

Etude de protection de la ville de Khemis Miliana (Ain Defla) contre  
les risques d'inondation causés par l'oued Melah

### **Présenté par :**

**Hamri Alae Eddine**

### **Devant les membres du jury**

<b>Nom et Prénoms</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
B.BENLAOUKLI	Professeur	Président
M.BENSALAH	M.C.B	Examineur
E.OSMANI	M.A.A	Examineur
S .TOUAHIR	M.A.A	Promotrice

Session Septembre 2024

# Remerciements

*Ce travail a été accompli dans le cadre de la préparation de mon mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'État en Hydraulique.*

*Je souhaite exprimer ma sincère reconnaissance à ma directrice de recherche, Mme TOUAHIR SABAH, pour la confiance qu'elle m'a accordée, sa motivation, son accueil chaleureux et son soutien indéfectible tout au long de ce projet.*

*Je remercie également les membres du jury pour le temps qu'ils ont bien voulu consacrer à l'examen et à l'évaluation de ce mémoire.*

*Je tiens à exprimer ma gratitude à tous les enseignants de l'ENSH qui ont participé à ma formation et m'ont soutenu durant mon parcours académique.*

*Enfin, bien que je ne puisse pas mentionner tous les noms, je souhaite adresser ma reconnaissance à tous mes proches, ainsi qu'à toutes les personnes, de près ou de loin, qui ont apporté leurs conseils et leurs compétences, rendant ainsi possible l'achèvement de ce mémoire.*

*Hamri Alae Eddine*

# *Dédicace*

Je dédie ce travail à mes chers parents et mon Grand-père et ma grand-mère, dont l'amour inaltérable, le soutien indéfectible et la confiance en moi ont constitué les piliers de cette réussite académique. Merci pour tout.

À mes frères et ma sœur, Nafissa, Yassin, Nadjib et Wassim, pour leur affection inébranlable, leurs encouragements constants et leur croyance en mes capacités. Vous êtes ma force et ma source d'inspiration.

À mes amis, qui ont partagé avec moi les moments de joie et les épreuves, et qui ont été un soutien essentiel pour mon équilibre durant cette période d'études surtout :

Adel, Mohamed El Amine, Alae Eeddin, Ilyas, Osman, Abd El Rahman, Amar.

À mes enseignants, pour leur savoir-faire, leur patience et leur dévouement à transmettre leurs connaissances. Vos conseils avisés ont été déterminants pour l'accomplissement de ce travail.

À toutes les personnes, de près ou de loin, qui ont participé à la réalisation de ce mémoire, je vous exprime ma profonde reconnaissance.

Enfin, à moi-même, pour la persévérance, la détermination et les efforts investis pour atteindre cet objectif académique. Ce mémoire est le reflet de mon engagement et de ma passion pour ce domaine d'étude.

À tous ceux qui m'ont apporté leur aide : Amar Labdi, Adel Hadjar et Meriem.

Que cette dédicace soit un symbole de gratitude envers tous ceux qui ont joué un rôle significatif dans cette aventure intellectuelle.

*Hamri Alae Eddine*

## **المخلص :**

هذا العمل يهدف إلى تصميم نظام لحماية مدينة واد ملاح بمنطقة خميس مليانة من مخاطر الفيضانات. يتم ذلك عبر تحديد مستويات المياه القصوى للفيضانات لضمان أمان الموارد البشرية والمادية. مرت الدراسة بعدة خطوات أساسية، بدأت ببحث حول الفيضانات بشكل عام ثم بأخص في الجزائر وبوصف خصائص المنطقة المستهدفة، بعد ذلك، تم إجراء تحليل هيدرولوجي دقيق لدراسة تساقط الأمطار وحساب التدفق الأقصى لمياه الفيضانات. تم استخدام برنامج HEC-RAS لإجراء نمذجة هيدروليكية بهدف تحديد المناطق المعرضة لخطر الفيضانات وتقييم مستوى الخطر. بناءً على نتائج هذه النماذج، تم اقتراح خيارات متعددة للحماية، وتم اختيار الخيار الأمثل من الناحية التقنية والاقتصادية لدراسته بشكل مفصل.

**الكلمات المفتاحية:** تصميم نظام، واد ملاح، الفيضانات، نمذجة هيدروليكية، المناطق المعرضة للفيضانات.

## **Résumé :**

Ce projet vise à élaborer un système d'aménagement hydraulique pour protéger la ville d'Oued Melah et Khemis Miliana, en établissant les niveaux maximaux des eaux de crue afin d'assurer la sécurité des biens et des personnes. L'étude se déroule en plusieurs étapes essentielles : d'abord, une recherche bibliographique, suivie d'une description des caractéristiques de la zone concernée. Ensuite, une analyse hydrologique détaillée a été réalisée pour évaluer les précipitations et déterminer le débit maximal des eaux de crue. À l'aide du logiciel HECRAS, une modélisation hydraulique a permis d'identifier les zones à risque d'inondation et d'évaluer les dangers associés. Sur la base des résultats de cette simulation, plusieurs options de protection ont été envisagées, et la solution la plus appropriée sur les plans technique et économique a été retenue pour une étude plus approfondie.

**Mots clés :** aménagement hydraulique, protection, inondations, crue, oued Melah, Khemis Miliana.

## **Abstract:**

The purpose of this work is to design a hydraulic system to protect the town of Oued Melah in Khemis Miliana by determining the maximum floodwater heights to ensure the safety of both property and people. The study includes several key stages: a description of the characteristics of the study area, followed by a detailed hydrological analysis to examine rainfall and determine the peak floodwater flow. Hydraulic modeling using HECRAS software was employed to identify flood-prone areas and assess the associated risks. Based on the simulation results, various protection measures were proposed, and the option considered most suitable from both technical and economic perspectives was selected for further study.

**Keywords:** hydraulic system, protection, floodwater, Oued Melah, Khemis Miliana

# Table des matières :

<b><u>INTRODUCTION GENERALE</u></b> .....	1
<b><u>Chapitre I : Recherche Bibliographique</u></b> .....	3
Introduction .....	4
I.1. Aléa, enjeu et vulnérabilité : .....	4
I.1.1. Aléa .....	4
I.1.2. Enjeux .....	5
I.1.3. Vulnérabilité .....	5
I.1.4. Risque .....	6
I.1.5. Le risque d'inondation .....	7
I.1.6. Eléments de gestion du risque .....	8
I.2. Les inondations .....	9
I.3. La crue .....	9
I.4. Paramètres fondamentaux du cours d'eau .....	11
I.4.1. Lits du cours d'eau .....	11
I.5. Types d'inondation .....	12
I.5.1. Inondations de plaine ou par remontée de nappe affleurante .....	12
I.5.2. Crues torrentielles .....	14
I.5.3. Ruissellement pluvial .....	14
I.5.4. Autres types d'inondations .....	15
I.6. Les causes et origines des inondations .....	16
I.7. Conséquences engendrées par les inondations .....	16
I.8. Les inondations en Algérie .....	18
Conclusion .....	21
<b><u>Chapitre II: Présentation de la zone d'étude</u></b> .....	22
Introduction .....	22
II.1 Présentation de la zone études .....	23
II.2 Climatique .....	24
II.2.1.Vent .....	24
II.2.2 Températures .....	25

II.2.3 Précipitations .....	27
II.2.4 Sismicité .....	29
II.3. La géologique .....	30
II.3.1. Description détaillée des terrains sédimentaires .....	30
Conclusion .....	31
<b><u>Chapitre III : Etude hydrologique</u></b> .....	32
Introduction .....	33
III.1 Bassin Versant .....	33
III.1.1 Caractéristiques principales du bassin versant .....	33
III.1.1.1 Caractéristiques géographiques .....	33
III.1.1.2 Caractéristiques morphologiques .....	34
III.1.1.3 Caractéristiques géométriques .....	35
III.2. Caractéristiques hydrographiques .....	39
III.2.1. Étude du relief .....	39
III.2.1.1 La courbe hypsométrique .....	39
III.2.1.2 Les indices de pente .....	42
III.3 Étude du réseau hydrographique.....	49
III.3.1 Caractéristiques du réseau hydrographique .....	49
III.3.1.1. Hiérarchisation du réseau .....	49
III.3.2 Paramètres hydrographiques .....	50
III.3.3 Temps de concentration (Tc) .....	52
III.3.4. La vitesse de ruissellement Vr .....	56
III.4 Etude des crues .....	58
III.4.1 Les observations effectuées sur la station hydrométrique .....	58
III.4.1.1 Présentation de la station hydrométrique .....	58
III.4.1.2. Ajustement de la série des débits et des précipitations maximales quotidiennes .....	60
III.4.1.3 Sélection de la loi d'adaptation .....	65
III.4.2 Calcul des débits fréquentiels max en utilisant la méthode GRADEX ....	67
III.4.2.1 Les étapes du processus .....	68
III.4.2.2 Utilisation de l'approche GRADEX .....	69
II.4.3 L'hydrogramme de crue .....	74
III.4.4 Decision de la crue du projet .....	77

Conclusion :	78
<b><u>Chapitre IV : Diagnostic et modélisation du cours d'eau.</u></b>	<b>79</b>
Introuduction:	79
Généralités:	80
IV.1 Rappel de quelques notions :	80
IV.1.1 Paramètres Hydraulique:	80
IV.2 Dimensionnement des canaux :	84
IV.2.1 Caractéristiques géométriques :	86
IV.3 Mode d'écoulement dans les Oueds :	87
IV.3.1 Modes d'écoulement :	87
IV.3.2 Type d'écoulement :	88
IV.3.2 .1 Diversité dans l'espace :	88
IV.3.2.2 Diversité dans le temps :	89
IV.3. 3 Régime d'écoulement :	90
IV.4 Type des canaux :	93
IV.5. Diagnostic et modélisation du cours d'eau non aménagé :	100
IV.5.1.1Modélisation de l'écoulement :	100
IV.5.2.Modélisation hydrodynamique :	101
IV.5.3.Visualisation des résultats :	106
IV.5.4.Analyse des résultats :	110
IV.5.4.1 Cartographie des zones inondables :	111
IV.5.4.2.Procédure :	112
IV.6.Création des cartes d'inondations.	112
IV.6.1 Carte de profondeur :	113
IV.6.2 Carte de vitesse :	114
IV.6.3.Catégories d'aléa :	115
IV.6.4.une cartographie de l'occupation des sols :	116
IV.6.5. Cartographie de la vulnérabilité :	117
IV.6.6.Création de la carte des risques :	117
Conclusion :	118

<b><u>Chapitre V : Études des variantes d'aménagement.</u></b> .....	119
Introduction : .....	120
V.1.Les différents types d'aménagements : .....	120
V.1.1 La protection directe (Rapprochée) : .....	120
V.1.2 Protection indirecte (Eloignées) : .....	121
V.1.2.1 Protection contre l'érosion : .....	122
V.1.2.2 Érosion du lit : .....	122
V.1.2.3 Érosion des berges : .....	122
V.3.Calcul hydraulique des canaux : .....	123
V.3.1 Conditions pour un écoulement uniforme : .....	123
V.3.2 Formules de calcul : .....	123
V.4.Choix des paramètres de dimensionnement : .....	126
V.4.1 Variante d'un Canal en béton armé : .....	127
V.4.2 Variante d'un Canal en enrochement : .....	133
V.4.3.Variante d'un Canal en gabions : .....	138
V.4.4. Sélection de la variante d'aménagement : .....	142
V.4.5. Résultats des cartes de l'oued Melah après aménagement : .....	143
V.5.Les ouvrages de traversée : .....	146
V.5.1 Redimensionnement : .....	146
V.5.1.1 Choix de l'ouvrage de franchissement : .....	146
V.5.2 Les dalots : .....	147
V.5.3. Les différents types de dalots : .....	147
V.5.4. Installation des dalots : .....	148
V.6..Recommandation : .....	151
Conclusion : .....	151
<b><u>Chapitre VI : Etude génie civil.</u></b> .....	152
Introduction .....	153
VI.1 action et sollicitation : .....	153
VI.1.1 Actions : .....	153
VI.1.2 Sollicitations : .....	155
VI.2.Caractéristiques mécaniques des matériaux : .....	155

VI.2.1 Béton.....	155
VI.2.1.1 le retrait :.....	156
VI.2.1.2 Le fluage :.....	156
VI.2.2 Les armatures :.....	157
VI.3 Contraintes de calcul : .....	157
VI.3.1 Béton :.....	157
VI.3.2 Acier : .....	161
VI.4 Analyse des voiles : .....	163
VI.4.1 Fonctionnement d'un voile : .....	163
VI.4.2 Conception des voiles et des dalles massives :.....	163
VI.4.3 Recommandations selon le RPA99 : .....	163
VI.4.3.1.Ferrillages verticaux (article 7.7.4.1 RPA) :.....	163
VI.4.3.2.Ferrillages horizontaux (article 7.7.4.2 RPA) :.....	164
VI.5 Etude de stabilité d'un canal :.....	165
VI.5.1 Calcul des forces :.....	165
VI.5.2.la stabilité au renversement : .....	170
VI.5.3. la stabilité au glissement :.....	172
VI.5.4. La stabilité au poinçonnement :.....	174
VI.6. Le ferrailage du canal : .....	176
VI.6.1 Rôle du Ferrailage : .....	176
VI.6.2 Ferrailage des voiles :.....	176
VI.6.3Radier :.....	178
VI.6.3.1.Radier en béton armé :.....	178
VI.6.3.2Ferrailage du radier :.....	178
Conclusion : .....	179

## **Chapitre VII : Organisation de chantier.....180**

Introduction:.....	181
VII.1.Les intervenants présents sur le chantier :.....	181
VII.1.1. Le maître d’ouvrage : .....	181
VII.1.2. Le maître d'œuvre : .....	182
VII.1.3. L’entrepreneur : .....	182
VII.1.4 L'entreprise .....	183
VII.2. Installation du chantier : .....	183
VII.2.1.Les moyens de chantier : .....	184
VII. 2.1.1. Les ressources humaines : .....	184
VII.2.1.2. Les ressources matérielles : .....	184
VII.2.1.3. Les engins utilisés : .....	185
VII.3 Estimation quantitative et budgétaire du projet :.....	185
VII.4.Planification du Projet : .....	186
VII.4.1. Planning des Travaux : .....	187
VII.5. Techniques de la planification : .....	188
VII.5.1 Méthodes basées sur le réseau : .....	188
VII.5.2.Construction du réseau : .....	189
VII.5.3 Différentes méthodes basées sur le réseau : .....	189
VII.5.3.1 Méthode C.P.M (Critical Path Method) : .....	186
VII.5.3.2 Méthode P.E.R.T (Technique d'Évaluation et de Revue de Programme) : .....	190
VII..5.3.3. Méthodes graphiques : .....	190
VII.6. Méthode de calcul PERT : .....	191
VII.7. Diagramme de Gantt : .....	192

## **CHAPITRE VIII Protection et sécurité dutravail.....196**

Introduction : .....	197
VIII.1 Les causes des accidents durant la phase de construction : .....	197
VIII.1.1 Facteur matériel : .....	197
VIII.1.2 Facteur humain : .....	198
VIII.2 Les mesures de prévention contre les accidents du travail .....	198

VIII.3 Les équipements de protection.....	199
VIII.3.1 Protection individuelle : .....	199
VIII.3.2 Ordre et organisation sur le chantier : .....	202
VIII.3.3 Blindage .....	202
VIII.3.4 Mesures de prévention contre les incendies.....	203
VIII.4 Travaux de terrassement .....	203
VIII.5 Plan de sécurité adapté aux travaux de réalisation.....	204
VIII.6. Signalisation de sécurité .....	206
VIII.6.1 Description des panneaux de signalisation .....	206
VIII.6.2 Principes pour une signalisation efficace.....	206
VIII.6.3 Implémentation de la signalisation sur le chantier.....	207
Conclusion : .....	207
<b><u>Conclusion générale :</u></b> .....	208

# Liste des figures

## Chapitre I : Recherche Bibliographique

**Figure I.1 :** Le risque, croisement entre aléa et vulnérabilité (Garitte G., 2006)

**Figure I.2 :** Les risques d'inondation (©Eaufrance)

**Figure I.3:** Principaux processus superficiels et souterrains de génération des débits de crue (d'après Ambroise, 1995).

**Figure I.4:** décomposition graphique de l'hydrogramme de crue (d'après Réménieras, 1965).

**Figure I.5:** la structure du cours d'eau (office international de l'Eau)

**Figure I.6:** L'inondation par débordement de cours d'eau (© Agence française pour la biodiversité / Réalisation Matthieu Nivesse (d'après OIEau), 2018 - [LO-OL](#))

**Figure I.7:** L'inondation par remontée de nappe (© Agence française pour la biodiversité / Réalisation Matthieu Nivesse (d'après OIEau), 2018 - [LO-OL](#))

**Figure I.8:** L'inondation par ruissellement (© Agence française pour la biodiversité / Réalisation Matthieu Nivesse (d'après OIEau), 2018 - [LO-OL](#))

**Figure I.9:** L'inondation par submersion marine(© Agence française pour la biodiversité / Réalisation Matthieu Nivesse (d'après OIEau), 2018 - [LO-OL](#))

**Figure I.10:** Nombre de décès au cours de la période 1969-2022

**Figure I.11:** Nombre total de décès pour la période 1969-2022

**Figure I.12:** Principales inondations par province et nombre de décès sur la période 1969-2022

**Figure I.13:** Fréquence des inondations entre 1969 et 2022

**Figure I.14:** Pourcentages de fréquence des inondations pour la période 1969-2022

## **Chapitre II : Présentation de la zone d'études.**

**Figure II.1 :** Emplacement de la commune de Khemis Miliana.

**Figure II.2 :** Illustration du parcours de l'oued Melah.

**Figure II.3 :** Répartition des vitesses du vent en m/s (1986-2022) (Source : ONM).

**Figure II.4 :** Moyennes mensuelles des températures, ainsi que minimales et maximales, relevées à la station sélectionnée (1986-2022) (Source : ONM )

**Figure II.5 :** Évolution de la pluviométrie mensuelle sur plusieurs années (Source : ANRH Blida).

**Figure II.6:** Répartition saisonnière des précipitations moyennes annuelles en pourcentage De la station Herraz

**Figure II.7 :** Classification sismique des wilayas en Algérie (Addenda, 2003).

**Figure II.8 :** Les valeurs du coefficient d'accélération (selon RPA 99/2003)

**Figure II.9 :** extrait de carte géologique de Miliana n° 84 au 1/50.000°.

## **Chapitre III : Etude hydrologique.**

**Figure III.1 :** Cartographie du bassin versant étudié.

**Figure III.2 :** Classification des bassins versants en fonction du coefficient de Gravélius KG.

**Figure III.3 :** Carte hypsométrique du bassin versant d'oued Melah.

**Figure III.4 :** Répartition et courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Melah

**Figure III.5 :** Cartographie des pentes dans le bassin versant d'oued Melah.

**Figure III.6 :** Carte des courbes de niveau du bassin versant d'oued Melah.

**Figure III.7 :** Schéma du réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Melah.

**Figure III.8 :** La situation de la station hydrométrique de EL Ababsa est illustrée dans la (Source : ANRH-Blida).

**Figure III.9 :** présente le processus d'ajustement à la loi de Gumbel de la station 011715.

**Figure III.10 :** Graphique d'ajustement à la loi de Log normale de la station 011715 est présenté.

**Figure III.11 :** Analyse comparée des deux lois d'ajustement de la station 011715.

**Figure III.12 :** Comparaison des précipitations et droite d'extrapolation des débits.

**Figure III.13 :** Diagramme de crue pour la période de rétablissement Une centaine d'années pour les diverses stations.

**Figure III.14 :** La stations pluviométriques Sidi Lakhdar 011711 a été soumises à la crue.

## **Chapitre IV : Diagnostic et modélisation du cours d'eau.**

**Figure IV.1 :** Illustration illustrant la structure et la direction de l'écoulement (Source : Roland O. YONABA - 2015).

**Figure IV.2 :** Schéma représente la pente.

**Figure IV.3 :** L'eau exerce des forces sur les parois (Source : TOUMI Abdelouaheb, 2016).

**Figure IV.4 :** présente une coupe transversale d'un canal naturel.

**Figure IV. 5 :** Processus de circulation.

**Figure IV.6 :** Schéma illustrant les différents types d'écoulements (M. HASSANE, 2009/2010).

**Figure IV.7 :** illustre un écoulement non permanent et permanent (M. HASSANE, 2009/2010).

**Figure IV. 8 :** Transformation d'un mode fluvial en mode torrentiel.

**Figure IV. 9 :** Transition d'un mode torrentiel à un mode fluvial

**Figure IV.10:** Schéma présentant les différents types d'écoulement

**Figure IV.11 :**Le cours d'eau et son milieu environnant (Source : Dr Habibi Brahim - 2013).

**Figure IV.12 :** Canaux artificiels (D'après TOUMI Abdelouaheb - 2016).

**Figure IV. 13 :** Enrochement de canalisation (Source : Google).

**Figure IV. 14 :** canale en Gabion (Source : Google).

**Figure IV.15:** Canal en Béton (photo prise au barrage de Ghribe).

**Figure IV. 16:** Canal en blocs végétalisable (oued El Harrache).

**Figure IV. 17 :** Canal en géomembrane.

**Figure IV .18 :** canal mixte en enrochement et béton (m'sila)

**Figure IV.19 :**Les différents types de cours d'eau En fonction de la longueur et la localisation géographique

**Figure IV. 20:** Schéma de l'organisation du travail

**Figure IV. 21 :** Schéma représentant le dispositif informatique utilisé.

**Figure IV. 22:** montre l'interface utilisateur de la version 6.5 du logiciel HEC-RAS.

**Figure IV. 23 :**illustre le TIN établi pour oued Melah

**Figure IV. 24:** Insertion fichier de projection.

**Figure IV. 25 :** Insertion des données du terrain.

**Figure IV.26:** Définition du tracé de l'oued Melah et des sections en travers de l'oued.

**Figure IV.27:** Introduction des coefficients de rugosité de Manning pour le terrain naturel.

**Figure IV.28:** Introduction du débit de la période centennale pour le bassin versant

**Figure IV.29 :** Définition des conditions aux limites

**Figure IV.30 :** Représentation tridimensionnelle de l'oued Melah

**Figure IV.31:** La courbe de tarage .

**Figure IV.32:** Les profils en travers des quatre sections sélectionnées pour oued Melah .

**Figure IV.33:** La variation de la vitesse d'écoulement le long du cours d'eau pour oued Melah

**Figure IV.34:** Evolution du nombre de Froude en fonction de la distance d'oued Melah

**Figure IV.35 :** Réseaux des profondeurs d'eau lors d'une crue centennale.

**Figure IV.36 :** Carte des vitesses d'écoulement lors de la crue centennale

**Figure IV.37 :** Carte de l'aléa pour la crue centennale.

**Figure IV.38 :** Carte de l'occupation des sols

**Figure IV.39:** Carte des zones à risque d'inondation dans la zone d'étude.

## **Chapitre V : Études des variantes d'aménagement.**

**Figure V.1 :** Les composants géométriques pour différentes sections ouvertes (Graf, 2000)

**Figure V.2 :** Canal trapézoïdale en béton.

**Figure V.3 :** La profondeur normale du tronçon d'oued Melah .

**Figure V.4:** Dimensions du canal trapézoïdale en béton d'Oued Melah .

**Figure V.5 :** Profils transversaux d'un canal trapézoïdal lors d'une crue de 100 ans de l'Oued Melah.

**Figure V.6:** Mesures du canal en forme de trapèze de l'Oued Melah.

**Figure V.7 :** Profils transversaux d'un canal enroché pour une crue centennale de l'Oued Melah.

**Figure V.8 :** Canal en enrochement.

**Figure V.9 :** Section transversale d'un canal en gabion.

**Figure V.10 :** Profils transversaux d'un canal en gabion lors d'une crue centennale Oued Melah .

**Figure V.11 :** Vue en 3D du cours d'eau après l'aménagement en Béton armé

**Figure V.12 :** Carte de la profondeur d'eau de l'oued Melah après aménagement pour une période de retour de 100 ans avec un canal trapézoïdal en béton armé

**Figure V.13 :** Carte de vitesse oued Melah après aménagement pour une période de retour de 100 ans avec un canal trapézoïdal en béton armé.

**Figure V.14 :** Carte des Aléa de l'oued Melah après aménagement, pour une période de retour de 100 ans.

**Figure V.15:** Carte des risques de l'oued Melah après aménagement, pour une période de retour de 100 ans

**Figure V.16 :** Débit transporté par un seul dalot (données obtenues grâce à FLOW MASTER).

## **Chapitre VI : Etude génie civil.**

**Figures VI.1:** Evolution de la résistance du béton à la traction  $f_{tj}$  en fonction de celle à la compression  $f_{cj}$

**Figures VI.2:** Diagramme parabole-rectangle des Contraintes-Déformations du béton

**Figures VI.3:** Diagramme contrainte déformation du béton de calcul à l'ELS

**Figures VI.4:** diagramme contrainte-déformation d'acier

**Figures VI.5 :** Schéma statique des efforts.

**Figures VI.6 :** La géométrie du canal.

**Figures VI.7 :** Schéma de coupe longitudinale du voile sans prise en compte de l'eau.

**Figures VI.8 :** Schéma de coupe longitudinale du voile en compte de l'eau.

## **Chapitre VII : Organisation de chantier.**

**Figures VII.1 :** Relation entre les personnes du chantier (Ghomari, 2013).

**Figures VII.2 :** Schéma représentatif de la méthode de PERT.

**Figure VII.3 :** Réseau de planification des tâches par la méthode CPM.

**Figure VII.4:** Le diagramme de GANTT.

## **Chapitre VIII : Protection et sécurité du travail.**

**Figures VIII.1** : Équipements de protection individuelle des yeux, (Source : SETON).

**Figures VIII.2** : Équipements de protection individuelle de la tête et le cou,(Source : SETON et Hansler Smith).

**Figures VIII.3** : Les protection auditives, (Source : SETON et Cotral)

**Figures VIII.4** : Équipements de protection individuelle des main et bras, (Source : SETON).

**Figures VIII.5** : Équipements de protection individuelle des pieds, (Source : SETON et Gaston MILLE).

**Figures VIII.6** : Equipements de protection respiratoire, (Source : Amazon et 3 M).

**Figures VIII.7** : Equipements de protection corporelle,(Source : Expondo, BK Safety Wear, Surplus D'Armée Général).

**Figures VIII.8** : Système du blindage (Source : Canada-shoring)

# Liste des tableaux

## Chapitre I : Recherche Bibliographique

**Tableau I.1:** Conséquences des inondations

## Chapitre II : Présentation de la zone d'études.

**Tableau II.1:** Moyennes mensuelles de la vitesse du vent à la station du Barrage Herraiza (km/h) (1986-2022). (Source : ONM)

**Tableau II.2** Températures mensuelles minimales, moyennes et maximales observées à la station sélectionnée (en °C) (1986-2022). (Source : ONM).

**Tableau II.3 :** Répartition des pluies mensuelles interannuelles de la station pluviométrique Harraza 011718 khemis Miliana (Source : ANRH Blida).

**Tableau II.4 :** Répartition saisonnière des précipitations moyennes annuelles de la station Herraiza

## Chapitre III : Etude hydrologique.

**Tableau III.1 :** Caractéristiques géomorphologiques essentielles de la région étudié

**Tableau III.2 :** Paramètres hypsométriques du bassin versant d'Oued Melah.

**Tableau III.3 :** Caractéristiques altimétriques du bassin versant d'Oued Melah.

**Tableau III.4 :** Pente moyenne du bassin versant d'Oued Melah.

**Tableau III.5 :** Classification O.R.S.T.O.M du relief à partir de l'indice de pente globale

**Tableau III.6 :** Classification des reliefs d'après l'O.R.S.T.O.M. 1963.

**Tableau III.7 :** Résultats des calculs des pentes et de la dénivelée spécifique du bassin versant d'Oued Melah

**Tableau III.8 :** Résultats des calculs de temps de concentration

**Tableau III.9 :** Choix du temps de concentration.

**Tableau III.10 :** Paramètres hydrographiques du bassin versant d'oued Melah.

**Tableau III.11 :** Caractéristiques géomorphologiques du bassin versant de l'oued Melah.

**Tableau III.12 :** Description de la station hydrométrique « El Ababsa » (Source : ANRH).

**Tableau III.13 :** présente les caractéristiques des stations pluviométriques (Source : ANRH).

**Tableau III.14 :** Les débits maximaux annuels de la série enregistrés de la station 011715 sont présentés (Source : ANRH).

**Tableau III.15:** Les modèles fréquentiels et leur pertinence

**Tableau III.16 :** présente les résultats de l'ajustement à la loi de Gumbel.

**Tableau III.17 :** Les caractéristiques de la loi de GUMBEL et de l'échantillon sont comparées .

**Tableau III.18 :** Résultats d'ajustement à la loi de Log normal.

**Tableau III.19:** Analyse comparée des propriétés de la loi de Log normal et de l'échantillon.

**Tableau III.20 :** Résultat de l'analyse de  $\chi^2$

**Tableau III.21 :** Description des stations de mesure des précipitations (Source : ANRH).

**Tableau III.22 :** présente les précipitations maximales quotidiennes de la station pluviométrique de khemis (Source : ANRH).

**Tableau III.23:** Résultats de l'ajustement par la loi de Gumbel des précipitations maximales quotidiennes de la station pluviométrique de la station de khemiss . 011717.

**Tableau III.24 :** Calcul des résultats pour la station de khemiss pour les différentes périodes de retour.

**Tableau III.25: :** Résultats de l'adaptation des stations sélectionnées

**Tableau III.26:** L'hydrogramme de crue a un coefficient de forme. " $\delta$ ".

**Tableau III.27:** Paramètres de calcul de l'hydrogramme de crue

**Tableau III.28:** Valeurs du débits centennales en fonction du temps pour la zone d'étude

#### **Chapitre IV : Diagnostic et modélisation du cours d'eau.**

**Tableau IV. 1 :** présente les valeurs du coefficient de rugosité n. (Chen and Cotton, 1986)

**Tableau IV.2 :** Éléments hydrauliques principaux pour toutes les stations (Source : Logiciel HEC-RAS).

**Tableau IV.3:** Catégories de vitesse

**Tableau IV.4:** Critères pour évaluer l'intensité du risque (d'aléa) d'inondation (DDT, 2012).

## **Chapitre V : Études des variantes d'aménagement.**

**Tableau V.1 :** Valeurs du coefficient de rugosité (Chen et Cotton, 1986).

**Tableau V.2 :** Les valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolidés sont fondées sur les travaux de Degoutte (2012).

**Tableau V.3 :** Revanches appliquées (Degoutte, 2012).

**Tableau V.4** Dimensions de l'aménagement en béton de l'Oued Melah.

**Tableau V.5 :** Résultats de la simulation de l'écoulement dans un canal en béton de l'Oued Melah (Source : HECRAS).

**Tableau V.6** Devis de la variante canal trapézoïdale en béton armé en amont d'oued Melah.

**Tableau V.7 :** Dimensions de l'aménagement en enrochement de l'Oued Melah .

**Tableau V.8:** Résultats de la simulation de l'écoulement dans un canal en enrochement de l'Oued Melah (Source : HECRAS).

**Tableau V.9 :** Sections d'enrochement.

**Tableau V.10 :** Volumes d'enrochement.

**Tableau V.11 :** Sections du géotextile.

**Tableau V.12** Devis de la variante canal en enrochement Totale d'oued Melah.

**Tableau V.13 :** Résultats du calcul du nombre de caisses pour le canal en gabion oued Melah.

**Tableau V.14 :** Résultats de la simulation de l'écoulement d'un canal en gabion de l'Oued Melah (Source : HECRAS).

**Tableau V.15 :** Devis de la variante canal en gabion oued Melah.

**Tableau V.16 :** tableau comparatif des diverses options d'aménagement.

**Tableau V.17 :** Bénéfices et inconvénients des diverses solutions suggérées.

**Tableau V.18:** Résultats de calcul du nombre des dalots nécessaires.

**Tableau V.19 :** Devis Des Ouvrages de traversés oued Melah.

## **Chapitre VI : Etude génie civil.**

**Tableau VI.1 :** Caractéristiques mécaniques.

**Tableau VI.2** Résultat des calcul les charges et les surcharges.

**Tableau VI.3 :** Les résultats des moments calculés à l'ELU et l'ELS

**Tableau VI.4 :** L'excentricité de la résultante des charges

### **Chapitre VII : Organisation de chantier.**

**Tableau VII.1 :** Engins utilisés

**Tableau VII.2** Estimation de la variante de canal trapézoïdal en béton armé pour le total de l'oued Melah

**Tableaux VII.3** Liste des opérations avec leurs durées.

**Tableau VII.4 :** Résultats de calcul par la méthode du tableau.

### **Chapitre VIII : Protection et sécurité du travail.**

**Tableau VIII.1 :** Plan de sécurité au travail (Sedrati, 2018).

**Tableau VIII.2 :** Signification des couleurs de sécurité (Cartier & Sabater, 2004).

## **Liste des planches :**

**Planche n°1 :** I Réseux Hydrographique de bassin versant.

**Planche n°2 :** PLAN DE MASSE D'oued Melah.

**Planche n°3 :** lever géologique d'oued Melah la ville de Khemis Miliana .

**Planche n°4 :** Coupe détaillée de la variante choisie du béton armé et L'ouvrages en travers

**Planche n°5:** Profil en long du canal en béton trapézoïdal sur le tronçon d'oued Melah.

**Planche n°6:** Coupe détaillée de la variante du Gabion et Enrochement.

## **Liste des Annexes :**

**Annexe n°01 : I :** Carte topographique de la zone de Khemis Miliana.

**Annexe n° 02 :** Carte du réseau hydroclimatique et de la surveillance de la qualité des eaux.

**Annexe n° 03 :** Tableau des valeurs de  $\chi^2$ .

**Annexe n° 04 :** Coefficient de rugosité de Manning.

**Annexe n° 05 :** Organigramme -1- Section Rectangulaire A LELU en Flexion Simple.

**Annexe n° 06 :** Tableau des armatures en acier.

## Liste des abréviations :

Abréviations	Signification
1D	Unidimensionnel
2D	Bidimensionnel
I	Pente hydraulique
IBV	Pente du bassin Versant
Ic	Pente du talweg principale (%)
Im	Pente moyenne du bassin versant m/Km
Imoy	Pente moyenne du cours d'eau m/Km
Ip	Indice de pente de Roche %
Kc	Indice de compacité
KG	L'indice de compacité de Gravelius
Le	Lamme d'eau écoulée (mm)
Ca	Coefficient d'allongement
Cp	Coefficient de pointe
BV	Bassin versant
P	Périmètre (Km) ;
Pj.max	Pluie maximal journalière (mm)
Qmoy	Débit moyen de la crues (m3/s)
Qt	Débit à l'instant t (m3/s) ;
RH	Rayon hydraulique (m)
S	Surface du bassin versant
SBV	Sous Bassin versant
Sm	Surface mouillée (Km2)

<b>Abréviations</b>	<b>Signification</b>
Fr	Nombre de Froude
g	Accélération due à la gravité (m/s <sup>2</sup> )
Tb	Temps de base (h)
Tc	Temps de concentration (heures)
Td	Temps de décrue (h)
Tm	Temps de montée de la crue (heures)
Vr	Vitesse de ruissellement (km/h)
TIN	Triangulated Irregular Network
SIG	Système d'Information Géographique
DA	Dinar Algérien
ESRI	Environmental systems research institute
GRADEX	Gradient de l'exponentielle
HEC- RAS	Hydrologic Engineering Center's River Analysis System
MNT	Model numérique du terrain
BA	Béton Armé
E.L.S	Etat Limite De Service
E.L.U	Etat Limite Ultime
ART	Article
R.P.A	Règles Parasismiques Algériennes
A <sub>s</sub>	Section D'aciers
A <sub>s</sub> '	Section D'aciers Comprimés
R <sub>hd</sub>	force stabilisatrice.
$M_{Ser}$	Moment Fléchissant A L'E.L.S
$M_U$	Moment Fléchissant A L'E.L.U
Hd	$\sum$ des forces horizontale (déstabilisatrices)
Vd	La somme des forces verticale

<b>Abréviations</b>	<b>Signification</b>
ONA	Office national d'Assainissement
ONM	Office National de la Météorologie
ORSTOM	Office de la recherche scientifique et technique outre-mer
SONATRACH	Société nationale pour la recherche, la production, le transport, la transformation, et la commercialisation des hydrocarbures
SST	Sécurité et de santé au travail
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
ANRH	Agence Nationale des ressources hydrauliques
CRSTRA	Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides
OMM	L'Organisation météorologique mondiale
APFM	Programme associé de gestion des crues
CID	Conseil Ingénierie et Développement
JICA	L'Agence japonaise de coopération internationale
MEN	Mécanisme d'examen des normes
OIT	L'Organisation internationale du Travail

## Outils du travail :

### ❖ ArcGIS :

ArcGIS est une série de logiciels pour la gestion de l'information géographique, créée par la société américaine ESRI (Environmental Systems Research Institute, Inc.). Cette suite se compose de trois éléments principaux :

- **ArcMap** : Ce programme permet de gérer et d'éditer des fichiers au format géodatabase, facilitant ainsi la gestion sophistiquée des données géospatiales.
- **ArcCatalog** : Cet outil est conçu pour l'organisation des données, offrant des capacités avancées d'exploration des objets traités, en se basant sur un système de gestion de base de données (SGBD) pour une vue complète des données géographiques.
- **ArcToolbox** : Ce composant regroupe une série d'outils pour transformer les données géospatiales, simplifiant leur manipulation et analyse détaillée.

### ❖ Autocad :

Autocad est un logiciel de Conception Assistée par Ordinateur (CAO) développé par Autodesk.

### ❖ HEC-RAS :

HEC-RAS est un logiciel dédié à l'analyse hydraulique, conçu pour modéliser les écoulements à surface libre dans les canaux naturels et artificiels, tout en tenant compte des ouvrages de passage. Il permet de simuler les écoulements avec variations graduelles en régime transitoire et de calculer les lignes d'eau en régime dynamique, en prenant en compte les divers obstacles le long du cours d'eau.

### ❖ **HYFRAN :**

Le logiciel Hyfran, développé par l'Institut national de la recherche scientifique - Centre Eau Terre Environnement (INRSETE), est utilisé pour calibrer les fonctions de distribution, comme expliqué par Bobée et al. en 1999. Il utilise le critère d'information bayésien pour identifier la distribution la mieux adaptée aux données examinées.

### ❖ **GANTT :**

Le logiciel Gantt, nommé d'après Henry L. Gantt, est un outil crucial pour la gestion de projets. Il permet de créer des diagrammes de Gantt, qui offrent une vue visuelle des tâches d'un projet sur une échelle de temps. Chaque tâche est représentée par une barre horizontale dont la longueur indique sa durée, et leur position sur le diagramme montre leur ordre chronologique. Les versions modernes du logiciel proposent des fonctionnalités avancées telles que la planification des ressources, le suivi des progrès, et la gestion des dépendances, en faisant un outil essentiel pour la planification et le suivi de projets de toutes tailles et de tous types.

## INTRODUCTION GENERALE :

Dans l'imaginaire collectif, l'eau évoque autant l'Eden que le déluge car un jour le fleuve peut naturellement déborder tout comme la houle peut naturellement déferler sur le continent. Les phénomènes d'inondation, de submersion, d'érosion et d'intrusion marine qui en résultent constituent une menace pour les paysages environnants, la biodiversité, les écosystèmes et donc les populations dont les moyens de subsistance dépendent. D'après les projections climatiques, ces risques hydrométéorologiques devraient devenir plus fréquents et plus graves dans la région méditerranéenne, engendrant des catastrophes qui mettent en péril la vie humaine et l'intégrité de l'environnement naturel (*GIEC, 2019 ; Cramer et al., 2018*). Par conséquent, le niveau d'exposition est prévu pour augmenter dans un avenir proche.

L'ampleur des inondations peut varier considérablement, allant de petites inondations locales à des catastrophes majeures touchant plusieurs pays. Elles peuvent être causées par divers événements, tels que de fortes pluies, des tsunamis ou des crues de rivières (*Tarasova et al., 2019*). Selon leur origine, les inondations peuvent se manifester soudainement ou progressivement, notamment lors de la crue d'une rivière. Généralement, elles surviennent dans les zones côtières ou à proximité des voies d'eau, mais dans ces cas, leur ampleur est souvent limitée (*Ba et al., 2022*).

Le risque d'inondation est une préoccupation croissante en Algérie et à l'échelle mondiale, surtout à la suite de plusieurs catastrophes d'inondations majeures récentes dans divers pays. Dans ce contexte, il devient impératif pour les décideurs et les techniciens de mettre en place des systèmes de protection contre les inondations pour mieux gérer cette menace.

Khémis Miliana se trouve dans une région où les oueds sont fréquemment sujets à des crues saisonnières. L'aménagement de l'oued Melah, qui traverse le centre de la ville est essentiel pour garantir la sécurité des habitants. En effet, lors des périodes de crue ou de fortes pluies, l'oued peut présenter un danger significatif, notamment pour les enfants et les personnes vulnérables. De plus, cet aménagement contribuera à protéger les infrastructures situées à proximité, telles que les routes et les habitations, contre l'érosion et les crues, prolongeant ainsi leur durée de vie et réduisant les coûts de réparation à long terme .

Cela conduit à poser la question suivante : Comment les collectivités locales peuvent-elles améliorer leur résilience face aux risques d'inondation en intégrant des stratégies durables pour la gestion des eaux pluviales et l'aménagement du territoire ? Ce projet cherche à répondre à cette question et à d'autres problématiques connexes. Notre objectif est de déterminer la crue de projet, qui est le scénario d'inondation le plus probable et le plus critique que la ville pourrait faire face Il repose sur une analyse hydrologique, la simulation des flux dans leur état naturel, des calculs hydrauliques, et une conception assistée par ordinateur. L'objectif principal est de proposer des

solutions d'aménagement tout en préservant l'environnement de la zone concernée. Le travail est divisé en Huit chapitres, organisés comme suit :

**Chapitre 01 :** Ce chapitre est dédié à la recherche bibliographique, explorant les concepts scientifiques fondamentaux tels que l'aléa, la vulnérabilité et le risque. Il inclut également une revue générale des inondations, en mettant un accent particulier sur les événements significatifs dans l'histoire, avec une attention spécifique à la situation en Algérie.

**Chapitre 02 :** Il présente la zone d'étude, en détaillant la localisation géographique, la climatologie et la géologie de l'aménagement du cours d'eau de l'oued Melah pour comprendre les conditions naturelles influençant les inondations.

**Chapitre 03 :** Ce chapitre décrit les caractéristiques géomorphologiques des sous-bassins versants à l'aide de logiciels SIG et réalise une étude hydrologique pour estimer les débits de crue de l'oued Melah, en utilisant le logiciel HYFRAN.

**Chapitre 04 :** Il évalue l'état actuel des oueds, mesure les hauteurs d'eau en fonction des débits prévus, et simule le comportement naturel des oueds avec le logiciel HEC-RAS pour identifier les zones à risque.

**Chapitre 05 :** Ce chapitre se concentre sur le dimensionnement hydraulique des sections d'écoulement, propose différentes variantes d'aménagement avec le logiciel FLOWMASTER et fournit une estimation des coûts.

**Chapitre 06 :** Il vérifie la stabilité de la variante choisie face aux séismes, en utilisant deux méthodes de calcul et procède au ferrailage nécessaire.

**Chapitre 07 :** Ce chapitre propose une organisation du chantier pour assurer le bon déroulement du projet, avec une estimation des coûts et des délais de réalisation.

**Chapitre 08 :** Il aborde les aspects de protection et de sécurité au travail, visant à garantir le bien-être des travailleurs et à prévenir les accidents.

En conclusion, une synthèse générale des résultats résume les différentes sections abordées dans le document.

# **Chapitre I : Recherche Bibliographique**

## **Introduction :**

Les inondations, intégrées aux dynamiques naturelles, ont joué un rôle clé à la genèse du paysage. Cependant, elles constituent également des catastrophes parmi les plus graves et dévastatrices. Ces dernières décennies, l'expansion des zones urbaines à proximité des zones inondables a amplifié les impacts négatifs de ces événements (*Madi et al., 2023*). En Algérie, les inondations sont devenues un risque majeur avec des répercussions significatives sur la population et l'environnement. Les autorités locales et nationales ont accordé une attention croissante à ce risque, avec la réalisation d'études sur la protection urbaine, l'aménagement des oueds et la cartographie des risques d'inondation pour en réduire les effets et en atténuer les impacts.

### **I.1. Aléa, enjeu et vulnérabilité :**

#### **I.1.1. Aléa :**

L'aléa, dans son sens général, représente la probabilité qu'une situation, un événement ou une cause quelconque se produise. Dans le domaine des risques naturels, il est perçu comme un danger potentiel, avec des caractéristiques spatio-temporelles spécifiques et une intensité variable, pouvant causer des dommages. (*Haziza 2007*) le décrit comme un événement menaçant, caractérisé par son intensité sur une période et une zone déterminées, ainsi que par la probabilité de son occurrence.

Pour *Griot et Ayral (2001)*, l'aléa est la possibilité qu'un phénomène se manifeste, résultat de facteurs ou de processus qui échappent en partie au contrôle humain. Cette définition souligne l'imprévisibilité et le caractère en partie incontrôlable de l'aléa.

*Propeck-Zimmermann et al. (2009)* définissent l'aléa comme la probabilité qu'un événement, pouvant avoir des effets dommageables, survienne dans une zone spécifique. Ils mettent l'accent sur la dimension probabiliste de l'aléa et son potentiel impact.

L'évolution des pratiques et des réglementations, selon *Chocat (1997)*, montre une attention croissante à la vulnérabilité des milieux exposés aux risques. Ainsi, l'accent est mis non seulement sur la probabilité de l'aléa mais aussi sur la capacité des milieux à y faire face.

*Gilbert (2006)* suggère que l'aléa représente une occasion pour que les vulnérabilités se manifestent. Selon cette perspective, l'aléa révèle les faiblesses préexistantes dans les systèmes ou les environnements concernés.

En somme, les différentes définitions de l'aléa soulignent sa dimension probabiliste tout en intégrant les aspects de vulnérabilité des milieux. Cette approche met en évidence la nécessité de considérer à la fois la probabilité d'un événement et la résilience des environnements face à ces événements.

### **I.1.2. Enjeux :**

Dans les discussions sur le risque, le terme « enjeu » apparaît fréquemment et est devenu étroitement lié à la notion de vulnérabilité. Les enjeux représentent les personnes et les biens directement menacés par un aléa, susceptibles de subir des dommages ou des préjudices (*Griot et Ayral, 2001*). *Propeck-Zimmermann et al. (2009)* définissent les enjeux comme tout ce qui peut être endommagé ou perturbé, englobant ainsi la composition et le fonctionnement global du territoire, y compris la population, les bâtiments, l'environnement naturel et les infrastructures de transport.

Selon *Demoraes et D'Ercole (2009)*, les enjeux sont des éléments essentiels au bon fonctionnement et au développement d'un territoire. Leur dommage, défaillance ou perte aurait des conséquences particulièrement graves pour le territoire en question.

### **I.1.3. Vulnérabilité :**

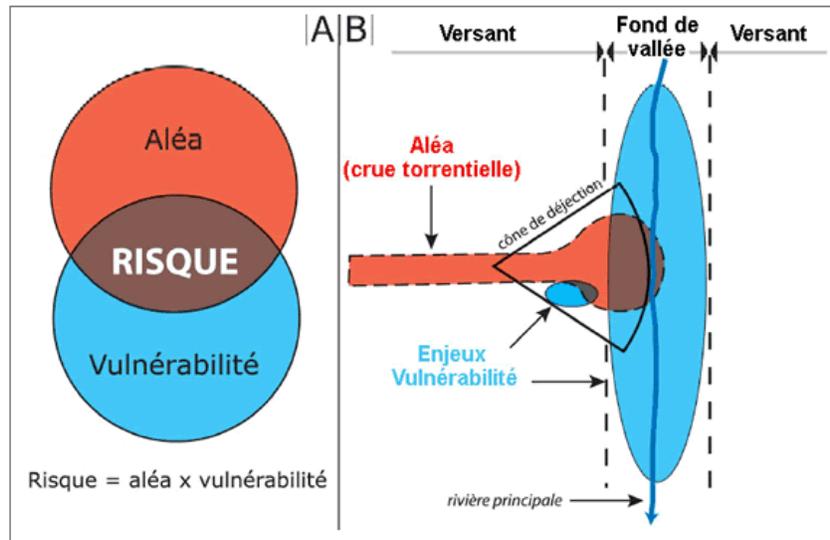
Contrairement à l'aléa, la notion de vulnérabilité n'a émergé dans les études qu'assez tardivement (*Ruin et Lutoff, 2004; Veyret et Laganier, 2013; Koks et al., 2015*). Elle a progressivement remplacé des termes tels que sensibilité, susceptibilité, et fragilité (*Veyret et Reghezza, 2006*). *Haziza (2007)* la définit comme la « réponse territoriale à l'aléa ». Selon *Griot et Ayral (2001)*, la vulnérabilité représente « un indice de fragilité des éléments à risque vis-à-vis de la survenue d'un événement », tandis que *Veyret et Reghezza (2006)* la décrivent comme « le degré de dommages causés par l'exposition des enjeux ». *Blaikie et al. (1994)* considèrent la vulnérabilité comme le degré de perte que les enjeux pourraient subir en cas d'apparition d'un aléa d'une certaine intensité. Cette approche est en accord avec celle de l'Intergovernmental Panel on Climate Change (*IPCC, 2014*).

Pour *d'Ercole et Pigeon (1999)*, la vulnérabilité est la « propension d'une société à subir des dommages en cas de manifestation d'un phénomène naturel ou anthropique ». Cette définition est similaire à celle de *Propeck-Zimmermann et al. (2009)*, qui voient la vulnérabilité comme « la propension des enjeux à subir des dommages ». De même, dans cette étude, la vulnérabilité est définie selon *Gleyze et Reghezza (2007)* comme « la propension d'un enjeu humain, matériel, environnemental, etc., à subir un dommage ». Ainsi, un enjeu est considéré comme vulnérable si son intégrité est menacée par un aléa.

La relation entre aléa et vulnérabilité donne naissance à la notion de risque. Cependant, cette relation peut sembler ambiguë. *Chocat (1997)* affirme que « la vulnérabilité est totalement indépendante de l'aléa », bien qu'elle se manifeste lors de la survenue de celui-ci. Cette vue est partagée par de nombreux auteurs, dont *Veyret et Reghezza (2006)*, qui définissent la vulnérabilité comme « une propriété intrinsèque d'une société, d'un groupe social ou d'un individu, un facteur

interne au risque, quasi indépendante de l'aléa dans le sens où elle préexiste à ce dernier, mais révélée par lui ».

La diversité des définitions dans la littérature souligne le caractère plurivoque de la vulnérabilité (Shi et Zeng, 2013; Lummen et Yamada, 2014; Marzo et al., 2015). Ainsi, la caractérisation de la vulnérabilité est souvent un exercice complexe (Haziza, 2007). Toutefois, pour une gestion efficace des risques sur un territoire, il est crucial d'évaluer de manière intégrée les interactions entre les paramètres d'aléas et les vulnérabilités (Reghezza, 2009).



Légende :

A : Schéma théorique.

B : Application à un territoire montagnard : les implantations humaines, localisées en fond de vallée et bas de versants, doivent faire face à un aléa torrentiel.

**Figure I.1 :** Le risque, croisement entre aléa et vulnérabilité (Garitte G., 2006)

#### **I.1.4. Risque :**

La notion de risque est complexe et variée, avec de nombreuses définitions proposées par différentes disciplines (Füssel et Klein, 2006 ; O'Brien et al., 2007). Moser (2010) note que les définitions fournies par les géographes et autres chercheurs présentent souvent des lacunes, des redondances, des confusions, et parfois des contradictions entre les disciplines. Selon Thomi (2010), la définition du risque varie largement selon l'approche adoptée, qu'elle soit axée sur des aspects techniques et fonctionnels ou sur des dimensions sociales et psychologiques.

Le risque est fréquemment compris comme le résultat des interactions entre une société et son environnement dans un espace spécifique (Kron, 2002 ; UNISDR, 2011 ; IPCC, 2014 ; Poussin et

al., 2012). Il est décrit comme étant « inhérent au système territorial » (*Meschinet de Richemond et Reghezza, 2010*) et « profondément enraciné dans le territoire » (*November, 2002*). Cette notion est qualifiée de « composite » et est vue comme la « concrétisation potentielle de phénomènes plus ou moins prévisibles ayant des répercussions souvent négatives dans l'espace et le temps » (*Demoraes et D'Ercole, 2009*).

Le risque est également défini comme « le résultat de la rencontre entre un élément perturbateur de nature aléatoire et un élément vulnérable » (*Chocat, 1997*), ou comme « la probabilité de perte affectant des objets (les enjeux) exposés à un événement dommageable (l'aléa) » (*Veyret et Reghezza, 2006*). *November (2002)* le décrit comme « quelque chose de potentiel, qui ne s'est pas encore produit, mais qui pourrait devenir un événement néfaste pour les individus ou une collectivité dans un ou plusieurs espaces donnés ».

L'approche classique du risque naturel distingue entre deux composantes principales : l'aléa, qui désigne le processus physique à l'origine du danger, et la vulnérabilité, qui se réfère à la propension des enjeux à subir des dommages (*Meschinet de Richemond et Reghezza, 2010*). *Bourrelier (2006)* affirme que la compréhension du couple aléa/vulnérabilité est essentielle pour la gestion de tous les risques. Il est généralement admis que le risque émerge de la combinaison d'une menace (l'aléa) et d'enjeux plus ou moins vulnérables (*Léone, 2007*). Cette vulnérabilité est déterminée par l'exposition physique, c'est-à-dire « la nature et le degré d'exposition d'un système à un aléa » (*Füssel et Klein, 2006*), ou par la combinaison de la fréquence des aléas et de la population exposée (*Peduzzi et al., 2009*).

#### **I.1.5. Le risque d'inondation :**

Le risque d'inondation se traduit par la possibilité qu'une rivière débordante provoque des dégâts de divers niveaux, allant de peu pénalisants à très graves, et parfois même un danger pour les habitants. Cette situation met en lumière deux aspects différents. Le débordement de la rivière est un phénomène naturel avec une part d'aléa, ce qui constitue la composante « ALÉA » du risque. Les dégâts résultent de la sensibilité du site affecté par ce phénomène, représentant la composante « VULNÉRABILITÉ ». Ainsi, le « RISQUE » se forme de la combinaison de ces deux éléments distincts : l'aléa et la vulnérabilité. Le risque est spécifique à un lieu : pour qu'une zone soit considérée comme « à risque », il doit y avoir une discordance entre l'aléa qu'elle subit et sa vulnérabilité, ou une discordance entre la vulnérabilité attribuée à la zone et l'aléa auquel elle est exposée.

Il est également évident que l'aléa et la vulnérabilité sont des notions continues et graduelles. Les crues varient en intensité, allant des plus faibles aux plus sévères. De même, les degrés de vulnérabilité des terres varient de manière continue, du marécage aux installations industrielles critiques, en passant par les champs agricoles et les quartiers résidentiels. . (*Ingénieries –EAT-1995/Sécial Risques naturels*)(*O.Gilard*)



**Figure I.2** : Les risques d'inondation (©Eaufrance)

### **I.1.6. Eléments de gestion du risque :**

La gestion du risque repose sur plusieurs mesures complémentaires. La culture du risque permet aux différents acteurs, des riverains aux décideurs, de bien comprendre le problème et d'adopter des « bons réflexes » lors des crises.

La prévention du risque consiste à organiser le territoire pour réduire le risque global. Cela implique de réglementer l'utilisation des sols et de réaménager les cours d'eau pour atteindre un niveau de risque acceptable qui concilie les divers intérêts de la société. En parallèle, la gestion des crises cherche à limiter les effets dommageables lorsque le risque se concrétise, en se focalisant sur les impacts individuels plutôt que globaux. Cette gestion inclut des techniques telles que la prévision des crues, les plans d'alerte et de secours, ainsi que les assurances. Pour une gestion du risque efficace, ces trois approches sont indispensables et se complètent mutuellement.

La méthode Inondabilité, que nous discuterons plus loin, a pour objectif d'améliorer la compréhension du risque pour mieux prévenir et gérer l'occupation des sols, comme déjà mentionné. (*Ingénieries –EAT- 1995/Special Risques naturels*)(O.Gilard)

## **I.2. Les inondations :**

### **Définition :**

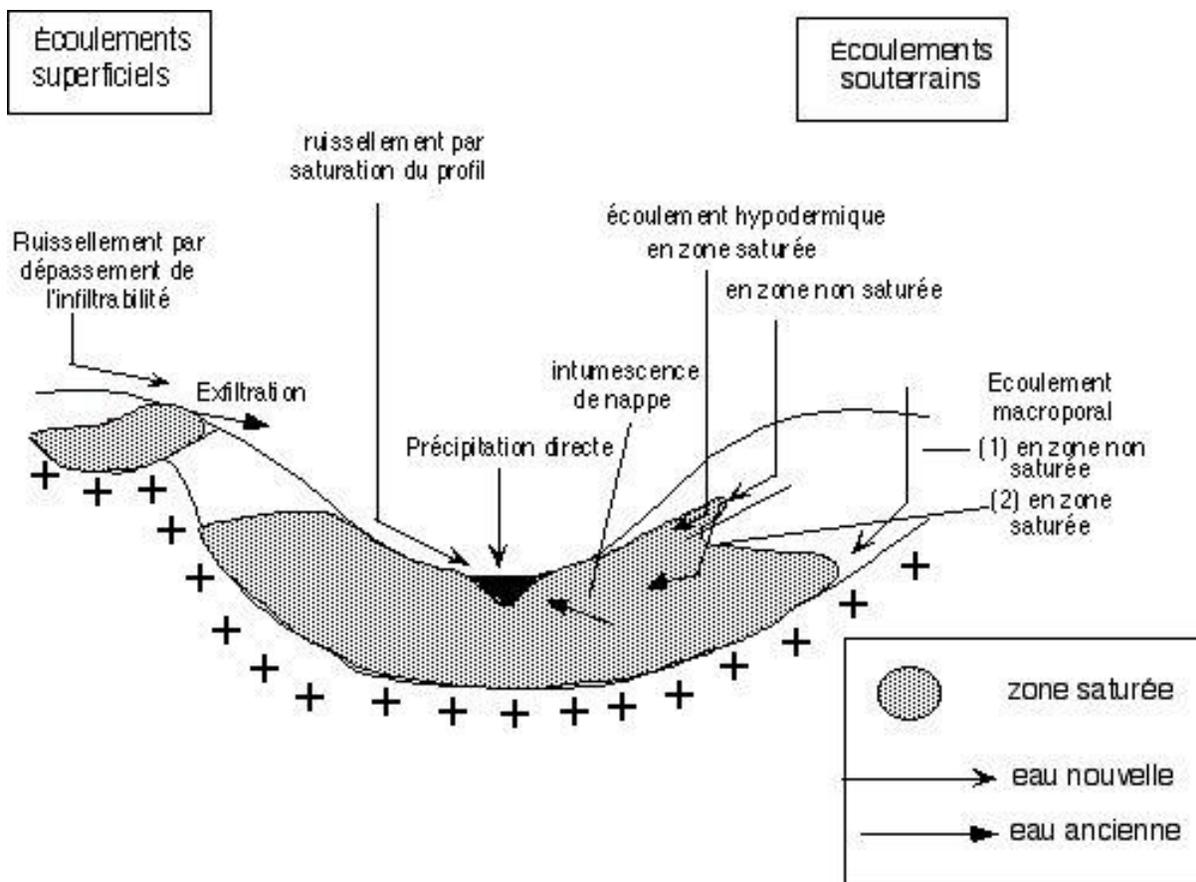
Les inondations se définissent comme le phénomène où l'eau, s'écoulant dans des cours d'eau confinés ou d'autres réservoirs, déborde et risque de submerger des zones normalement non affectées par les flux d'eau habituels (*GIEC, 2012*). Ces événements représentent des risques naturels aux répercussions transdisciplinaires, et leur relation avec le changement climatique en amplifie l'ampleur et les dimensions.

Au cours du dernier siècle, les inondations ont constitué plus de 30 % des risques naturels survenus, entraînant d'importantes destructions ainsi que la perte de vies humaines et de biens précieux. Les pays en développement sont particulièrement exposés aux risques d'inondation en raison de leur faible capacité d'adaptation et de l'insuffisance de leurs infrastructures pour faire face à ces catastrophes (*Shah et al., 2019*). Si l'augmentation des risques d'inondation dans ces pays est principalement liée aux changements environnementaux et climatiques, les activités humaines telles que l'urbanisation sur les lits de cours d'eau amplifient également les impacts des inondations (*Shah et al., 2017*).

## **I.3. La crue :**

Une crue se produit lorsque le niveau d'un cours d'eau dépasse son niveau moyen habituel. Selon le cours d'eau, une crue peut varier en termes de :

- **Fréquence** : Elle peut être fréquente ou rare.
- **Vitesse** : Elle peut se développer rapidement ou lentement.
- **Abondance** : Elle peut être plus ou moins abondante et régulière.



**Figure I.3:** Principaux processus superficiels et souterrains de génération des débits de crue (d'après Ambroise, 1995).

Les crues peuvent survenir à des moments habituels ou inattendus, et peuvent être soit bénéfiques, en apportant du limon fertile, soit catastrophiques, entraînant des inondations majeures. Certaines crues sont liées à des phénomènes récurrents, comme la mousson, tandis que d'autres sont dues à des événements météorologiques spécifiques, comme des orages violents ou des cyclones. Dans certains cas, elles résultent de la combinaison de plusieurs phénomènes, comme les subversions marines causées par une forte houle, des coefficients de marée élevés, une onde de tempête et une crue estuarienne.

L'activité humaine peut exacerber le risque d'inondation. Le développement économique en zone inondable, ainsi que les aménagements tels que les voiries, les activités agricoles et la déforestation, modifient les conditions d'écoulement de l'eau en imperméabilisant le sol et en réduisant les zones d'expansion des crues. Le manque d'entretien des rives par les riverains aggrave également ce risque.

Pour déterminer si une rivière est en crue, les géographes et hydrologues utilisent souvent des critères basés sur le débit moyen. Ces critères permettent de classer les crues selon leur fréquence : saisonnières, annuelles, décennales, centennales, etc.

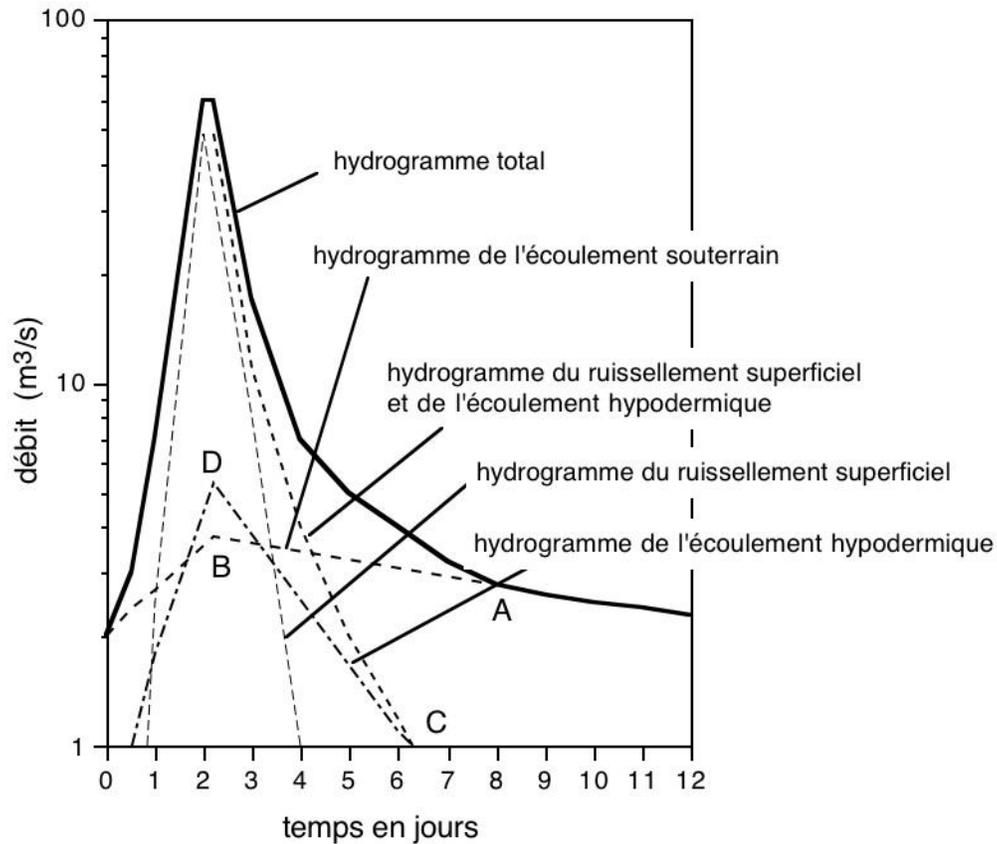


Figure I.4: décomposition graphique de l'hydrogramme de crue (d'après Réménieras, 1965).

## I.4. Paramètres fondamentaux du cours d'eau :

### I.4.1. Lits du cours d'eau :

La distinction classique entre lit mineur et lit majeur peut être simpliste. En fonction du débit et du niveau d'eau, on peut affiner cette classification :

- **Le chenal d'étiage** : Le lit des très basses eaux, où se forment des bancs d'alluvions et des îles basses. Il correspond au débit le plus bas observé en période de sécheresse.
- **Le lit mineur habituel** : Délimité généralement par la végétation riveraine, il représente le lit ordinaire du cours d'eau pour les débits d'étiage ou les crues fréquentes (annuelles).

- **Le lit majeur immédiat** : Inondé lors des crues. Il inclut les anciens bras ou chenaux abandonnés et les segments de berges basses. Le lit majeur comprend les zones situées autour du lit mineur, s'étendant de quelques mètres à plusieurs kilomètres, et sa limite est atteinte lors des crues exceptionnelles.
- **Le lit moyen** : Observé dans certains climats, comme les régions méditerranéennes. Lors des crues avec une période de retour de 1 à 10 ans, l'inondation couvre les terres adjacentes et s'étend dans le lit moyen. Ce lit représente l'espace habituellement occupé par la rivière lors des crues moyennes.

## La structure du cours d'eau

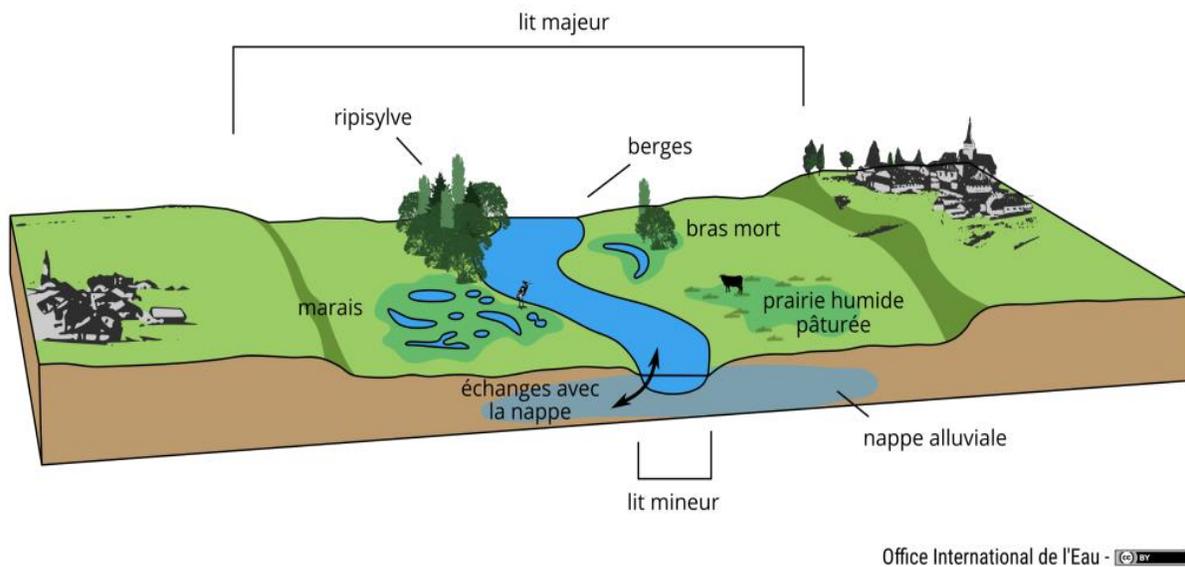


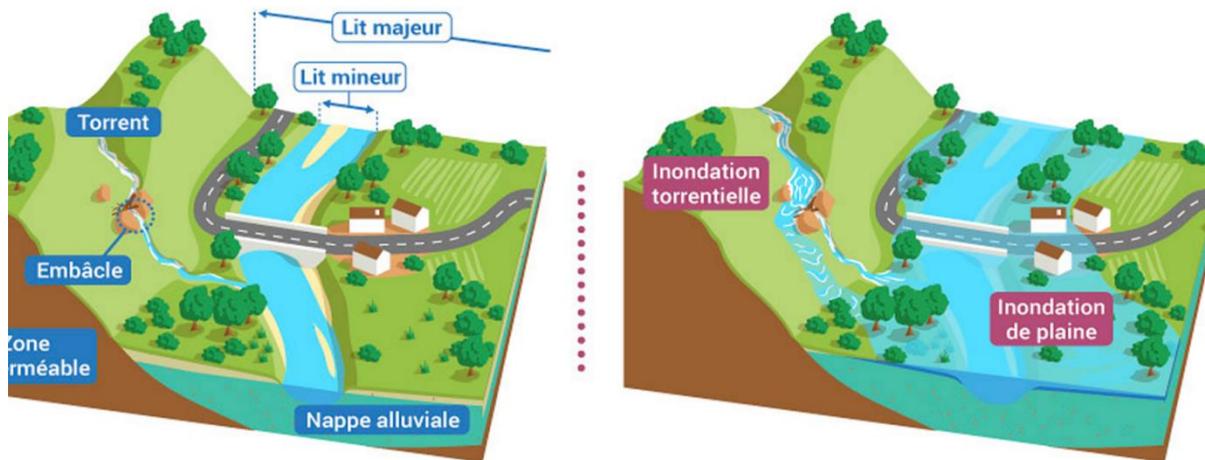
Figure I.5: la structure du cours d'eau (office international de l'Eau)

### I.5. Types d'inondation :

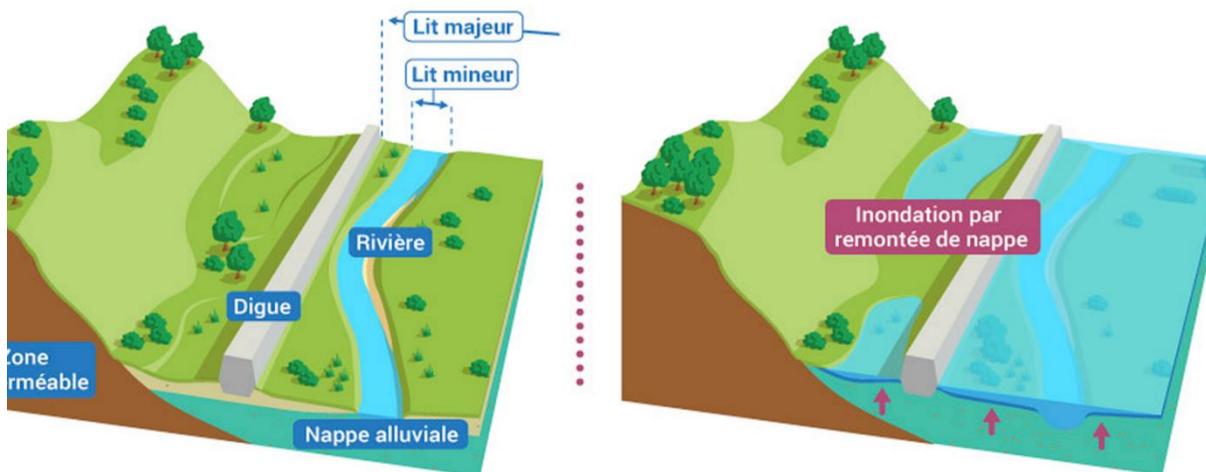
#### I.5.1. Inondations de plaine ou par remontée de nappe affleurante

- **Inondations de plaine** : Ces inondations surviennent lorsque la rivière déborde lentement de son lit mineur, envahissant la plaine pendant une période prolongée. La rivière occupe alors son lit moyen et parfois son lit majeur.

- **Inondations par remontée de nappe phréatique** : Après des périodes prolongées de pluie, les nappes phréatiques peuvent affleurer et provoquer des inondations, particulièrement dans les terrains bas ou mal drainés. Ce phénomène, qui évolue lentement, peut durer plusieurs semaines.



**Figure I.6:**L'inondation par débordement de cours d'eau (© Agence française pour la biodiversité / Réalisation Matthieu Nivesse (d'après OIEau), 2018 - [LO-OL](#))



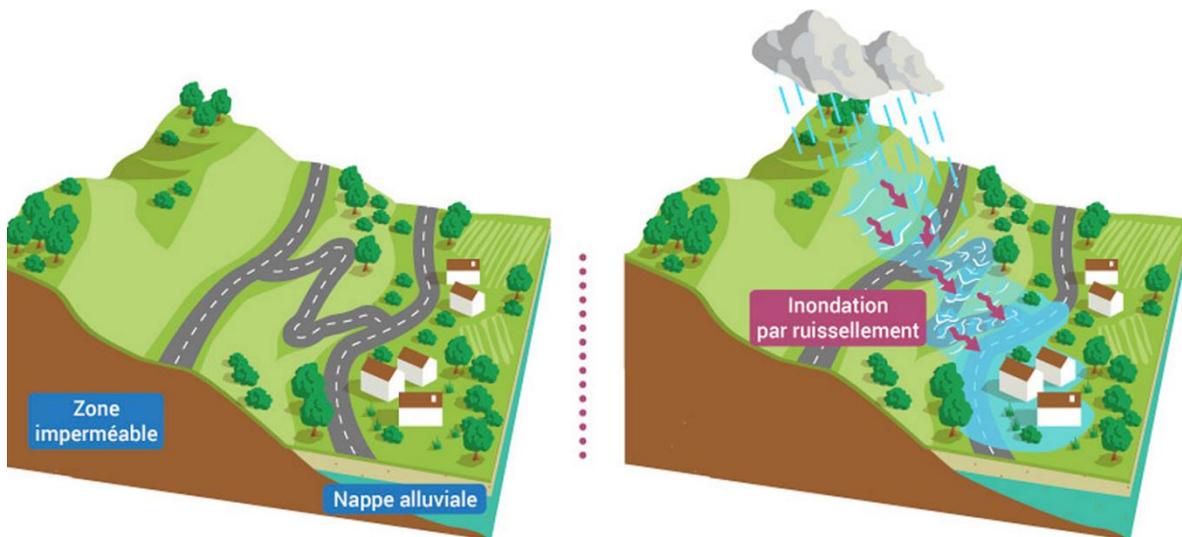
**Figure I.7:**L'inondation par remontée de nappe (© Agence française pour la biodiversité / Réalisation Matthieu Nivesse (d'après OIEau), 2018 - [LO-OL](#))

### I.5.2. Crues torrentielles:

- **Crues rapides et violentes** : Ces crues résultent généralement d'averses intenses. Lorsque de fortes pluies affectent un bassin versant, l'eau ruisselle rapidement et s'accumule dans le cours d'eau, entraînant des crues violentes. Ces crues peuvent transporter de nombreux sédiments et débris, entraînant une érosion importante et des dépôts qui peuvent former des barrages temporaires (embâcles). La rupture de ces embâcles peut provoquer une vague dévastatrice.

### I.5.3. Ruissellement pluvial:

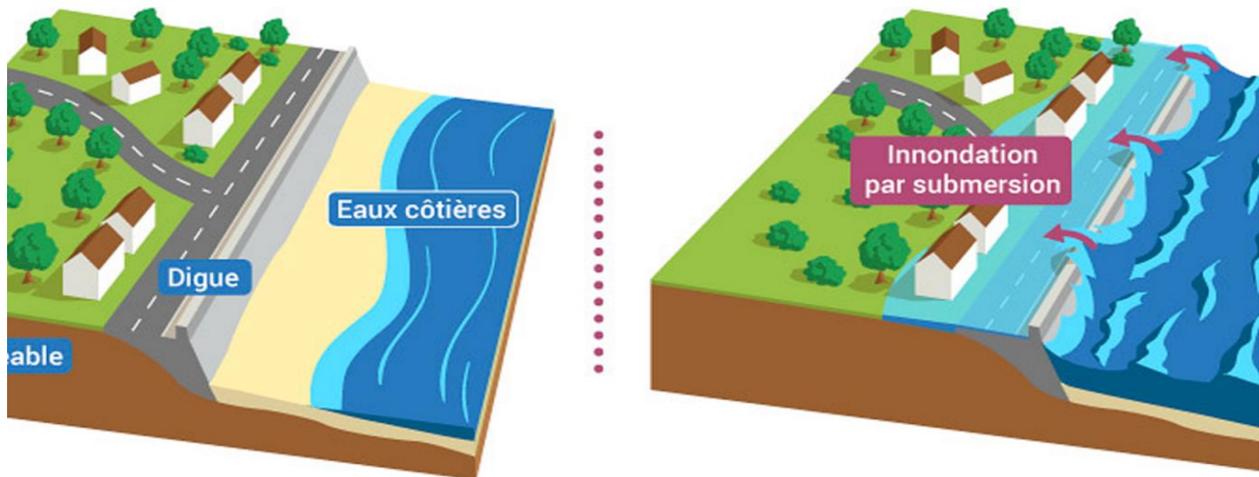
- **Ruissellement urbain et rural** : L'imperméabilisation des sols due aux constructions (bâtiments, voiries) et aux pratiques agricoles réduit l'infiltration des eaux de pluie, augmentant ainsi le ruissellement. Cela peut entraîner la saturation des réseaux d'assainissement et provoquer des écoulements rapides dans les zones urbaines.
- **Ruissellement concentré** : Se produit le long des pentes dans des rigoles ou ravines, causant une érosion visible sur le versant.
- **Ruissellement diffus** : Se manifeste par des filets d'eau se divisant et contournant les obstacles, avec une épaisseur faible.
- **Ruissellement en nappe** : Se produit sur des pentes faibles, où l'eau s'écoule uniformément sur toute la surface du versant.



**Figure I.8:**L'inondation par ruissellement (© Agence française pour la biodiversité / Réalisation Matthieu Nivesse (d'après OIEau), 2018 - [LO-OL](#))

#### I.5.4. Autres types d'inondations:

- **Inondations par rupture d'ouvrages de protection** : Par exemple, lorsqu'une digue se rompt.
- **Submersions marines ou inondations estuariennes** : Résultent de la combinaison de crues fluviales, de fortes marées et de conditions dépressionnaires (comme les tempêtes). Elles peuvent se manifester de trois manières :
  - **Submersion par débordement** : Lorsque le niveau marin dépasse le niveau des ouvrages de protection ou du terrain naturel.
  - **Submersion par franchissement de vagues** : Lorsque les vagues, après leur déferlement, dépassent le niveau des ouvrages ou du terrain.
  - **Submersion par rupture du système de protection** : Lorsque les terrains derrière le système de protection se retrouvent sous le niveau marin en raison de défaillances dans l'ouvrage, souvent aggravées par des vagues ou un mauvais entretien.



**Figure I.9:**L'inondation par submersion marine (© Agence française pour la biodiversité / Réalisation Matthieu Nivesse (d'après OIEau), 2018 - [LO-OL](#))

## **I.6. Les causes et origines des inondations :**

Les inondations peuvent être causées par plusieurs facteurs, parmi lesquels :

- **Causes naturelles** : Ces facteurs incluent des phénomènes météorologiques et climatiques comme les pluies exceptionnelles, les orages violents, les pluies torrentielles, et la fonte des neiges.
- **Causes humaines directes** : Ces causes résultent de la modification des systèmes fluviaux et des caractéristiques des cours d'eau, telles que leur largeur, longueur et pente. Elles englobent également la construction d'ouvrages hydrauliques, le drainage, l'irrigation, la dégradation des sols, et l'agriculture intensive, qui favorisent le ruissellement et limitent l'infiltration de l'eau.
- **Causes humaines indirectes** : Ces causes sont liées à la pollution et au réchauffement climatique, qui ont modifié les conditions climatiques globales. L'émission de gaz à effet de serre provoque la fonte des glaciers polaires, entraînant une montée du niveau des océans et des cours d'eau, ainsi que l'apparition de cyclones plus puissants.

## **I.7. Conséquences engendrées par les inondations :**

Les inondations représentent une menace fréquente et Le tableau I.1 résume ces conséquences :

**Tableau I.1:** Conséquences des inondations

Santé et vie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Propagation des maladies infectieuses et troubles mentaux</b> : Les inondations peuvent faciliter la diffusion de maladies infectieuses et engendrer des problèmes de santé mentale chez les personnes touchées.</li> <li>• <b>Conditions d'hygiène dégradées</b> : Les inondations peuvent entraîner une dégradation des conditions d'hygiène, augmentant le risque de maladies.</li> <li>• <b>Traumatismes physiques</b> : Les inondations peuvent provoquer des blessures physiques dues aux débris flottants et aux dangers associés aux eaux en crue.</li> <li>• <b>Pertes humaines</b> : Les inondations peuvent entraîner des décès, souvent par noyade ou par accident en raison des conditions extrêmes.</li> <li>• <b>Pénuries alimentaires</b></li> </ul>
Socio-économique	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Destruction des infrastructures</b> : Les inondations peuvent ravager les infrastructures critiques, telles que routes, ponts, et bâtiments.</li> <li>• <b>Réduction de l'emploi à long terme</b> : L'impact prolongé des inondations peut entraîner une diminution significative des opportunités d'emploi et affecter durablement l'économie locale.</li> <li>• <b>Obstacle au développement urbain et rural</b> : Les inondations peuvent freiner le progrès des villes et des villages en endommageant les infrastructures et rendant les terrains inadaptés au développement.</li> <li>• <b>Déplacement des populations</b> : Les inondations peuvent forcer les résidents à se déplacer vers d'autres régions pour échapper aux conditions dégradées de leur lieu d'origine.</li> <li>• <b>Conséquences financières</b> : Les pertes financières résultent des dégâts matériels et des coûts associés à la reconstruction et à la réparation des infrastructures endommagées.</li> </ul>
Environnement	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Ruine des récoltes agricoles.</b></li> <li>• <b>Mortalité du bétail.</b></li> <li>• <b>Contamination des eaux.</b></li> </ul>

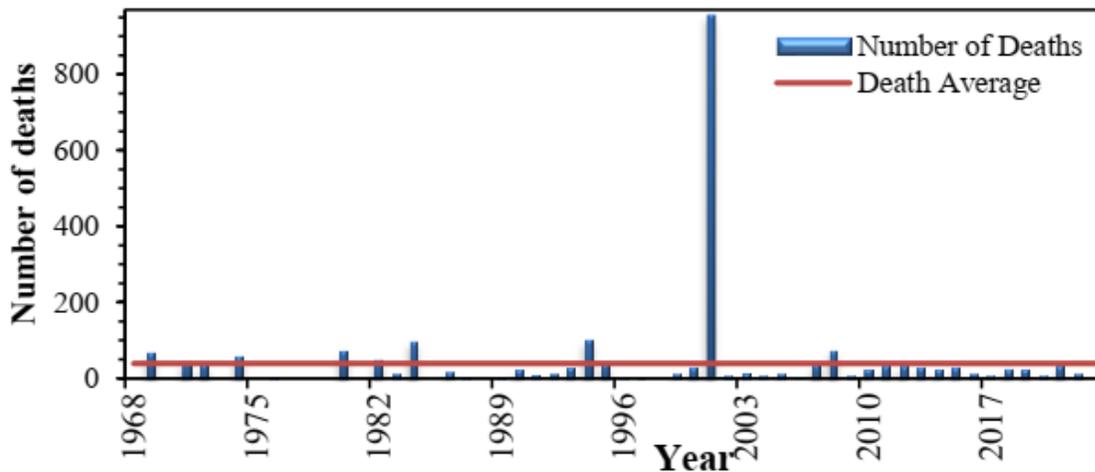
## I.8. Les inondations en Algérie :

Les impacts du changement climatique à l'échelle mondiale ont directement entraîné une hausse de la fréquence des événements naturels, y compris les inondations. L'Algérie a souffert de ce phénomène à travers les dégâts humains et matériels causés par ce risque.

Voici une analyse des inondations en Algérie de 1969 à 2022. Cette analyse est principalement basée sur le nombre de décès et la fréquence des inondations. Dans cette étude, les événements sont analysés aux niveaux national, régional et provincial. Dans cette étude, 191 événements ont été dénombrés et 2098 décès ont été enregistrés.

### Analyse des inondations pour la période 1969-2022 :

L'analyse des inondations est basée sur le nombre de décès et la fréquence des inondations de 1969 à 2022. La figure I.10 montre la répartition des décès entre 1969 et 2022.

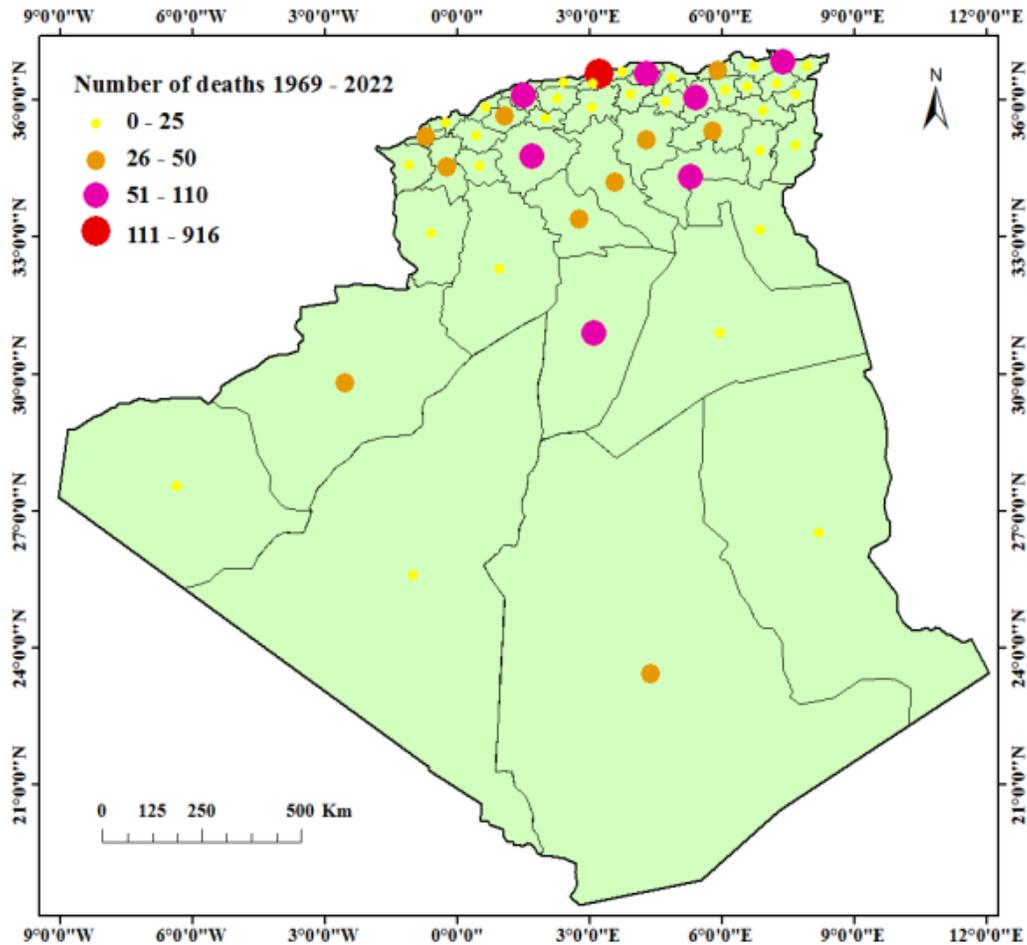


**Figure I.10:** Nombre de décès au cours de la période 1969-2022

L'analyse des décès révèle que l'année 2001 a enregistré le nombre le plus élevé de victimes, avec 900 décès, principalement dus à la catastrophe de Bab El Oued survenue le 10 novembre 2001 à Alger. Cet événement constitue l'inondation la plus meurtrière de cette période. La moyenne annuelle des décès durant cette période est d'environ 39. Plusieurs années ont surpassé cette moyenne, dont 1969, 1971, 1974, 1980, 1982, 1984, 1994, 1995, 2001 et 2008, marquées par des inondations dévastatrices. Parmi les incidents notables, on trouve les inondations de Biskra en 1969 (28 morts), Tizi Ouzou (Azazga) en 1971 (40 morts), Tizi Ouzou en 1974 (52 morts), Sétif (El Eulma) en 1980 (44 morts), Annaba en 1982 (47 morts), Ain Temouchent en 1984 (33 morts), Jijel en 1984 (49 morts au total), Bordj Bou Arreridj en 1994 (16 morts), Laghouat en 1995 (40

morts), Chlef en 2001 (40 morts), et Ghardaïa en 2008 (47 morts). Les détails sur le nombre de décès par province entre 1969 et 2022 sont illustrés dans la figure I.11.

La figure I.11 indique que la province d'Alger a enregistré le plus grand nombre de décès, avec plus de 900 victimes. Les provinces ayant un nombre de décès compris entre 51 et 110 incluent Tizi Ouzou (101 morts), Annaba (83 morts), Tiaret (73 morts), Chlef (69 morts), Sétif (67 morts), Ghardaïa (56 morts), et Biskra (56 morts). Dans la catégorie 26-50 décès se trouvent Jijel (49 morts), M'sila (46 morts), Batna (45 morts), Ain Temouchent (42 morts), Laghouat (41 morts), Tamanrasset (40 morts), Sidi Bel Abbes (35 morts), Djelfa (32 morts), Béchar (32 morts), et Relizane (30 morts). Des informations supplémentaires sur les inondations majeures par province sont disponibles dans la figure I.12.



**Figure I.11:** Nombre total de décès pour la période 1969-2022

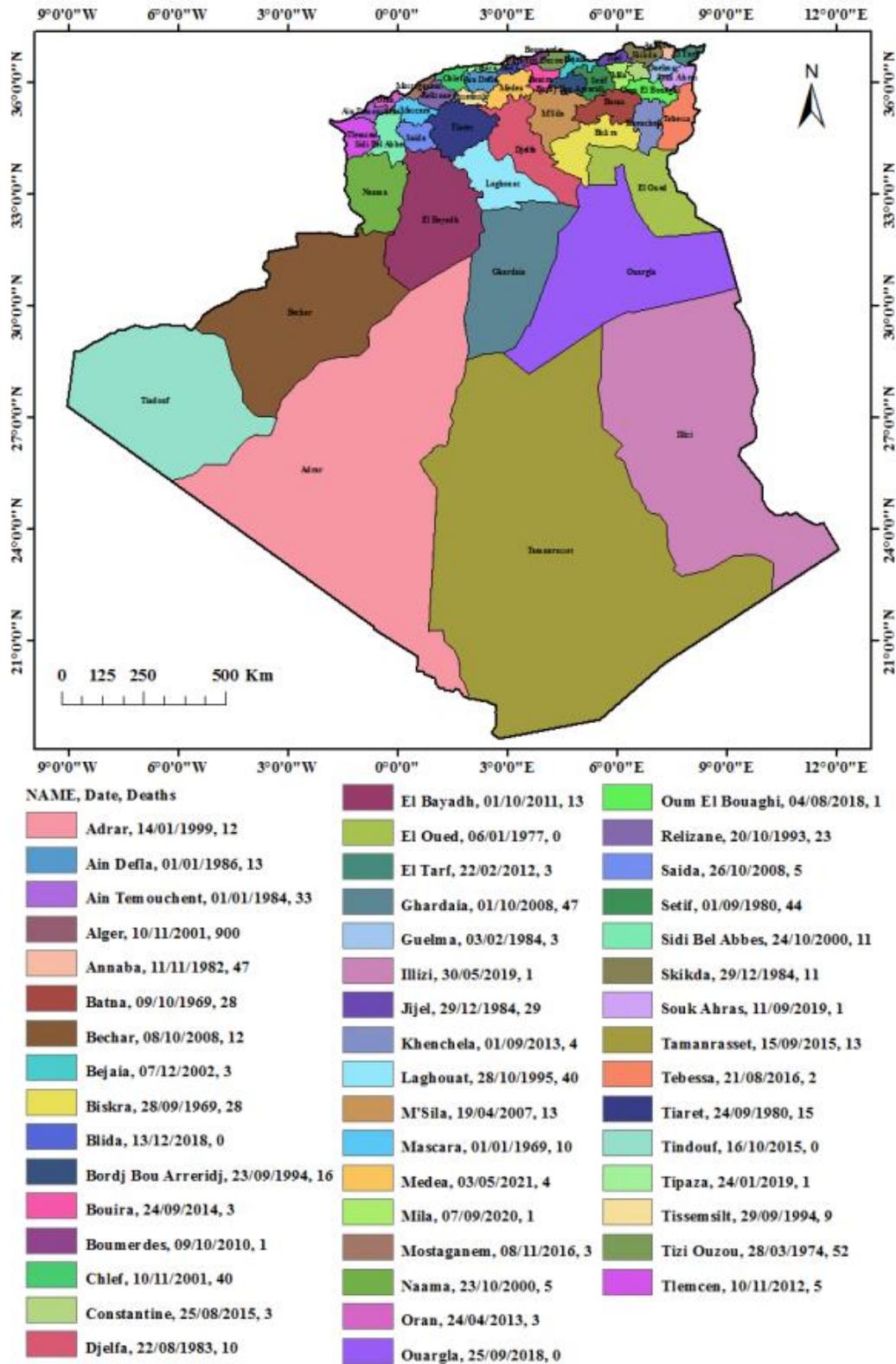
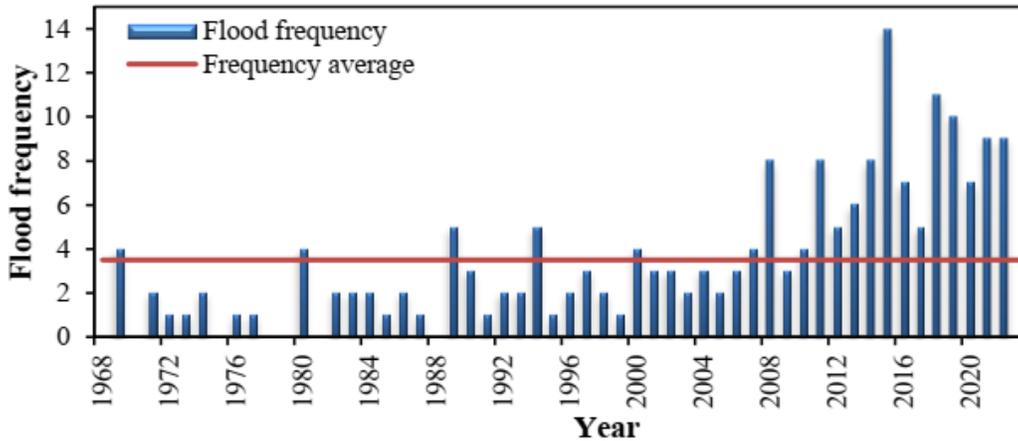
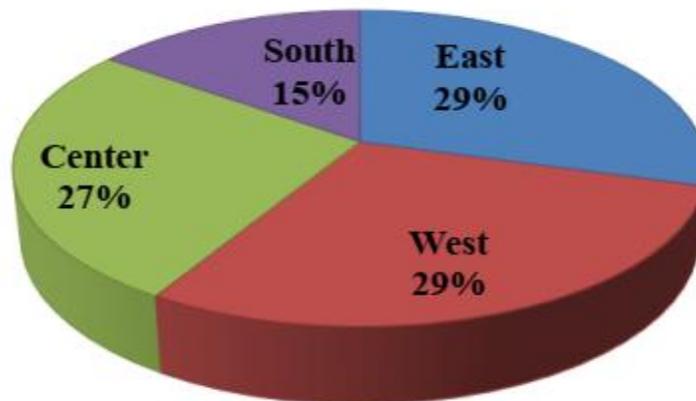


Figure I.12: Principales inondations par province et nombre de décès sur la période 1969-2022



**Figure I.13:** Fréquence des inondations entre 1969 et 2022

L'analyse des inondations révèle une tendance à l'augmentation du nombre d'événements au fil des années. L'année 2015 a enregistré le plus grand nombre d'inondations, avec 14 incidents, suivie par 2018 et 2019, avec respectivement 11 et 10 inondations. Cette hausse ne traduit pas nécessairement une intensification des précipitations, mais pourrait être due à divers facteurs, tels que l'expansion urbaine et l'occupation des zones riveraines des oueds.



**Figure I.14:** Pourcentages de fréquence des inondations pour la période 1969-2022

### Conclusion :

L'eau et sa gestion continuent de susciter de nombreux débats. Les nombreuses mises en garde après des catastrophes naturelles, abondamment relayées par les médias ces dernières années, en sont la preuve.

Pour gérer efficacement les ressources en eau, il est essentiel de bien comprendre le système que l'on souhaite maîtriser. Il est donc crucial de disposer d'outils adéquats permettant d'acquérir cette connaissance et de planifier l'aménagement des systèmes concernés de manière réfléchie.

# **Chapitre II: Présentation de la zone d'étude**

## Introduction :

Pour établir un système de protection contre les inondations dans une ville, il est primordial de commencer par analyser sa situation géographique, le climat local, la configuration du terrain, ainsi que la densité et l'occupation de la population. Ces éléments sont indispensables pour évaluer la vulnérabilité de la zone face aux inondations et déterminer le type d'aménagement le plus adapté pour garantir la sécurité de la ville. Dans ce cadre, le deuxième chapitre se consacre à l'étude de l'oued Melah à Khemis Miliana.

### II.1 Présentation de la zone études :

L'oued Melah est situé au sud-ouest de Khemis Miliana, à 30 km à l'est du chef-lieu de la wilaya d'Ain Defla. La commune de Khemis Miliana couvre une superficie de 5800 hectares, dont 494,70 hectares sont occupés par des forêts. Elle est délimitée au nord par la commune de Miliana, à l'ouest par Sidi Lakhdar, au sud par Bir Ouled Khelifa et Ain Soltane, et à l'est par Hoceinia et Ain Soltane. Ces frontières géographiques et administratives constituent le cadre de notre étude sur la protection contre les inondations dans cette région.

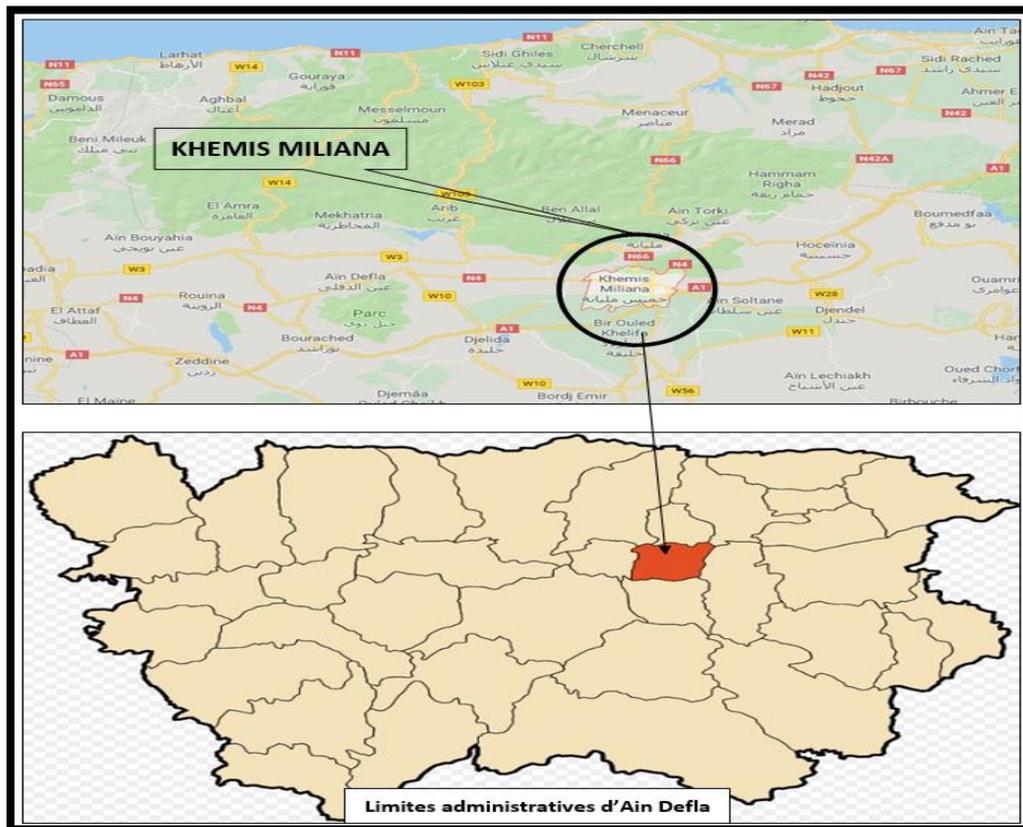


Figure II.1 : Emplacement de la commune de Khemis Miliana (source : APD)

Le schéma ci-après montre la position géographique de l'Axe de l'oued Melah.



**Figure II.2 :** Illustration du parcours de l'oued Melah.( source : google erath)

## II.2 Climatique :

L'étude de la climatologie revêt une importance capitale, car elle permet d'approfondir notre compréhension des phénomènes hydrologiques en examinant des éléments tels que la pluviométrie, les températures, le vent, les jours de sirocco (un vent chaud et sec chargé de poussières) et le gel. Les informations climatologiques sont collectées par divers organismes spécialisés dans la mesure, le traitement et l'archivage des données. L'Office National de Météorologie (ONM) fournit des données relatives à la température, à la vitesse du vent et à l'évaporation, tandis que l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) de la wilaya de Blida est responsable des relevés de pluviométrie.

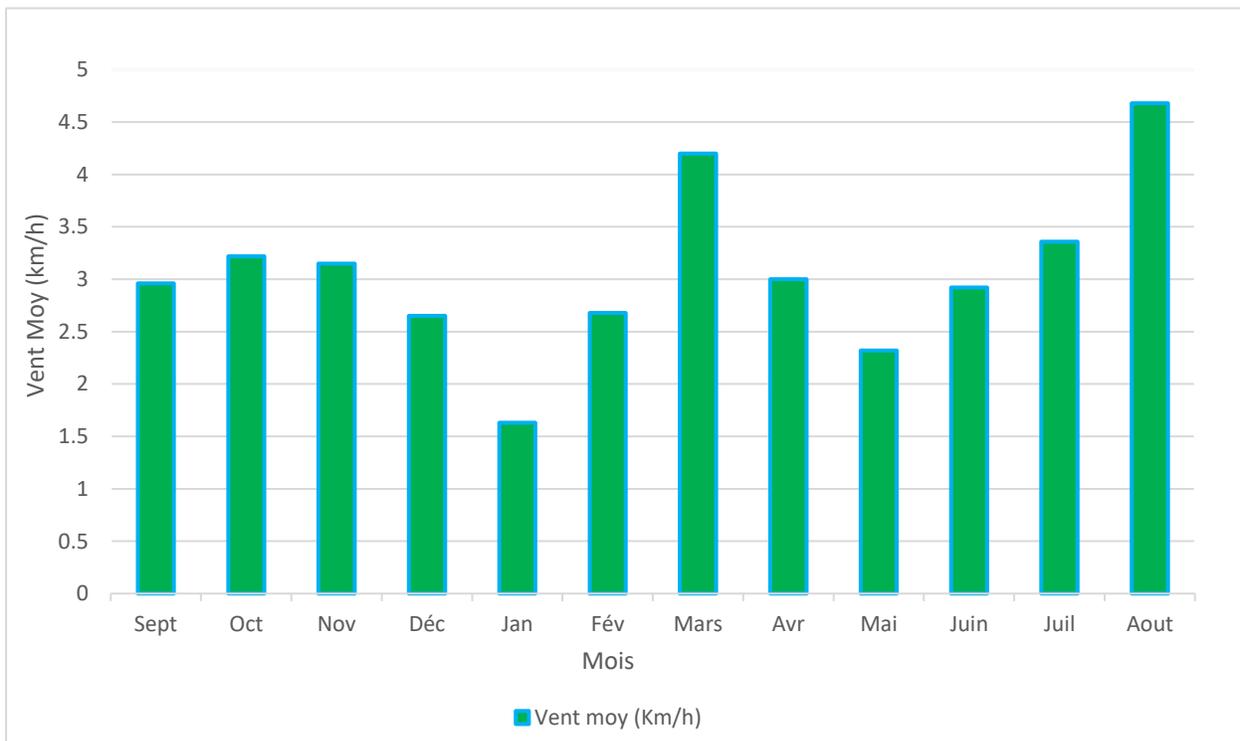
### II.2.1.Vent :

L'étude des vents est cruciale pour la conception des infrastructures et dans le domaine de l'hydraulique. Il est important de connaître leur répartition mensuelle en termes de vitesse et de fréquence, tout en tenant compte de leur direction (*Touaibia, 2015*).

Le tableau ci-dessous présente les vitesses moyennes du vent enregistrées à la station sélectionnée sur une période de 36 ans (1986-2022).

**Tableau I.1:** Moyennes mensuelles de la vitesse du vent à la station du Barrage Herraза (km/h) (1986-2022). (Source: ONM)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Vent moy (Km/h)	2,98	3,32	3,25	2,68	1,64	2,71	4,23	3	2,41	2,95	3,47	4,79



**Figure II.3 :** Répartition des vitesses du vent en m/s (1986-2022) (Source : ONM).

## II.2.2 Températures :

Les données de température dans le bassin versant sont incomplètes. Néanmoins, il est important de les aborder en mettant l'accent sur la saison sèche et l'impact significatif de l'évapotranspiration, un facteur clé du déficit d'écoulement. Comprendre la saison sèche permet d'évaluer la période durant laquelle les sols subissent l'influence de la température, un agent de météorisation qui affaiblit la structure des formations superficielles et prépare le matériau à l'érosion. Les stations météorologiques présentes dans le bassin versant ne fournissent pas de valeurs de température pour la zone, c'est pourquoi nous avons choisi de nous référer à la station la plus proche (*Houbib, 2012*).

Le tableau suivant affiche les températures minimales, moyennes et maximales mensuelles relevées à la station choisie sur une période de 36 ans, de 1986 à 2022.

**Tableau II.2** Températures mensuelles minimales, moyennes et maximales observées à la station sélectionnée (en °C) (1986-2022). (Source : ONM).

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Tmoy (°C)	30,8	19,3	13,2	12,1	10	12,3	14,7	16	23,4	30	32,4	29,8
Tmin (°C)	11	7,7	5,7	22	12,2	12	11,50	4,3	9,7	16,3	19	17
Tmax (°C)	44	33,7	28,3	24	23,7	26	27,3	31,3	39,7	45	49	43,7

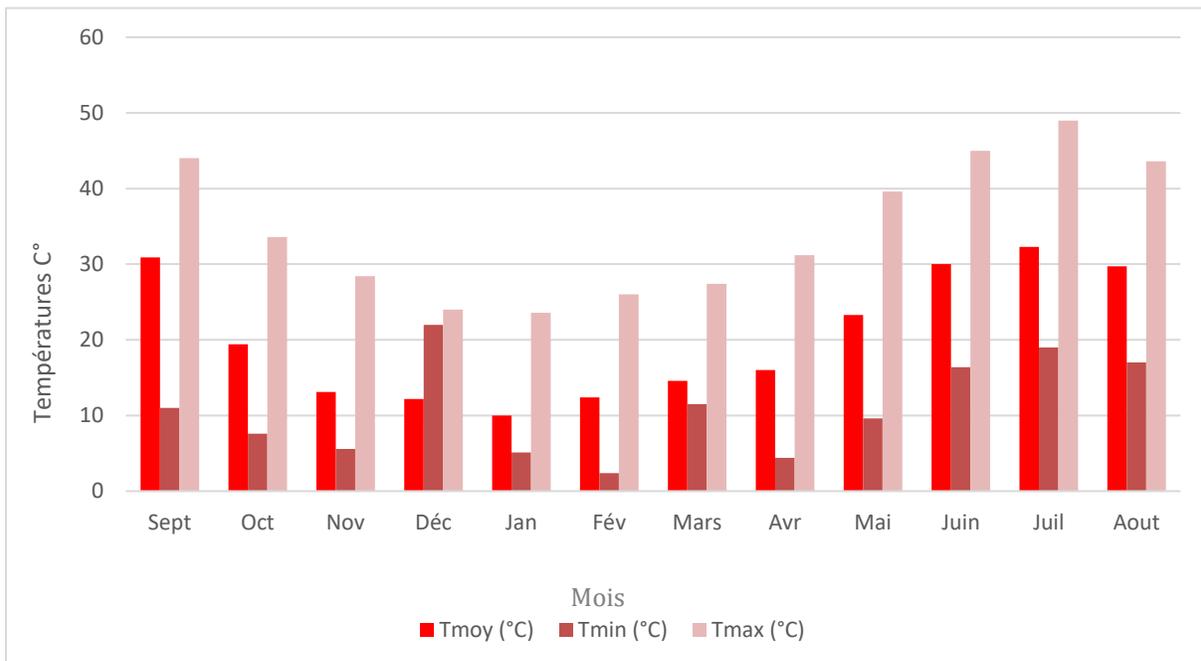
Avec :

Tmax : Température maximale enregistrée au cours du mois (°C).

Tmoy : Température moyenne observée durant le mois (°C).

Tmin : Température minimale relevée au cours du mois (°C).

L'examen des températures mensuelles sur une période de 36 ans (1986-2022) montre que le mois de février peut connaître des températures minimales allant jusqu'à 2,4°C, tandis que les températures maximales atteignent 49°C en juillet et août. La température moyenne annuelle s'élève à 20,3°C.



**Figure II.4** : Moyennes mensuelles des températures, ainsi que minimales et maximales, relevées à la station sélectionnée (1986-2022) (Source : ONM)

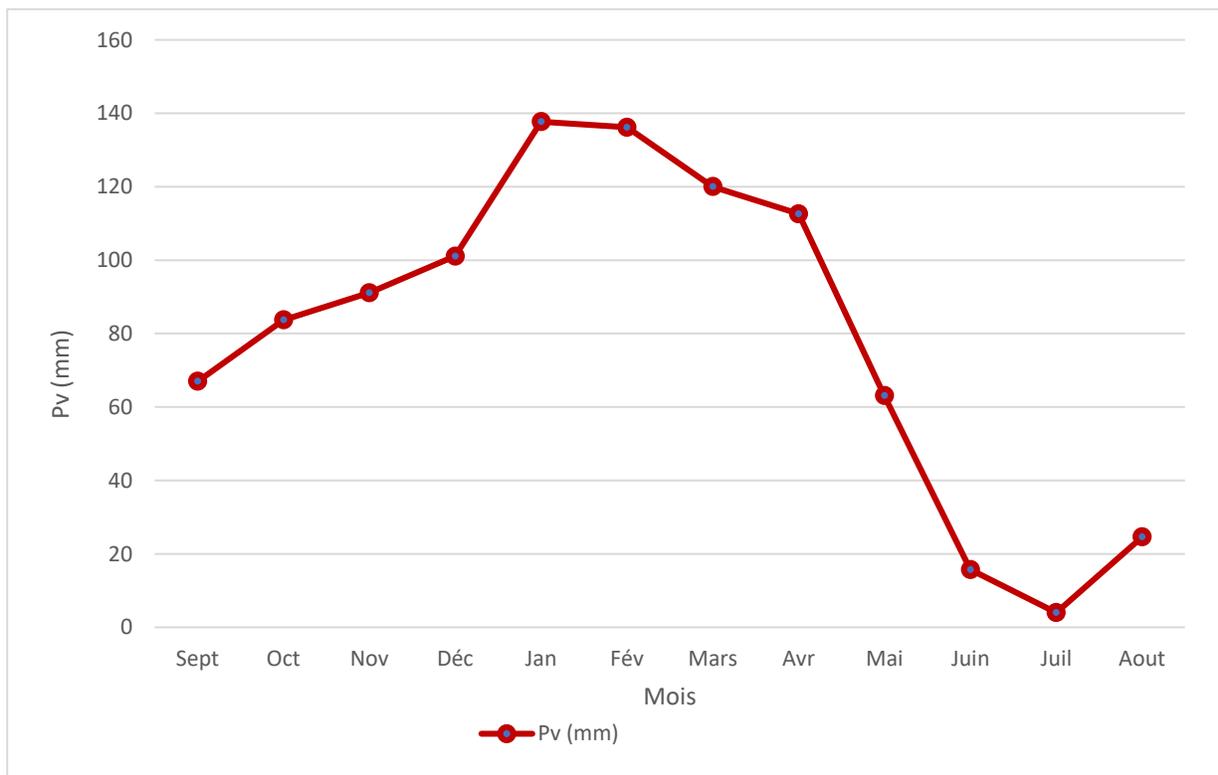
### II.2.3 Précipitations :

Les précipitations désignent l'ensemble des eaux météorologiques recueillies par un bassin versant ou une surface donnée. La hauteur de précipitation correspond à l'épaisseur de la couche d'eau qui s'accumulerait sur une surface plane si toutes les précipitations étaient sous forme liquide (Touaibia, 2015).

Le tableau ci-après présente les précipitations mesurées à la station Barrage Herraiza sur une période de 36 ans, de 1986 à 2022.

**Tableau II.3 :** Répartition des pluies mensuelles interannuelles de la station pluviométrique Herraiza 011718 khemis Miliana (Source : ANRH Blida).

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Pv (mm)	67	83,8	91,2	101,2	137,8	136,3	119,9	112,6	63,2	17,4	4,1	24,7



**Figure II.5 :** Évolution de la pluviométrie mensuelle sur plusieurs années (Source : ANRH Blida).

## Précipitations moyennes saisonnières :

La subdivision des pluies de l'année est faite suivant les quatre saisons agricoles :

L'automne : (Septembre, Octobre, Novembre)

L'hiver : (Décembre, Janvier, Février)

Le printemps : (Mars, Avril, Mai)

L'été : (Juin, Juillet, Août)

**Tableau I.4 :** Répartition saisonnière des précipitations moyennes annuelles de la station Herraça

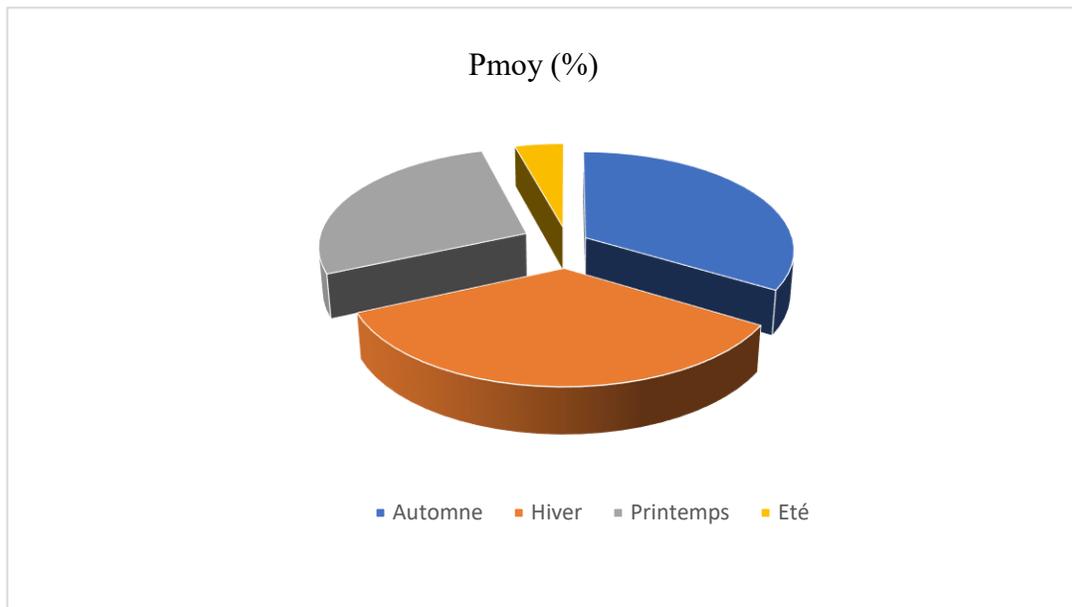
Mois	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Annuel
$\bar{P}_{\text{moy}}(\text{mm})$	120.9	125	98.56	15.36	359.82
$\bar{P}_{\text{moy}}(\%)$	33.6	34.73	27.39	4.28	100,0

L'examen du tableau ci-dessus montre que :

La saison Hivernale est la plus pluvieuse, Avec une moyenne annuelle de 125 mm (34.73% du totale annuelle).

La saison estivale est la plus sèche avec une moyenne annuelle de 15.36 mm (moins de 4.5 % du totale annuelle).

Les deux saisons d'Automne et printemps ont presque les mêmes volumes de précipitations avec 120.9 et 125 mm/an. (33.6 et 34.73% de la précipitation moyenne annuelle)

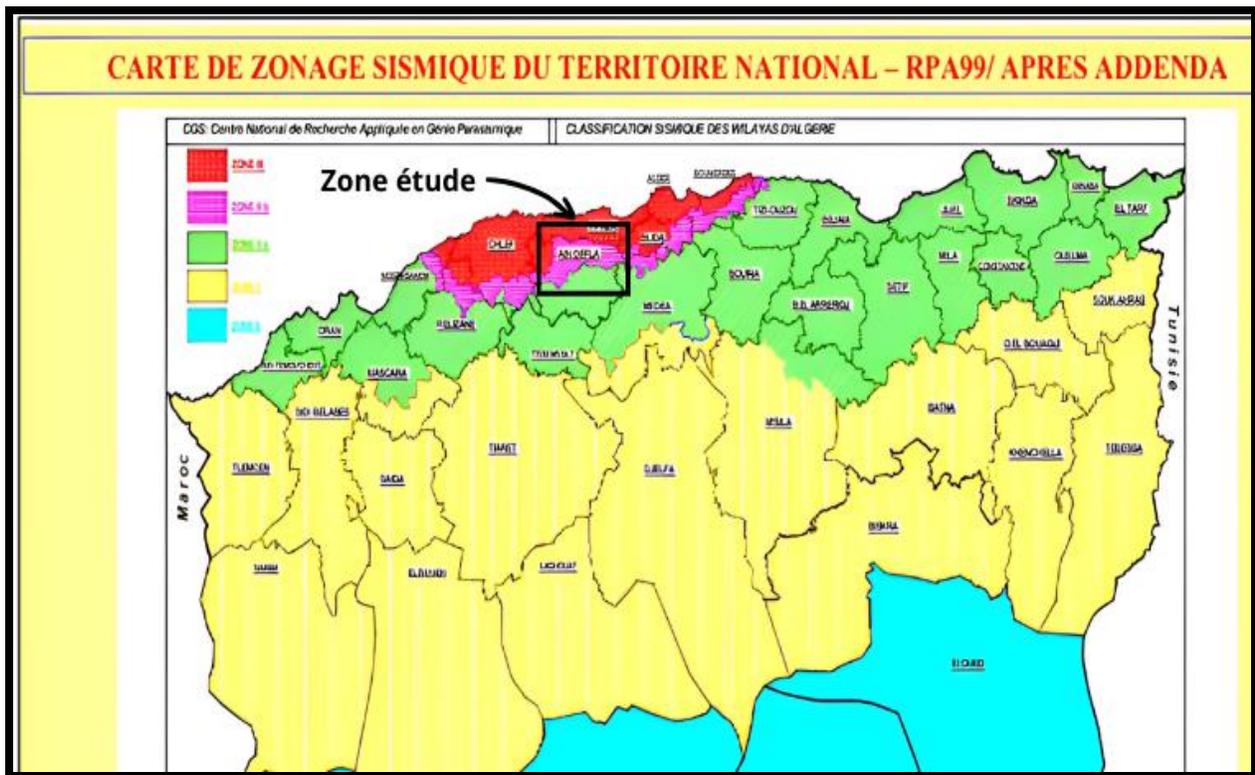


**Figure II.6:** Répartition saisonnière des précipitations moyennes annuelles en pourcentage De la station Herraça .

## II.2.4 Sismicité :

L'Algérie, située dans une zone de convergence des plaques tectoniques, présente un risque sismique élevé. Au cours de son histoire, le pays a été frappé par de nombreux séismes dévastateurs. Le territoire national est divisé en cinq zones de sismicité croissante, qui se déclinent comme suit :

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



**Figure II.7 :** Classification sismique des wilayas en Algérie (*Addenda, 2003*).

La illustration ci-dessus montre que notre zone d'étude est classée en zone II.b, qui se distingue par une sismicité modérée.

Groupe	ZONE			
	I	IIa	IIb	III
1 A	0,15	0,25	0,30	0,40
1 B	0,12	0,20	0,25	0,30
2	0,10	0,15	0,20	0,25
3	0,07	0,10	0,14	0,18

**Figure II.8 :** Les valeurs du coefficient d'accélération (selon RPA 99/2003)

Selon la réglementation parasismique en vigueur en Algérie, la commune de Khemis Meliana, située dans la Wilaya d'Ain Defla, est classée en zone parasismique de type IIb. Le règlement parasismique algérien (RPA 99/2003) a également classé notre ouvrage dans le groupe d'usage (2). Le coefficient d'accélération de la zone est fixé à 0,20, ce qui signifie que l'accélération considérée est de  $A_{\text{z}} = 0,20g$ . Cela indique que notre zone d'étude est classée en zone II.b, caractérisée par une sismicité modérée.

### II.3. La géologique :

Afin d'assurer la protection de la ville de Khemis Miliana contre les risques d'inondation liés à l'oued, il est crucial de concevoir et de dimensionner un système d'aménagement sécurisé qui respecte les normes locales. Cela implique une étude détaillée de la géologie et de la géotechnique pour appréhender la nature et les caractéristiques physico-chimiques du sol. Cette analyse s'appuie sur des observations sur le terrain, des tests de reconnaissance in-situ et en laboratoire, ainsi que sur une interprétation rigoureuse des cartes géologiques existantes.

#### II.3.1. Description détaillée des terrains sédimentaires :

La figure suivante représente extrait de carte géologique de Miliana n° 84 au 1/50.000°

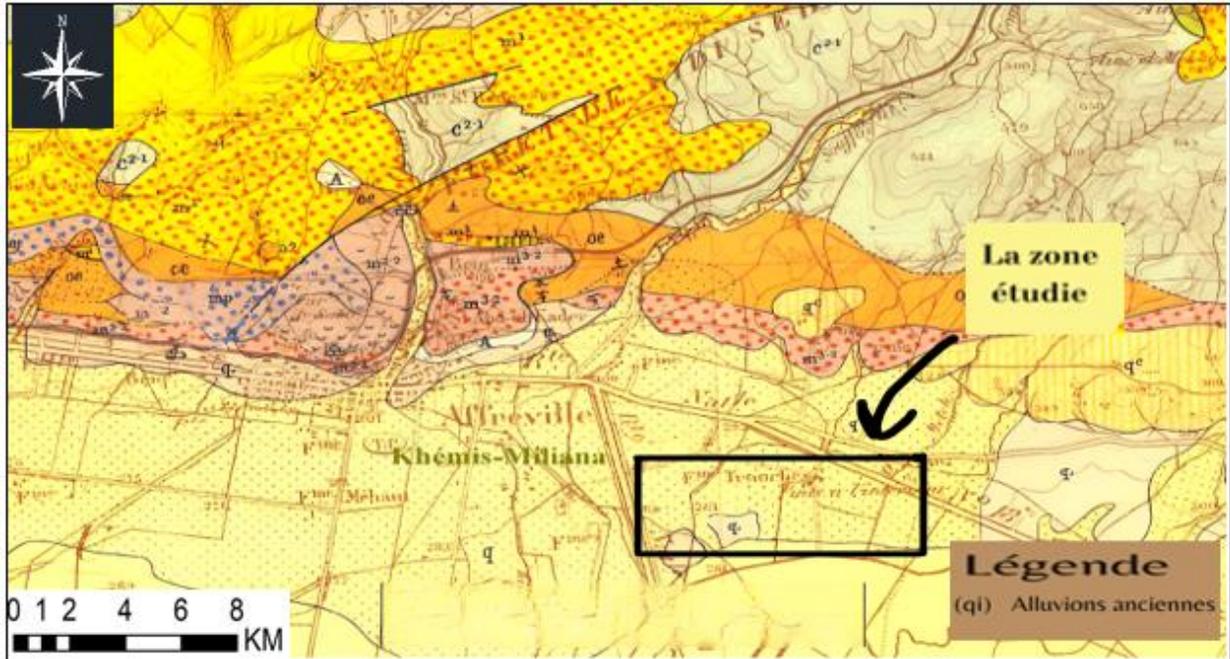


Figure II.9 : extrait de carte géologique de Miliana n° 84 au 1/50.000°.

### Description de la série stratigraphique dans notre zone d'étude :

**Alluvions anciennes (qi) :** (Niveau inférieur) Ces alluvions, qui dominent les cônes de déjection et la plaine, présentent généralement un meilleur cimentage que les matériaux issus des cônes de déjection. Elles se composent principalement d'une série d'argile brune et graveleuse, superposée à un niveau constitué d'amas de galets ou de blocs roulés, résultant du remaniement des grès, poudingues et marnes du Miocène supérieur et du Mio-Pliocène.

### Conclusion :

Ce chapitre a fourni une analyse approfondie de la situation géographique et environnementale de la zone d'étude, en mettant l'accent sur la commune de Khemis Miliana et l'oued Melah. Nous avons examiné divers aspects essentiels pour comprendre les risques d'inondation et élaborer des stratégies de protection adaptées. L'analyse a révélé plusieurs facteurs clés contribuant aux risques d'inondation. La configuration topographique de la région, notamment les alluvions anciennes et les cônes de déjection, influence significativement la gestion des eaux. Les conditions climatiques, comprenant des pluies variables, des températures extrêmes et des vents, jouent également un rôle crucial dans la détermination de la vulnérabilité aux inondations. En outre, la sismicité modérée de la région nécessite une attention particulière pour garantir la stabilité des infrastructures en cas de séisme. Pour atténuer les risques identifiés, il est primordial de mettre en place des mesures de protection efficaces. Cela inclut la conception et la mise en œuvre d'un système de drainage adapté, la gestion des précipitations en fonction des variations saisonnières, et la prise en compte des caractéristiques géologiques locales pour éviter les débordements de l'oued Melah. Il est également essentiel d'intégrer les données climatiques et géologiques dans le développement des infrastructures afin d'assurer leur durabilité et leur efficacité face aux conditions locales.

# **Chapitre III : Etude hydrologique**

## **Introduction :**

L'hydrologie, domaine des sciences de la Terre, se concentre sur l'étude de la distribution spatio-temporelle des ressources en eau de surface et souterraines, ainsi que sur leurs caractéristiques chimiques, biologiques et physiques. Cette discipline interdisciplinaire mobilise divers champs scientifiques pour relever les défis de gestion et d'utilisation durable des ressources en eau.

Les études hydrologiques jouent un rôle crucial dans le développement des infrastructures hydrauliques, en particulier dans l'estimation des débits de crue pour des périodes de retour spécifiques comme 10 et 20 ans, entre autres.

L'objectif de ce chapitre est d'analyser les principaux paramètres hydrologiques du bassin versant de l'oued Melah à Khémis Miliana en utilisant le logiciel ArcGIS. Il s'agit également d'évaluer les périodes de retour et de déterminer les débits de crue nécessaires pour concevoir des mesures d'aménagement fluvial visant à prévenir les inondations dans la région.

### **III.1 Bassin Versant :**

Le bassin versant, également appelé bassin d'alimentation à une section donnée, représente l'ensemble de la surface topographique drainée par un cours d'eau et ses affluents en amont de cette section spécifique. Tous les flux d'eau qui naissent à l'intérieur de cette surface topographique doivent obligatoirement traverser la section de mesure pour continuer leur chemin vers l'aval. Chaque bassin versant est délimité des autres par une ligne de partage des eaux, tracée sur la carte topographique. Cette délimitation commence à l'exutoire et suit des segments tracés à main levée perpendiculairement aux courbes de niveau, passant par les crêtes et aboutissant à nouveau à l'exutoire (*Touaibia, 2015*).

- **ArcGIS** : est un système d'information géographique (SIG) essentiel pour la modélisation et l'analyse des données hydrologiques. Dans le contexte de l'hydrologie, ArcGIS permet aux hydrologues et aux spécialistes des ressources en eau de gérer et d'analyser une gamme complète de données, incluant la topographie, les précipitations, l'évapotranspiration, l'occupation des sols, les réseaux hydrographiques, ainsi que les débits des cours d'eau. Doté de fonctionnalités avancées, ArcGIS facilite la délimitation des bassins versants, la cartographie des inondations, l'estimation des débits de crue, et la planification de l'aménagement des ressources en eau. En intégrant des données spatiales avec des modèles hydrologiques, ArcGIS permet de prendre des décisions éclairées pour la gestion des ressources en eau et pour répondre aux événements hydrologiques extrêmes.

#### **III.1.1 Caractéristiques principales du bassin versant :**

##### **III.1.1.1 Caractéristiques géographiques :**

Les coordonnées UTM (Zone 31 S) de l'exutoire sont les suivantes :

- Longitude :  $X = 2.237^\circ$
- Latitude :  $Y = 36.239^\circ$
- Altitude :  $Z = 273 \text{ m}$

### **III.1.1.2 Caractéristiques morphologiques :**

Les caractéristiques physiographiques d'un bassin versant jouent un rôle crucial dans sa dynamique hydrologique, notamment lors des périodes de crue ou d'étiage.

Le temps de concentration ( $T_c$ ), qui mesure la rapidité et l'intensité avec lesquelles un bassin réagit aux précipitations, dépend de plusieurs aspects morphologiques tels que la taille du bassin (sa superficie), sa forme, son altitude, sa pente et son orientation. D'autres facteurs comme le type de sol, la couverture végétale et les caractéristiques du réseau hydrographique influencent également cette dynamique. Une évaluation précise de ces paramètres géométriques et physiques peut être réalisée à l'aide de cartes appropriées et de techniques numériques avancées.

- **Surface :**

La superficie d'un bassin versant désigne la zone géographique délimitée par les lignes de partage des eaux ou par les contours du bassin lui-même. Pour mesurer cette étendue, on utilise des outils comme un planimètre ou la méthode des petits carrés. Cette mesure est généralement exprimée en kilomètres carrés ( $\text{km}^2$ ), fournissant ainsi une indication de la taille du bassin.

Le bassin versant de l'Oued Melah s'étend sur une superficie de  $S = 24,018 \text{ km}^2$ .

- **Périmètre :**

Le périmètre d'un bassin versant définit sa frontière externe. Chaque bassin réagit de manière unique aux précipitations qu'il reçoit, influencé à la fois par le climat environnant et par les caractéristiques physiques particulières du bassin lui-même.

Le périmètre du bassin versant de l'Oued Melah mesure  $P = 24,277 \text{ km}$ .

- **Longueur du cours d'eau principal :**

La longueur du thalweg, qui représente la trajectoire suivie par les points les plus bas en altitude dans le fond d'une vallée ou le lit d'un cours d'eau, est également une mesure pertinente. La longueur du cours d'eau principal (thalweg) pour l'Oued Melah est  $L_{cp} = 3,970 \text{ km}$ .

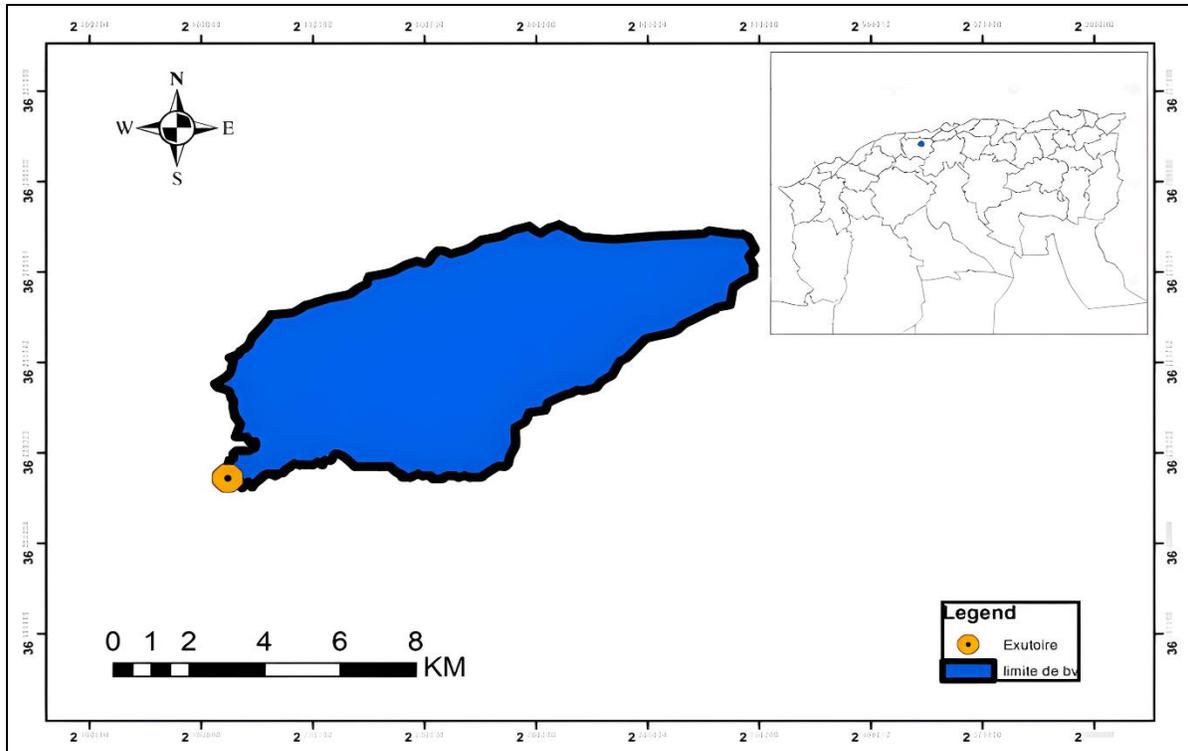


Figure III.1 : Cartographie du bassin versant étudié.

### III.1.1.3 Caractéristiques géométriques :

- **Indice de compacité de Horton (Kh) :**

L'indice de compacité de Horton se calcule en rapportant la largeur moyenne du bassin versant à la longueur du cours d'eau principal, selon la formule :

$$K_h = \frac{S}{L_{cp}^2} \quad (III.1)$$

Où :

- $K_h$  : Indice de compacité de Horton.
- $S$  : Surface du bassin versant ( $\text{km}^2$ ).
- $L_{cp}$  : Longueur du cours d'eau principal (km).

Interprétation :

- Si  $K_h > 1$  : Le bassin est considéré comme ramassé.
- Si  $K_h < 1$  : Le bassin est considéré comme allongé.

● **Indice de compacité de Gravélius (KG) :**

Selon M. Gravélius (*Loaborde 2000*), la configuration d'un bassin influence directement le comportement de l'écoulement en surface. Cette configuration est mesurée par un paramètre appelé indice de compacité (KG), également connu sous le nom d'indice de forme. Il est simplement défini comme le rapport entre le périmètre (P) du bassin en kilomètres (km) et le périmètre d'un cercle ayant la même superficie (A), exprimée en kilomètres carrés (km<sup>2</sup>).

L'indice de compacité de Gravélius est calculé par la formule suivante :

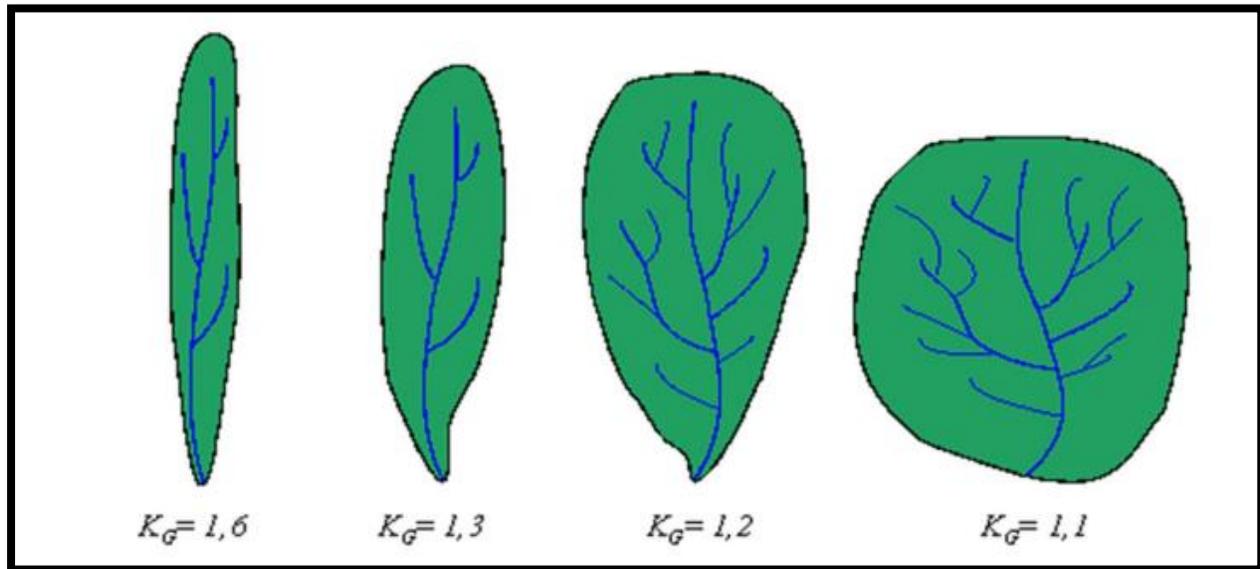
$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi} * S} \approx 0,282 * \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (\text{III.2})$$

Où :

- KG : Indice de compacité de Gravélius.
- P : Périmètre du bassin versant (km).
- S : Surface du bassin versant (km<sup>2</sup>).
- A : Superficie d'un cercle de même surface que le bassin.

Interprétation :

- $KG = 1$  : Indique un bassin compact.
- $1 < KG < 1.3$  : Indique un bassin moins compact.
- $KG > 1.3$  : Indique un bassin allongé.



**Figure III.2 :** Classification des bassins versants en fonction du coefficient de Gravelius KG.

Si l'indice de compacité (KG) s'éloigne de 1, cela indique que le bassin présente une forme plus compacte, correspondant à un temps de concentration plus court. Dans notre cas, avec un indice KG de 1,387, le bassin versant est considéré comme allongé en forme

- **Coefficient d'allongement (Ca) :**

Ce coefficient est calculé selon la relation suivante :

$$C_a = \frac{L_{cp}^2}{S} \quad (III.3)$$

Où :

- Lcp : Longueur du thalweg principal (km).
- S : Surface du bassin versant (km<sup>2</sup>).

Ce coefficient permet d'évaluer la configuration hydrologique de la zone étudiée :

Un coefficient d'allongement élevé indique que le bassin versant est plus étendu. Cela peut influencer la circulation de l'eau à travers le réseau hydrographique, accélérant potentiellement la collecte des eaux. Cependant, cela pourrait également signifier une réaction plus rapide aux précipitations, entraînant ainsi des crues plus rapides.

• **Rectangle équivalent :**

Le rectangle équivalent, aussi appelé rectangle de Gravélius, est une méthode qui consiste à représenter le bassin versant par un rectangle ayant les mêmes caractéristiques d'indice de compacité et d'hypsométrie que le bassin étudié. Cette approche permet de comparer les comportements hydrologiques des différents bassins versants.

Les dimensions du rectangle équivalent, telles que le périmètre et la surface, sont calculées de manière à correspondre précisément aux caractéristiques spécifiques d'indice de compacité et d'hypsométrie du bassin analysé.

$$P = 2 (L + l) \quad \text{et} \quad A = L * l \quad (\text{III.4})$$

La longueur L et la largeur l en km sont déterminées par la résolution de P et A :

$$K_G = 0,282 * \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (\text{III.5})$$

À partir des équations (III.4) et (III.5), on obtient une équation du second degré qui admet deux solutions, L et l. :

$$L = \frac{KG * \sqrt{S}}{1,12} * \left\{ 1 + \sqrt{1 - \left\{ \frac{1,12}{KG} \right\}^2} \right\} \quad \text{et} \quad l = \frac{KG * \sqrt{S}}{1,12} * \left\{ 1 - \sqrt{1 - \left\{ \frac{1,12}{KG} \right\}^2} \right\} \quad (\text{III.6})$$

Où :

- L : Longueur du rectangle équivalent (km).
- l : Largeur du rectangle équivalent (km).
- S : Surface du bassin versant (km<sup>2</sup>).
- KG : Indice de compacité de Gravélius.

Les paramètres géomorphologiques spécifiques du bassin versant de l'Oued Melah sont détaillés dans le tableau suivant :

**Tableau III.1 : Caractéristiques géomorphologiques essentielles de la région étudiée.**

Designation		Symbole	Unités	Valeur
Superficie		S	Km <sup>2</sup>	24.018
Périmètre		P	Km	24.277
Longueur du talweg principal		L <sub>cp</sub>	Km	3.970
Indice de compacité de Gravélius		K <sub>G</sub>	/	1.387
Indice de compacité de Horton		K <sub>h</sub>	/	1.523
Coefficient d'allongement		C <sub>a</sub>	/	0.656
Rectangle équivalent	Longueur	L	Km	9.532
	Largeur	l	Km	2.519

## III.2. Caractéristiques hydrographiques :

### III.2.1. Étude du relief :

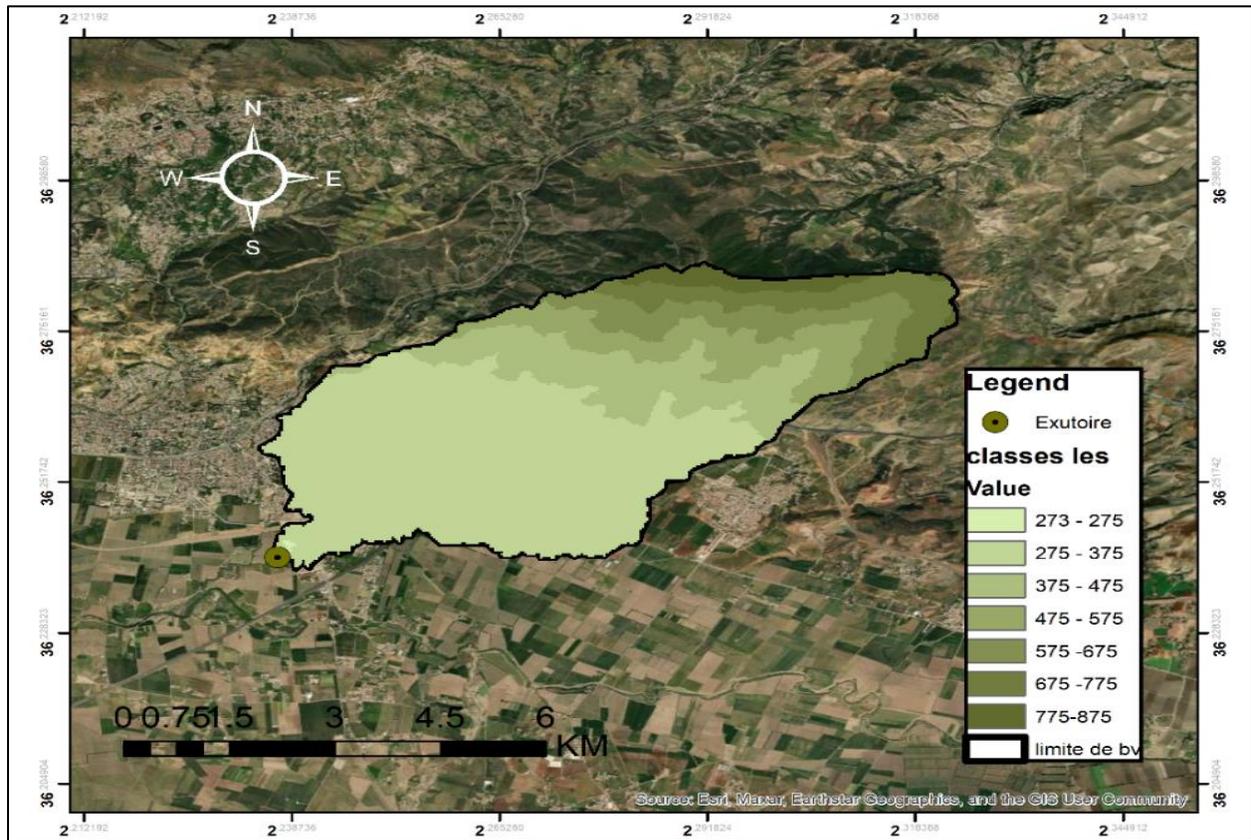
Le relief d'une région influence la forme de l'hydrogramme de crue. Une pente prononcée du terrain accélère l'écoulement des eaux, réduisant ainsi le temps de concentration. Cela signifie que les précipitations s'acheminent rapidement vers les rivières et les cours d'eau, ce qui peut entraîner une élévation rapide du niveau d'eau lors de crues. L'importance de cette étude est mise en évidence par la distribution altimétrique du terrain, représentée par une courbe appelée « courbe hypsométrique ».

#### III.2.1.1 La courbe hypsométrique :

La courbe hypsométrique offre une représentation globale de la topographie d'un bassin versant en montrant comment la superficie de ce dernier est répartie selon l'altitude. Sur l'axe des abscisses, elle indique les pourcentages de la superficie du bassin au-dessus ou en dessous de chaque altitude représentée sur l'axe des ordonnées. Ainsi, elle illustre la distribution altimétrique du bassin versant.

Cette courbe est générée par des calculs qui déterminent la répartition de la superficie entre différentes altitudes, en calculant les surfaces entre les courbes de niveau successives. Elle permet de visualiser de manière condensée comment la surface totale du bassin est segmentée entre ces niveaux altimétriques adjacents. La pente moyenne de cette courbe, calculée à partir de ses variations, constitue un indicateur clé pour comparer la topographie de divers bassins versants.

La distribution des surfaces à différentes altitudes, ainsi que leurs cumuls, est obtenue grâce à des outils logiciels comme ArcGIS, facilitant ainsi l'analyse détaillée de la topographie d'un bassin versant.



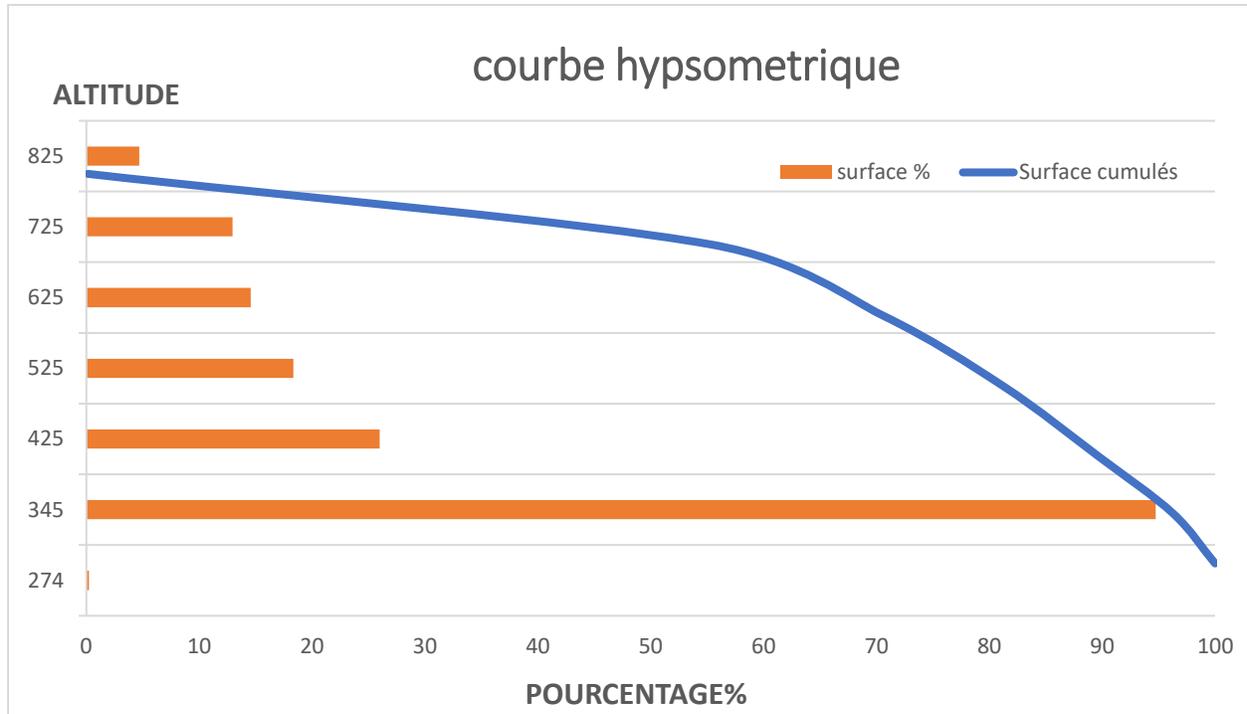
**Figure III.3 :** Carte hypsométrique du bassin versant d'Oued Melah.

La répartition des surfaces par altitude ainsi que leurs cumuls totaux ont été calculés à l'aide du logiciel ArcGIS.

**Tableau III.2 :** Paramètres hypsométriques du bassin versant d'Oued Melah.

Altitude (m)	Hi (m)	S(Km2)	Surfaces partielles (%)	S cumulées (Km2)	Surfaces partielles cumulées (%)
273- 275	274	0.031	0.131	0.031	100
275 – 375	325	13.264	55.233	13.295	97.26
375 – 475	425	3.638	15.149	16.933	89.706
475 – 575	525	2.569	10.7	19.502	81.213
575 – 675	625	2.039	8.493	21.541	70.513
675 -775	725	1.814	7.554	23.355	55.364
775 -875	825	0.657	2.74	24.012	0.131

**Interprétation :** Ce tableau montre la répartition des surfaces du bassin versant de l'Oued Melah selon l'altitude. La majorité des surfaces (environ 70%) se situe entre 275 m et 575 m d'altitude. Plus l'altitude augmente, plus la surface occupée diminue.



**Figure III.4 :** Répartition et courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Melah

Les principaux aspects topographiques en termes d'altitude incluent :

- **L'altitude maximale et minimale (Hmax–Hmin) :** Ces données sont directement extraites des cartes topographiques. L'altitude maximale désigne le point le plus élevé du bassin versant, tandis que l'altitude minimale indique généralement le point le plus bas, souvent localisé à l'exutoire. Ces valeurs sont particulièrement importantes pour établir des corrélations avec les variables climatiques telles que la température et les précipitations.
- **L'altitude moyenne (Hmoy) :** Cet indicateur essentiel pour le bassin versant prend en compte l'influence de la zonation climatique verticale. Elle est calculée en additionnant le produit des surfaces partielles  $S_i$  situées entre les courbes de niveau et leurs altitudes moyennes correspondantes  $H_i$ .

Elle est calculée selon la formule suivante :

$$H_{moy} = \sum \frac{S_i * H_i}{S} \quad (III.7)$$

Avec :

- Si : Surface partielle entre deux courbes de niveau (km<sup>2</sup>).
  - Hi : Différence d'altitude moyenne entre deux courbes de niveau successives (m).
  - S : Superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>).
- **Altitude H5%** : Il s'agit de l'altitude correspondant au point représentant 5% de la surface cumulée sur la courbe hypsométrique du bassin versant
  - **Altitude médiane H50%** : Il s'agit de l'altitude correspondant au point représentant 50% de la surface cumulée sur la courbe hypsométrique du bassin versant.
  - **Altitude H95%** : Il s'agit de l'altitude correspondant au point représentant 95% de la surface cumulée sur la courbe hypsométrique du bassin versant.

Voici un résumé des résultats de calcul présenté dans le tableau suivant :

**Tableau III.3** : Caractéristiques altimétriques du bassin versant d'Oued Melah.

Altitudes	H min	H max	H moy	H 5%	H 50%	H 95%
Bassin versant Melah	273	875	574	820	750	375

### Interprétation :

Le tableau montre que le bassin versant de l'Oued Melah a une altitude allant de 273 m à 875 m, avec une altitude moyenne de 574 m. La majorité des surfaces est située entre 375 m (H95%) et 820 m (H5%).

### III.2.1.2 Les indices de pente :

Revêtent une grande importance pour différents professionnels tels que les forestiers, les agriculteurs, les urbanistes et les gestionnaires des risques naturels. La connaissance des variations d'altitude des pentes permet de mieux interpréter les caractéristiques du terrain et de comprendre la morphologie des régions montagneuses ou des vallées. L'extraction de cartes de pentes est une pratique courante pour calculer divers indices, particulièrement utile dans les zones montagneuses, comme le montre la figure ci-dessous :

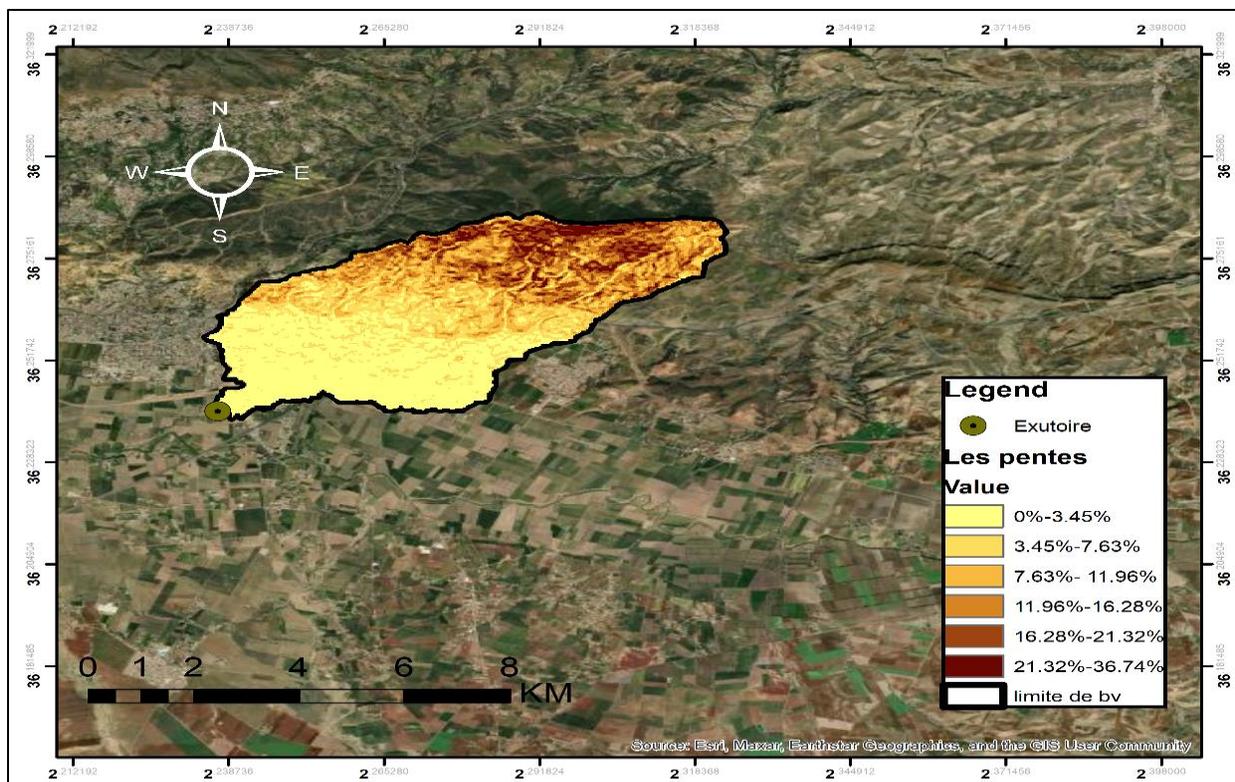


Figure III.5 : Cartographie des pentes dans le bassin versant d'Oued Melah.

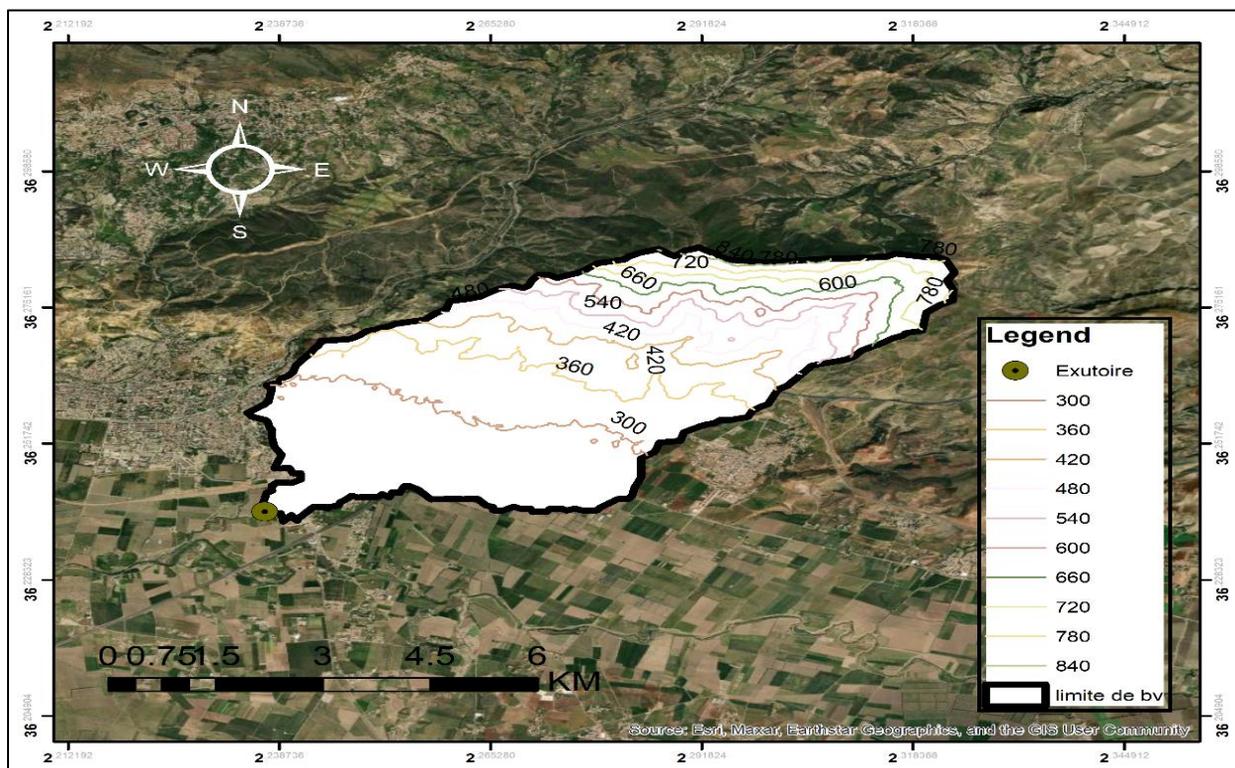


Figure III.6 : Carte des courbes de niveau du bassin versant d'Oued Melah.

**La carte en courbes de niveau :** est une représentation topographique détaillée qui utilise des lignes isohypses pour connecter des points de même altitude sur un terrain. Elle permet une visualisation précise des variations d'altitude, des pentes et de la morphologie du paysage, offrant ainsi une vue détaillée et nuancée du relief de la région étudiée.

**Interprétation :** Cette carte montre un relief modérément vallonné, avec des altitudes variant de 300 à 840 mètres. Le centre est plus plat, entouré de collines plus élevées. L'exutoire marque le point de sortie de l'eau. Ce type de relief influence le drainage et l'érosion dans la région.

### 1) Pente du bassin versant ( $I_{bv}$ ) :

Cette grandeur est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$I_{bv} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L_{cp}} \quad (\text{III.8})$$

Avec :

-  $H_{max} - H_{min}$  : Les altitudes qui représentent respectivement les 5% et les 95% de la surface totale peuvent être reformulées en termes de fréquence.

-  $L_{cp}$  : Longueur du thalweg principal (km).

### 2) Pente moyenne du bassin versant ( $I_m$ ) :

La pente moyenne est une caractéristique essentielle qui offre des informations sur la configuration topographique du bassin. Elle est considérée comme une variable indépendante, fournissant une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct (et donc sur le temps de concentration  $T_c$ ), et elle influe directement sur le débit de pointe lors d'une averse (TOUAIBIA, 2004).

$$I_m = \frac{\Delta H \{0,5L_1 + L_2 + \dots + 0,5L_n\}}{S} \quad (\text{III.9})$$

Avec :

-  $\Delta H$  : Différence d'altitude entre deux courbes de niveau successives (m).

-  $L_1, L_2, \dots, L_n$  : Les longueurs des courbes de niveau (km).

-  $S$  : Superficie du bassin versant ( $\text{km}^2$ ).

**Tableau III.4 : Pente moyenne du bassin versant d'Oued Melah.**

Courbes	Longueur (Km)	$\Delta H$	Surface BV (Km <sup>2</sup> )	I <sub>m</sub> (m/Km)
300	9.513	60	24.018	129.2820
360	10.162			
420	8.038			
480	8.243			
540	7.540			
600	7.114			
660	5.925			
720	5.574			
780	3.759			
840	1.984			

**Interprétation :** Le tableau montre une pente moyenne de 129,282 m/Km pour le bassin versant de l'Oued Melah, avec une surface totale de 24,018 Km<sup>2</sup> et des différences d'altitude de 60 m entre les courbes de niveau. Cela reflète une pente modérée à forte.

### 3 )L'indice de pente globale (I<sub>g</sub>) :

Est un outil utilisé pour évaluer le relief d'un bassin en se référant à la classification de l'O.R.S.T.O.M. Il est défini comme le rapport entre l'amplitude d'altitude entre les 5% et 95% de la surface du bassin et la longueur du rectangle équivalent. Pour calculer cet indice, on choisit deux points, S1 et S2, sur l'axe des abscisses de manière à ce que 95% de la surface du bassin soit comprise entre ces deux valeurs, avec 5% de la surface totale du bassin inférieure à S1 et 5% supérieure à S2 (Bénina 2004).

$$I_g = \frac{D}{L_r} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L_r} \quad (\text{III.10})$$

Où :

- H 5% : L'altitude en dessous de laquelle se trouve 5% de la surface totale du bassin (en mètres).
- H 95% : L'altitude en dessous de laquelle se trouve 95% de la surface totale du bassin (en mètres).
- L<sub>r</sub> : La longueur du rectangle équivalent entre deux points

**Tableau III.5 :** Classification O.R.S.T.O.M du relief à partir de l'indice de pente globale

Relief		Valeur de $I_g$
1	Relief très faible	$I_g < 0.002$
2	Relief faible	$0.002 < I_g < 0.005$
3	Relief assez faible	$0.005 < I_g < 0.01$
4	Relief modéré	$0.01 < I_g < 0.02$
5	Relief assez fort	$0.02 < I_g < 0.05$
6	Relief fort	$0.05 < I_g < 0.1$
7	Relief très fort	$0.1 < I_g$

#### 4) L'indice de pente de Roche ( $I_p$ ) :

L'indice  $I_p$  est la moyenne pondérée des pentes mesurées sur le rectangle équivalent, calculée à partir des différences d'altitude entre deux courbes de niveau successives,  $H_i$  et  $H_{i-1}$ . Il est défini par la formule suivante :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{Lr}} \sum \sqrt{S_i * H_i} \quad (\text{III.11})$$

Avec :

- $L_r$  : Longueur du rectangle équivalent (km).
- $S_i$  : Surface partielle entre deux courbes de niveau ( $\text{km}^2$ ).

#### 5) Indice de pente moyenne ( $I_{pm}$ ) :

La pente moyenne d'un cours d'eau est essentielle pour déterminer la vitesse d'écoulement de l'eau vers la sortie du bassin (exutoire) ainsi que pour évaluer le temps de concentration. Pour calculer cette pente moyenne, on examine le profil en long du cours d'eau principal ainsi que de ses affluents. La méthode couramment utilisée pour calculer la pente longitudinale d'un cours d'eau consiste à diviser la différence d'altitude entre les points les plus élevés et les plus bas du profil par la distance totale du cours d'eau.

$$I_{pm} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L_r} \quad (\text{III.12})$$

Où :

- Hmax – Hmin : Différence d'altitude entre les points les plus élevés et les plus bas du profil du cours d'eau (en mètres ou toute autre unité d'altitude pertinente).

- Lcp : Distance totale du cours d'eau sur laquelle cette différence d'altitude est mesurée (en mètres ou kilomètres, selon le besoin).

Cette mesure permet d'évaluer la déclivité moyenne du cours d'eau, ce qui influe directement sur la dynamique d'écoulement et la concentration des eaux vers le point de sortie du bassin.

### 6) Dénivelée spécifique $D_s$ :

La dénivelée spécifique ( $D_s$ ) se distingue de l'indice de pente globale par le fait qu'elle ne diminue pas pour un même bassin lorsque la surface augmente, contrairement à l' $I_g$  (Touaibia, 2015).

Elle est définie par la formule suivante :

$$D_s = I_g \sqrt{S} = D \sqrt{\frac{I}{Lr}} \quad (\text{III.13})$$

Où :

-  $D_s$  : Dénivelée spécifique (en mètres).

-  $I_g$  : Indice de pente globale (en mètres par mètre).

-  $S$  : Superficie du bassin versant (en kilomètres carrés).

-  $L$  : Longueur caractéristique du bassin versant (en kilomètres).

La dénivelée spécifique permet d'utiliser la classification de l'O.R.S.T.O.M. (voir Tableau III.6) pour définir les différents types de relief des bassins versants, indépendamment de leur superficie.

**Tableau III.6 :** Classification des reliefs d'après l'O.R.S.T.O.M. 1963.

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

**L'ORSTOM :** l'Ancien Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, a été restructuré en 1984 pour devenir l'Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (IRD), puis a été renommé en 1998 en tant qu'Institut de

Recherche pour le Développement (IRD). Ce changement reflète une évolution institutionnelle visant à adapter ses missions et ses objectifs à l'évolution des besoins en matière de recherche scientifique et de développement dans les régions d'outre-mer et au-delà.

Cela n'implique que le relief du bassin versant : est un Relief fort  $250 \text{ m} < DS < 500 \text{ m}$  (Selon ORSTOM).

**Tableau III.7 :** Résultats des calculs des pentes et de la dénivelée spécifique du bassin versant d'oued Melah

Parameters	Symbols	Unites	Valeurs
<b>Pente du bassin versant</b>	$I_{BV}$	m/Km	151.63
<b>Pente moyenne du bassin versant</b>	$I_m$	m/Km	129.28
<b>Indice de pente de Roche</b>	$I_p$	%	5.008
<b>Indice de pente Moyenne</b>	$I_{pm}$	m/Km	112.09
<b>Indice de pente globale</b>	$I_g$	m/Km	0.057
<b>Dénivelée spécifique</b>	$D_s$	m	279
<b>Relief</b>	/	/	Fort

Ce tableau présente les résultats des calculs des différentes pentes ainsi que de la dénivelée spécifique pour le bassin versant de l'Oued Melah.

### **III.3 Étude du réseau hydrographique**

#### **III.3.1 Caractéristiques du réseau hydrographique**

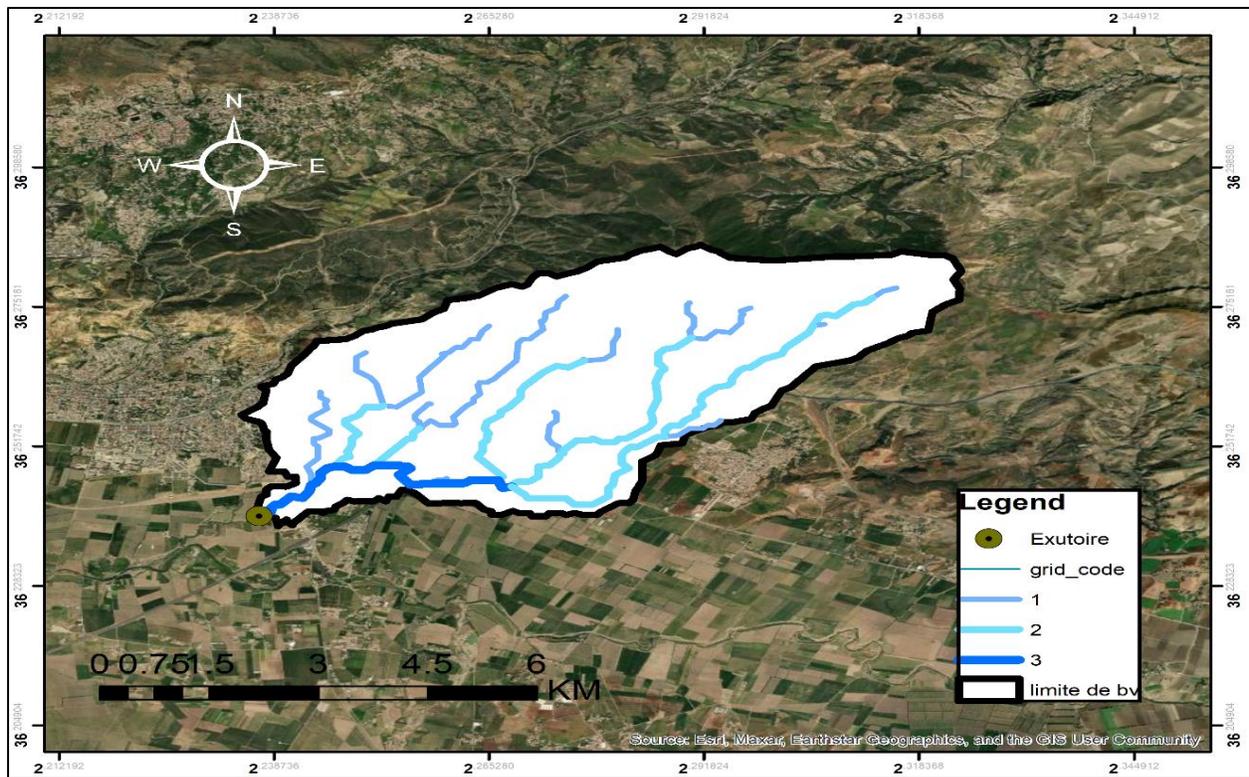
Le cours principal d'un fleuve reçoit les apports de ses affluents les plus importants, qui à leur tour sont alimentés par des affluents de second ordre, et ainsi de suite, jusqu'aux ruisseaux et petits cours d'eau à la source du bassin. Ces cours d'eau à la tête du bassin forment ce que l'on appelle le chevelu hydrographique du bassin versant. Pour décrire de manière exhaustive un réseau hydrographique, plusieurs paramètres doivent être évalués.

- **III.3.1.1. Hiérarchisation du réseau :**

La hiérarchisation d'un cours d'eau est établie en lui attribuant un ordre numérique en fonction de son niveau d'importance.

- Tout cours d'eau sans affluent est classé d'ordre 1.
- Lorsque deux cours d'eau de même ordre (n) se rejoignent, le cours d'eau résultant est d'ordre n+1.
- Un cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau de différents ordres prend l'ordre le plus élevé entre les deux.
- L'ordre le plus élevé correspond à l'ordre du cours d'eau principal à la sortie du bassin.

Cette hiérarchisation permet de structurer et de classer les cours d'eau selon leur contribution à la structure globale du réseau hydrographique.



**Figure III.7 :** Schéma du réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Melah.

### III.3.2 Paramètres hydrographiques

#### 1) Densité de drainage (Dd)

La densité de drainage est définie comme le rapport entre la longueur totale de tous les cours d'eau dans un bassin versant donné et sa superficie. Cette mesure permet de quantifier la complexité et la dynamique du réseau hydrographique. Une densité de drainage élevée indique un réseau hydrographique relativement dense.

Elle est exprimée en km/km<sup>2</sup> et calculée selon la formule suivante :

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{S} \quad (\text{III.14})$$

Avec :

$\sum_{i=1}^n l_i$  : La somme des longueurs de tous les cours d'eau considérés dans le bassin versant.

- n : L'ordre le plus élevé dans la classification.

La densité de drainage se divise en deux catégories selon le type d'écoulement :

**- Densité de drainage temporaire (Ddt) :**

Représente les talwegs qui coulent temporairement.

$$D_{dt} = \frac{\sum lit}{S} \quad (\text{III.15})$$

Où lit représente la longueur des oueds temporaires.

**- Densité de drainage permanente (Ddp) :**

Représente les cours d'eau qui ont un écoulement permanent.

$$D_{dp} = \frac{\sum lip}{S} \quad (\text{III.16})$$

Où lip représente la longueur des oueds permanents.

Ces mesures permettent de caractériser les différents types d'écoulements présents dans le réseau hydrographique d'un bassin versant.

**-Profil en long :**

Le profil en long d'un cours d'eau est essentiel pour estimer sa pente moyenne, une mesure cruciale dans la détermination du temps de concentration du bassin versant.

**2) Densité hydrographique des thalwegs élémentaires (F) :**

La densité hydrographique des thalwegs élémentaires F désigne le nombre total de cours d'eau ou de voies d'écoulement présents sur une zone spécifique. Cette mesure est généralement exprimée en nombre de voies d'écoulement par unité de surface. Elle permet d'évaluer la capacité d'une zone à transporter l'eau à travers ses cours d'eau, offrant ainsi une indication de la dynamique hydrologique de la région.

$$F = \frac{\sum N1}{S} \quad (\text{III.17})$$

Avec :

- F : Densité hydrographique, exprimée en nombre de cours d'eau par unité de surface.

- N1 : Nombre de cours d'eau d'ordre 1.
- S : Superficie du bassin versant (en kilomètres carrés).

### 3) Coefficient de torrentialité (Ct)

Le coefficient de torrentialité Ct est calculé comme le produit de la densité de drainage par la densité hydrographique des thalwegs élémentaires :

$$Ct = Dd * F \quad (III.18)$$

Avec :

- Dd : Densité de drainage.
- F : Densité hydrographique.

### III.3.3 Temps de concentration (Tc)

Le temps de concentration Tc d'un bassin versant est défini comme la durée maximale nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point quelconque du bassin et son exutoire. Cette grandeur est souvent difficile à évaluer précisément. Plusieurs formules sont couramment utilisées, parmi lesquelles la formule de Kirpich, datant de 1940, élaborée à la suite des crues dans le nord-est des États-Unis en 1936 (*Folmar et al., 2007*).

Les méthodes et formules utilisées pour l'analyse des bassins versants sont souvent adaptées aux caractéristiques régionales spécifiques, définies par des paramètres propres à la région où ces formules ont été développées. Lors de l'analyse d'un bassin versant particulier, il est recommandé de choisir la formule qui correspond le mieux aux caractéristiques de ce bassin. Il est préférable de privilégier les formules élaborées dans des conditions physiogéographiques similaires à celles de la partie nord de l'Algérie, afin d'assurer une meilleure pertinence avec le contexte local.

L'estimation du temps de concentration est généralement basée sur les formules empiriques suivantes :

### 1) Formule de Giandotti (sud de l'Italie, 1937)

$$T_c = \left( \frac{(4\sqrt{S}) + (1,5 + L_{cp})}{(0,8 * \sqrt{H_{moy} - H_{min}})} \right)^{0,385} \quad (\text{III.19})$$

Avec :

- T<sub>c</sub> : Temps de concentration (h).
- H<sub>moy</sub> et H<sub>min</sub> : Altitudes moyenne et minimale du bassin versant (m).
- S : Surface du bassin versant (km<sup>2</sup>).
- L<sub>cp</sub> : Longueur du cours d'eau principal (km).

### 2) Formule de Solovsky:

$$T_c = 4 * \left( \frac{S * L_{cp}^{0,333}}{\sqrt{I_{bv}}} \right)^{0,75} \quad (\text{III.20})$$

Avec :

- T<sub>c</sub> : Temps de concentration (h).
- L<sub>cp</sub> : Longueur du thalweg principal (km).
- S : Superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>).
- I<sub>bv</sub> : Pente du bassin versant (m/km).

### 3) Formule de SCS ANRH:

$$T_c = \left( \frac{0,87 * L_{cp}^3}{H_{moy} - H_{min}} \right)^{0,385} \quad (\text{III.21})$$

Avec :

- T<sub>c</sub> : Temps de concentration (h).
- H<sub>moy</sub> et H<sub>min</sub> : Altitudes moyenne et minimale du bassin versant (m).
- S : Surface du bassin versant (km<sup>2</sup>).
- L<sub>cp</sub> : Longueur du cours d'eau principal (km).

#### 4) Formule de TURAZZA :

$$T_c = \frac{0,108^3 \sqrt{S * L_{cp}}}{\sqrt{I_{pm}}} \quad (\text{III.22})$$

Avec :

- $T_c$  : Temps de concentration (h).
- $L_{cp}$  : Longueur du cours d'eau principal (km).
- $S$  : Surface du bassin versant (km<sup>2</sup>).
- $I_{pm}$  : Indice de pente moyenne (m/m).

#### 5) Formule de VENTURA :

$$T_c = 0,1275 \frac{\sqrt{S}}{\sqrt{I_{bv}}} \quad (\text{III.23})$$

Avec :

- $T_c$  : Temps de concentration (h).
- $I_{bv}$  : Pente du bassin versant (m/m).
- $S$  : Surface du bassin versant (km<sup>2</sup>).

#### 6) Formule de KIRPICH :

Cette méthode est adaptée aux bassins versants dont la superficie varie entre 0,4 ha et 81 ha, aux sols argileux et avec une pente moyenne comprise entre 3% et 10%. Le temps de concentration est calculé selon l'équation suivante :

$$T_c = 0,0195 * \frac{L_{cp}^{0,77}}{I_{pm}^{0,385}} \quad (\text{III.24})$$

Avec :

- $T_c$  : Temps de concentration (h).
- $L_{cp}$  : Longueur du cours d'eau principal (m).
- $I_{pm}$  : Indice de pente moyenne (m/m).

Le tableau ci-dessous présente les résultats obtenus pour le temps de concentration calculé à l'aide des différentes formules :

**Tableau III.8** : Résultats des calculs de temps de concentration

<b>Form utilisées</b>	<b>Temps de Concentration</b>	<b>Unités</b>
<b>Formule de VENTURA</b>	0.05	h
<b>Formule de KIRPICH</b>	0.00867	h
<b>Formule de GIANDOTTI</b>	1.2591	h
<b>Formule de TURAZZA</b>	0.034	h
<b>Formule de SOLOVSKY</b>	9.287	h
<b>Formule de SCS ANRH</b>	1.86	h

**Choix du temps de concentration :**

Les équations que nous utilisons sont spécifiquement recommandées pour la région Nord de l'Algérie. Ces formules génèrent des résultats variés, et nous retenons la valeur du temps de concentration la plus faible parmi celles qui sont étroitement rapprochées. Nous avons exclu les valeurs extrêmes, qu'elles soient très élevées ou très basses, afin de ne conserver que les valeurs moyennes.

**Tableau III.9** : Choix du temps de concentration.

<b>Formules utilisées</b>	<b>Temps de Concentration</b>	<b>Unités</b>
<b>Formule de GIANDOTTI</b>	1.2591	H
<b>Formule de VENTURA</b>	0.050	H
<b>Formule de SCS ANRH</b>	1.86	H

Nous avons choisi le résultat fourni par la loi de **GIANDOTTI** car cette formule nous donne le temps de concentration le plus optimal.

### III.3.4. La vitesse de ruissellement $V_r$ :

La vitesse de ruissellement correspond à l'écoulement par gravité à la surface du sol, où les eaux météorologiques qui n'ont pas été infiltrées, évaporées ou retenues en surface suivent la pente naturelle du terrain. En Algérie, la méthode de Kirpich est largement employée pour calculer la vitesse de ruissellement en se basant sur le temps de concentration avec la formule suivante :

$$V_r = \frac{Lcp}{T_c} \quad (\text{III.25})$$

Voici la synthèse des résultats de calcul des paramètres hydrographiques présentés dans le tableau suivant :

**Tableau III.10** : Paramètres hydrographiques du bassin versant d'Oued Melah.

Désignation	Symbole	Unités	Valeur
Densité de drainage	Dd	Km/Km <sup>2</sup>	1.43
Densité hydrographique	F	Km-2	1.29
Coefficient de torrentialité	Ct	/	1.84
Temps de concentration	Tc	Heures	1.259
Vitesse de ruissellement	Vr	Km/h	3.153

Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques géomorphologiques du bassin versant de l'oued El Melah.

**Tableau III.11** : Caractéristiques géomorphologiques du bassin versant de l'oued Melah.

Désignation		Symbole	Unités	Valeur
Superficie		S	Km <sup>2</sup>	24.018
Périmètre		P	Km	24.277
Longueur du talweg principal		Lcp	Km	3.970
Indice de compacité de Gravelius		KG	/	1.387
Indice de compacité de Horton		Kh	/	1.523
Coefficient d'allongement		Ca	/	0.656
Rectangle equivalent	longueur	L	Km	9.532
	largeur	l	Km	2.519
	Surface	SR	Km <sup>2</sup>	24.011
	Périmètre	PR	Km	24.102
Altitudes	Maximale	Hmax	m	875
	Moyenne	Hmoy	m	574
	Minimale	Hmin	m	273
	Médiane 5%	H5%	m	820
	Médiane 50%	H50%	m	750
	Médiane 95%	H95%	m	375
Pente du bassin versant		IBV	m/Km	151.63
Pente moyenne du bassin versant		Im	m/Km	129.28
Indice de pente de Roche		Ip	%	5.0008
Indice de pente Moyenne		Ipm	m/Km	112.09
Indice de pente globale		Ig	m/Km	0.057
Dénivelée spécifique		Ds	m	279
La somme des longueurs descours d'eau		$\sum L_i$	Km	34.472
Nombre des talwegs d'ordre 1		$\sum N_1$	/	31
Densité de drainage		Dd	Km/Km <sup>2</sup>	1.43
Densité hydrographique		F	Km <sup>-2</sup>	1.29
Coefficient de torrentialité		Ct	/	1.84
Temps de concentration		Tc	Heures	1.2591
Vitesse de ruissellement		Vr	Km/h	3.153

### **III.4. Etude des crues :**

L'évaluation de niveau d'endettement maximum est une étape essentielle dans un projet visant à prévenir l'insolvabilité. Cette évaluation permet de choisir les aménagements les plus appropriés et d'identifier les zones vulnérables aux inondations. Une fois les bassins transversaux de la zone d'étude identifiés et leurs caractéristiques déterminées, il s'agit d'estimer les débits de crue pour des périodes allant de 10 à 100 ans. Deux approches sont utilisées pour estimer les débits de crue fréquents du bassin versant.:

- 1) Les observations de la station hydrométéorologique .
- 2) Méthode GRADEX .

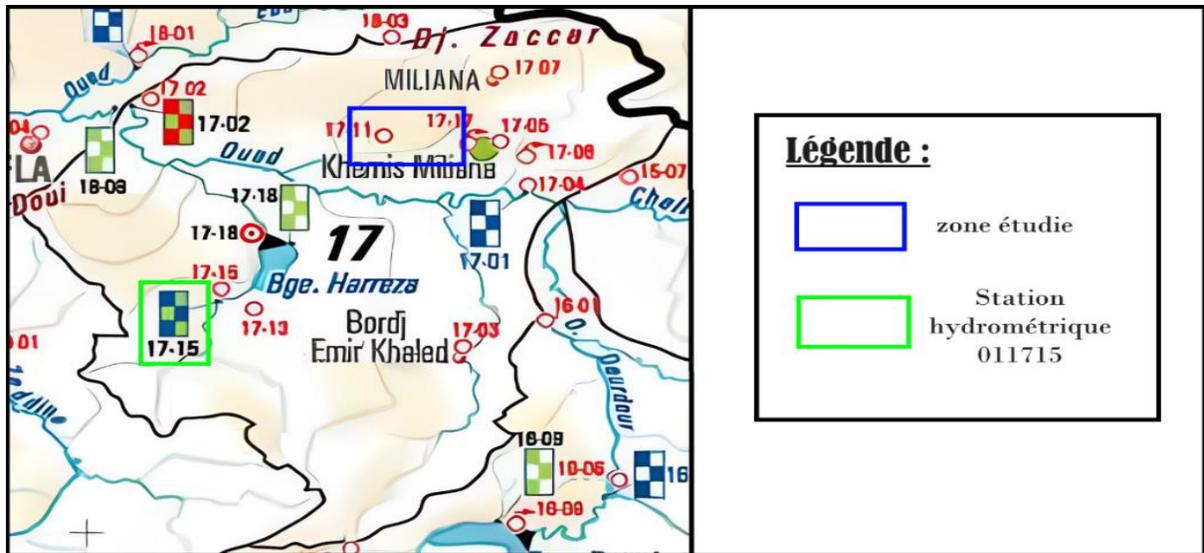
#### **III.4.1 Les observations effectuées sur la station hydrométrique :**

On peut évaluer le temps de retour d'une certaine valeur en analysant régulièrement une longue série de débits maximaux. Le développement et l'utilisation d'un modèle fréquentiel sont à l'origine de cette prédiction, qui imite le comportement statistique d'un processus. Ces modèles montrent la probabilité de se produire un événement d'une valeur spécifique. La validité des résultats de l'analyse fréquentielle est influencée par le choix du modèle fréquentiel. Dans cette étude, nous avons choisi d'appliquer une loi d'ajustement statistique. Il est courant d'utiliser ces lois afin de modifier les séries de précipitations maximales et les débits qui en découlent.

##### **III.4.1.1 Présentation de la station hydrométrique :**

Pour l'étude des inondations, différentes stations de mesure sont utilisées pour collecter des données hydrologiques et météorologiques.

L'analyse des précipitations maximales annuelles est nécessaire pour l'étude d'aménagement, afin de repérer les épisodes de pluie extrême pour différentes périodes de retour. Il est donc nécessaire de suivre une série chronologique des précipitations maximales sur la période la plus longue. Malheureusement, il n'y a pas de station hydrométrique dans notre zone d'intérêt. Ainsi, nous avons fait appel à la station d'El Ababsa, située dans le bassin versant N°01, sous-bassin N°17, afin d'obtenir ces informations.



**Figure III.8 :**La situation de la station hydrométrique de EL Ababsa est illustrée dans la (Source : ANRH-Blida).

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques de la station :

**Tableau III.12 :** Description de la station hydrométrique « El Ababsa » (Source : ANRH).

Station	Code	Coordonnées			Période d'observation
EL Ababsa	011715	X (m)	Y (m)	Z (m)	1972-2018
		443,95	318,05	320	

**Tableau III.13 :**Présente les caractéristiques des stations pluviométriques (Source : ANRH).

Code de la station	Nom de la station	Type de la station	Les coordonnées			Période d'observation
			X	Y	Z	
011717	Khemis	Pluviométrique	456.2	329	300	1975-2018
011711	Sidi Lakhder	Pluviométrique	452	329.65	250	1958-2018
011718	Herraza	Pluviométrique	445.35	321.4	312	1984-2018

La répartition des débits maximaux annuels de la station prise pour une période de 41 ans est présentée dans le tableau ci-dessous.

**Tableau III .14 :** Les débits maximaux annuels de la série enregistrés de la station 011715 sont présentés (Source : ANRH).

Années	Qmax (m <sup>3</sup> /s)	Années	Qmax (m <sup>3</sup> /s)	Années	Qmax (m <sup>3</sup> /s)
1972	45.5	1988	42.1	2004	24.2
1973	31.8	1989	23.2	2005	46
1974	34.7	1990	25.2	2006	24.7
1975	27.1	1992	16.1	2007	49.3
1977	25.4	1993	33.5	2008	41
1978	38.5	1994	56.5	2009	28.4
1979	42.4	1995	39	2010	26.5
1980	30.2	1996	30	2011	27.5
1981	28.9	1997	34.7	2012	46.1
1982	63.7	1998	37.5	2014	25.4
1983	35.1	1999	21	2018	28.4
1984	29.6	2000	44		
1985	44.6	2001	34.1		
1986	48.6	2002	41.2		
1987	31.2	2003	22.2		

#### III.4.1.2. Ajustement de la série des débits et des précipitations maximales quotidiennes :

La précision des résultats d'une analyse fréquentielle est étroitement liée à la sélection du modèle fréquentiel, spécifiquement à sa nature. Il existe plusieurs éléments qui peuvent faciliter cette décision, mais malheureusement, il n'existe pas de méthode universelle et infaillible. L'échantillon de n observations est utilisé pour élaborer un histogramme de fréquence d'apparition et une courbe de fréquence cumulée de non dépassement. En cas d'augmentation du nombre n, l'objectif est d'établir la loi de répartition. La densité de probabilité se transforme alors en fréquence.

**Tableau III.15: Les modèles fréquentiels et leur pertinence**

<b>Modèle fréquentiel</b>	<b>Variables hydrologiques</b>	<b>Validité</b>
<b>Normale</b>	Débits annuels, Précipitations, Volume de stockage des réservoirs .	Situations où les données sont réparties de manière normale.
<b>Log Normale</b>	Débits annuels maximums, Les précipitations quotidiennes, La pluviométrie annuelle, Nombre de ruissellement par mois, Nombre de ruissellement par an .	Dans les cas où les logarithmes des données sont normalement distribués.
<b>Pearson typeIII (Gamma)</b>	Débits annuels maximums, Les précipitations quotidiennes, La pluviométrie annuelle, Nombre de ruissellement par mois, Nombre de ruissellement par an .	Dans les cas où les données sont réparties selon une distribution de Pearson de type III.
<b>Loi de Gumbel ET Fréchet</b>	Débits annuels maximums	Lorsque les débits maximums annuels sont répartis selon une distribution de Gumbel.
<b>Loi exponentielle</b>	La pluviométrie quotidienne, La période entre deux événements	Dans des conditions où les données sont réparties de manière exponentielle.

- **HYFRAN-PLUS** : Le logiciel HYFRAN-PLUS offre la possibilité d'ajuster diverses distributions statistiques sur une série de données, à condition que celles-ci soient autonomes, homogènes et stationnaires (voir publications sur le Système d'Aide à la Décision, SAD). On a créé un outil de Système d'Aide à la Décision qui permet de choisir la distribution la plus adaptée pour estimer les quantiles pour des périodes de retour élevées.

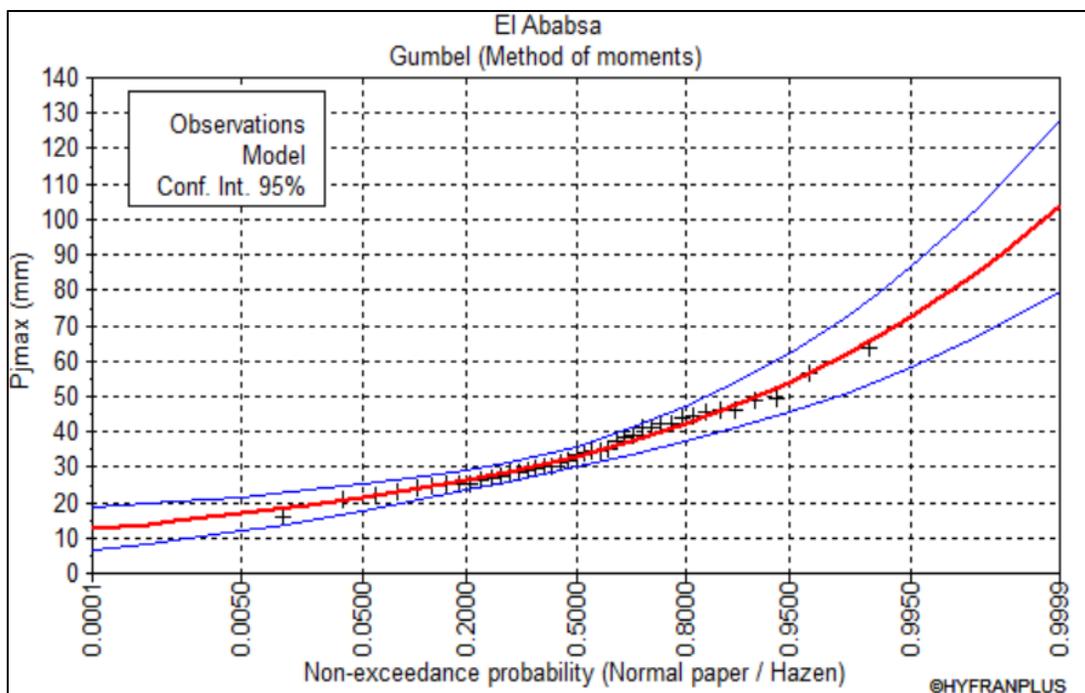
### **1) Ajustement de la série en fonction de la loi de GUMBEL :**

Le concept de la loi de Gumbel est largement connu et employé pour expliquer la répartition des valeurs extrêmes. Effectivement, la loi double exponentielle correspond à la distribution limite de la valeur maximale d'un échantillon de n caractéristiques. Pour une variable dont le maximum annuel est le maximum de 365 valeurs quotidiennes, cette loi devrait pouvoir représenter les séries

de maxima annuels. Le logiciel HYFRAN-PLUS a été utilisé pour ajuster la série à la loi de Gumbel, et les résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau III.16** : présente les résultats de l'ajustement à la loi de Gumbel.

Période de retour	Probabilité de fréquence	Débit max jour	Écart type	Intervalle de confiance
2	0,500	33,20	1,480	30,20-36,00
5	0.800	42.20	2,480	37,30-47,00
10	0,900	48,10	3,340	41,60-54,70
20	0,950	53,80	4,230	45,60-62,10
50	0,980	61,40	5,380	50,70-71,90
100	0,990	66,70	6,290	54,60-79,20
1000	0,999	85,40	9,260	67,20-103.0



**Figure III.9** :présente le processus d'ajustement à la loi de Gumbel de la station 011715.

Une comparaison des propriétés de la loi de GUMBEL et de l'échantillon est disponible, dont les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau III.17 :** Les caractéristiques de la loi de GUMBEL et de l'échantillon sont comparées .

Paramètres	Caractéristiques de la loi	Caractéristiques de l'échantillon
Minimum	None	16,20
Maximum	None	63,80
Moyen	34,90	34,90
Écart type	10,30	10,30
Médian	33,20	33,60
Coefficient de variation Cv	0,294	0,285
Coefficient d'asymétrie Cs	1,130	0,689
Coefficient d'aplatissement Ck	2,500	2,990

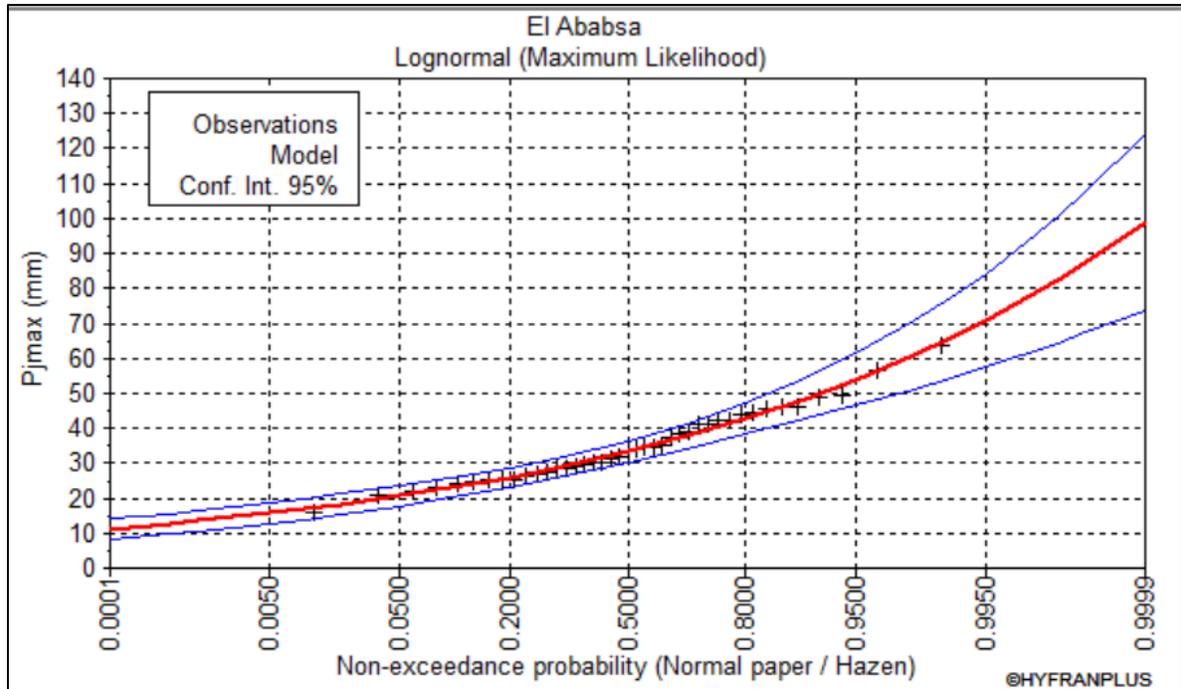
## 2)Ajustement Selon la Loi de Galton, la loi Log Normale :

La variable aléatoire X est considérée comme ayant une distribution log-normale lorsque la variable  $v$ , logarithme naturel de  $x$  ( $v = \ln x$ ), a une distribution normale. L'asymétrie de la loi de Galton est une dérivée de la loi normale qui se transforme en une variable.

Le logiciel HYFRAN a également été utilisé pour ajuster la série de données à la loi log-normale. Les résultats de ce processus sont exposés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau III.18 :** Résultats d'ajustement à la loi de Log normal.

Période de retour	Probabilité de fréquence	Débit max jour	Écart type	Intervalle de confiance
2	0,500	33,40	1,530	30,40-36,30
5	0,800	42,60	2,380	38,20-47,10
10	0,900	48,50	3,010	42,60-54,40
20	0,950	54,20	3,820	46,50-61,50
50	0,980	60,90	4,960	51,10-70,60
100	0,990	65,80	5,870	54,40-77,40
1000	0,999	82,50	9,140	64,50-100



**Figure III.10 :** Graphique d'ajustement à la loi de Log normale de la station 011715 est présenté.

Le tableau ci-dessous présente une comparaison des caractéristiques de la loi log-normale et de l'échantillon :

**Tableau III.19:** Analyse comparée des propriétés de la loi de Log normal et de l'échantillon.

Paramètres	Caractéristiques de la loi	Caractéristiques de l'échantillon
Minimum	0	16,13
Maximum	None	63,74
Moyen	34,90	34,81
Écart type	10,30	10,23
Médian	33,40	33,52
Coefficient de variation Cv	0,296	0,293
Coefficient d'asymétrie Cs	0,924	0,689
Coefficient d'aplatissement Ck	4,650	2,990

- Analyse comparée des deux lois d'ajustement :

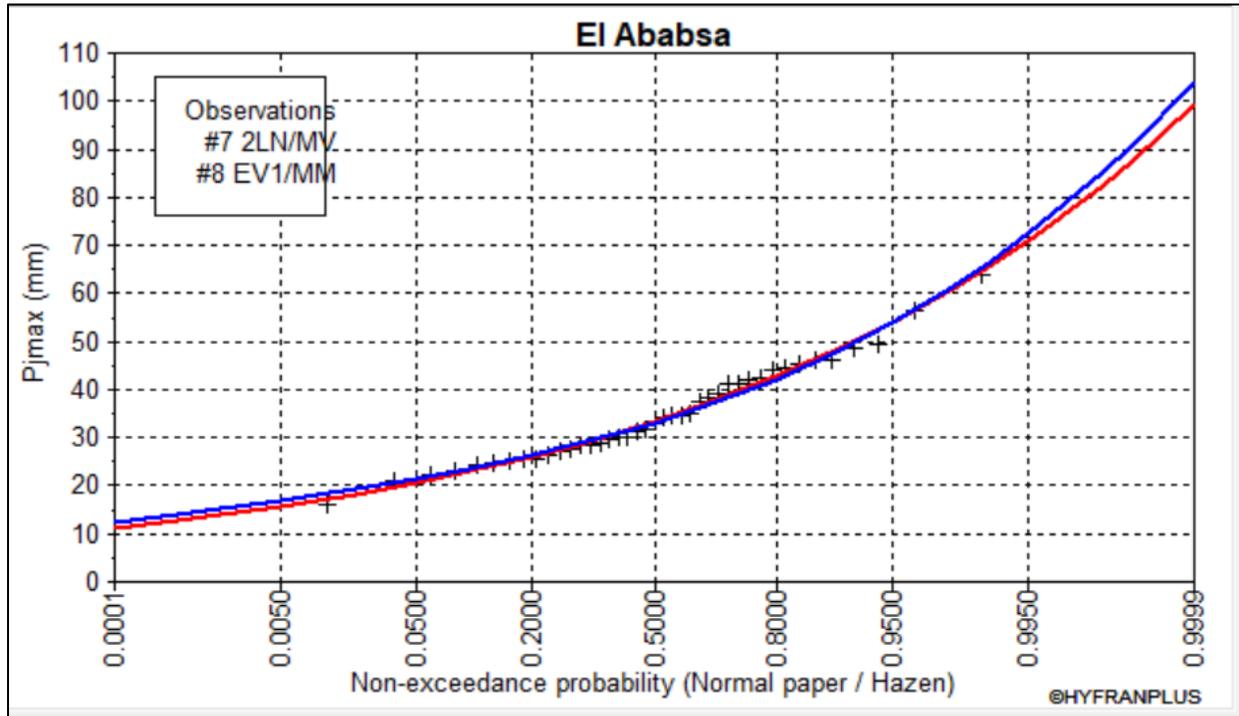


Figure III.11 : Analyse comparée des deux lois d'ajustement de la station 011715.

### III.4.1.3 Sélection de la loi d'adaptation :

Les fréquences expérimentales des valeurs observées et les fréquences des mêmes valeurs dérivées d'une fonction de distribution arbitraire sont inévitables. Malgré l'importance de l'ajustement graphique, il n'est pas suffisant pour définir définitivement la loi théorique à utiliser. La méthode du test statistique d'adéquation consiste à comparer la conformité de plusieurs lois afin de sélectionner celle qui propose le meilleur ajustement. Le test du chi-carré ( $\chi^2$ ) est l'un des tests les plus fréquemment employés.

- Le test de compatibilité de  $\chi^2$  :

Un test d'adéquation, également connu sous le nom de test d'ajustement, vise à vérifier si le modèle choisi correspond aux données observées. Il s'agit plus précisément d'établir une procédure de test afin de vérifier la validité de l'hypothèse selon laquelle les observations proviennent d'une loi donnée. Dans cette situation, le test du  $\chi^2$  (chi-carré) est le plus fréquemment employé.

Effectivement, afin de déterminer la loi à adopter, nous comparons les variables  $\chi^2$  calculées et  $\chi^2$  théoriques (tabulées) à un niveau de risque de 5%, c'est-à-dire un seuil de confiance de 95%. Grâce à cette comparaison, nous pouvons évaluer si les différences observées entre les fréquences empiriques et théoriques présentent une signification statistique. Lorsque la valeur  $\chi^2$  calculée dépasse la valeur  $\chi^2$  théorique, cela signifie qu'il y a un écart significatif entre les données observées et la distribution théorique envisagée. On extrait la valeur  $\chi^2$  théorique (tabulée) de la table de  $\chi^2$  en se basant sur les paramètres  $\gamma$  et  $\alpha$ .

On utilise le test de ( $\chi^2$ ) pour mesurer un seuil de signification  $\alpha$ , généralement fixé à 5%, et un degré de liberté  $\gamma$  (Touaibia, 2015).

- Si  $\chi^2$  calculé est supérieur à  $\chi^2$  théorique (tabulé) : La loi d'ajustement est refusée.
- Si  $\chi^2$  obtenu est inférieur à  $\chi^2$  théorique (tabulé) : La loi d'ajustement sera utilisée.

Le test du chi carré  $\chi^2$  a été effectué en utilisant le logiciel HYFRAN Plus et les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau III.20** : Résultat de l'analyse de  $\chi^2$

Loi de distribution	Degré de liberté $\gamma$	Nombre de classe	$\chi^2$ calculée	$\chi^2$ théorique (tabulé)
Gumbel	5	8	6,8	11,07
Log Normale	5	8	7,6	11,07

Selon les résultats du test du chi-carré et du test d'ajustement, la série des débits maximaux annuels semble s'adapter de manière adéquate à la **loi Log Normale**.

### III.4.2 Calcul des débits fréquents maximums en utilisant la méthode GRADEX :

Selon (*Guillot & Durand, 1969*), la méthode du Gradex est perçue comme une méthode hydro pluviométrique probabiliste qui permet de calculer les débits de crues extrêmes d'un cours d'eau pour des périodes de retour allant de 100 à 10000 ans.

Les méthodes de prédétermination des crues basées sur le traitement statistique des seules valeurs de débits observés sont considérablement améliorées par la méthode du GRADEX, qui utilise l'information pluviométrique (*Garavaglia, 2011*).

#### 1. Les présupposés de la méthode :

La méthode repose sur le postulat selon lequel il existe une corrélation entre la répartition des débits et celle des pluies génératrices. Le fondement de cette méthode est basé sur trois hypothèses (*Meddi et Zeroual, 2019*) :

- **Hypothèse N° 1 :** Selon la méthode d'échantillonnage utilisée, la répartition des précipitations sur le bassin est asymptotiquement décrite par une loi de Gumbel ou une loi exponentielle. La courbe de distribution est représentée par le Gradex, qui représente la pente de la courbe en fonction du logarithme de la période de retour.
- **Hypothèse N° 2 :** Le déficit d'écoulement, qui se définit comme la disparité entre le volume d'eau précipitée et celui écoulé à l'exutoire du bassin versant sur une période donnée, cesse d'augmenter en moyenne au-delà d'une certaine valeur de pluie. Autrement dit, au-delà d'un seuil de saturation du bassin versant, la répartition du déficit d'écoulement n'est plus contrôlée par la pluviométrie ou le débit. Graphiquement, cette hypothèse se manifeste par une corrélation entre la fonction de distribution des précipitations et celle des écoulements sur une période donnée, à partir d'un point pivot généralement situé entre 10 et 50 ans, en fonction du bassin versant étudié.
- **Hypothèse N° 3 :** Peu importe sa fréquence ou sa durée de retour, on peut calculer le débit de crue de pointe (valeur maximale observée) en se basant sur le volume d'eau écoulé (sur la période de temps étudiée), en utilisant un coefficient de multiplication moyen propre au bassin versant. On peut calculer ce coefficient, appelé coefficient de forme ou coefficient d'affinité, en se basant sur les hydrogrammes des crues enregistrées sur le bassin versant.

### III.4.2.1 Les étapes du processus :

- Adapter selon la loi de Gumbel les précipitations maximales quotidiennes (journalières)
- Évaluer la pente de la droite de Gumbel en utilisant le Gradex des précipitations.

$$P(mm) = a * \mu + b. \quad (III.26)$$

- Modification des débits observés à la loi de Gumbel afin de calculer le débit annuel (point central de l'extrapolation des débits). En exprimant le débit annuel en lame d'eau équivalente, on peut utiliser la formule suivante :

$$R(mm) = \frac{Q\left(\frac{m^3}{s}\right) * 3,6 * n \text{ (heurs)}}{S(Km^2)} \quad (III.27)$$

- Calculer la répartition des débits supérieurs à 0,9 (T=10 ans) en utilisant une droite de pente égale au Gradex de la pluie.

$$Q(\mu\%) = a * \mu + b' \quad (III.28)$$

Avec :

a : Gradex de la pluie.

$\mu$  : Variable de Gumbel réduite.

Et :

$$\mu = -\ln(-\ln(F)) \quad (III.29)$$

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

Pour une durée de 10 ans(T=10ans ).

$$b' = Q10ans - a\mu. \quad (III.31)$$

L'équation III.27 est tracée sur le même graphe que l'ajustement de P – jmax. Par la suite, calculer les Q pour chaque période de retour (exprimée en mm). Ensuite, exprimer ces débits en m<sup>3</sup>/s à l'aide de la formule :

$$Q = \frac{S(Km^2) * Q(mm)}{3,6} \quad (III.32)$$

- Estimation du débit maximal ( débit de pointe) :

$$Cp = \frac{Q_{max}}{Q_{moy}} \quad (III.33)$$

Donc :

$$Qp = Cp * Q \quad (III.34)$$

Choisissez une durée de pas de temps de n heures (généralement équivalente à la moyenne des intervalles de temps de base des hydrogrammes de crues disponibles). Pour des raisons pratiques, il est fréquent de choisir une valeur arrondie, telle que 2, 4, 6... jusqu'à 48 heures. Les débits de pointe obtenus sont assez indépendants de n ; il est simplement important de ne pas faire d'erreur importante dans l'ordre de grandeur de n.

**Tableau III.21** : Description des stations de mesure des précipitations (Source : ANRH).

Station	Code	Coordonnées			Nombre d'années
		X(m)	Y(m)	Z(m)	
Harraza	011718	445,35	321,4	312	31
Sidi lakhder	011711	452	329,65	250	41
Khemis	011717	456,2	329	300	44

#### III.4.2.2 Utilisation de l'approche GRADEX :

Les séries de pluies maximales journalières ont été observées à trois stations pluviométriques.

**Tableau III.22** : présente les précipitations maximales quotidiennes de la station pluviométrique de khemis (Source : ANRH).

<b>Année</b>	<b>précipitations maximales journalières annuelles</b>	<b>année</b>	<b>Pjmax (mm)</b>
	<b>[mm/24 h]</b>		<b>[mm/24 h]</b>
1975	33	1997	31.7
1976	30.7	1998	31.1
1977	27.8	1999	26.2
1978	73.7	2000	34.7
1979	57.3	2001	34.3
1980	44.1	2002	33.2
1981	56.7	2003	25
1982	24.7	2004	32.5
1983	22.1	2005	44.9
1984	50.1	2006	60.3
1985	41.7	2007	59.6
1986	37.3	2008	64.8
1987	26.6	2009	42.2
1988	43	2010	33.2
1989	20.3	2011	42.3
1990	22.6	2012	20.6
1991	63.6	2013	40.5
1992	27.7	2014	31.8
1993	24.3	2015	49.3
1994	47.5	2017	37.1
1995	59.9	2018	42.3
1996	24.6		

- Nombres d'heures : n = 4 h.
- Ajustement par la loi de Gumbel des pluies maximales journalières de la station pluviométrique de la station de khemiss

**Tableau III.23:** Résultats de l'ajustement par la loi de Gumbel des précipitations maximales quotidiennes de la station pluviométrique de la station de khemiss . 011717.

Période de retour	Probabilité de fréquence	Débit max jour	Ecart type	Intervalle de confiance
2	0,5000	36.6	1.85	32,9-40.2
5	0.8000	48.5	3.12	42.5-54.7
10	0,9000	56.5	4.22	48.2-64.7
20	0,9500	64.1	5.33	53.6-74.5
50	0,9800	73.9	6.8	60.6-87.3
100	0,9900	7.93	7.93	65.8-96.8
1000	0,9990	11.7	11.7	82.8-129

- Les informations suivantes fournissent l'équation de la droite de Gumbel pour la station pluviométrique Herraiza en utilisant le logiciel Hyfran-Plus :

$$P(\text{mm}) = 10.7 \mu + 32.8$$

Avec :

Le Gradex 'a' : a= 10.7 et b= 32.8

- La station hydrométrique de Khemis 011717 enregistre un débit décennal de :

$$Q_{10\text{ans}} = 39 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Le débit décennal est exprimé en lame d'eau équivalente :

:

$$R(\text{mm}) = \frac{Q\left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) * 3,6 * n (\text{heurs})}{S(\text{Km}^2)}$$

$$R(\text{mm}) = 14.5 \text{ mm}/24\text{h}$$

- Pour augmenter la répartition des débits au-delà de 0.9 (T=10 ans), il est possible d'utiliser une droite avec une pente équivalente au Gradex de la pluie :

$$Q_{10\text{ans}} = a * \mu + b' \longrightarrow b' = Q_{10\text{ans}} - a * \mu$$

$$\mu_{10} = -\ln(-\ln(F)) = -\ln(-\ln(0.9)) = 2.25 \longrightarrow \mu_{10 \text{ ans}} = 2,25$$

$$F = \frac{1-T}{1}$$

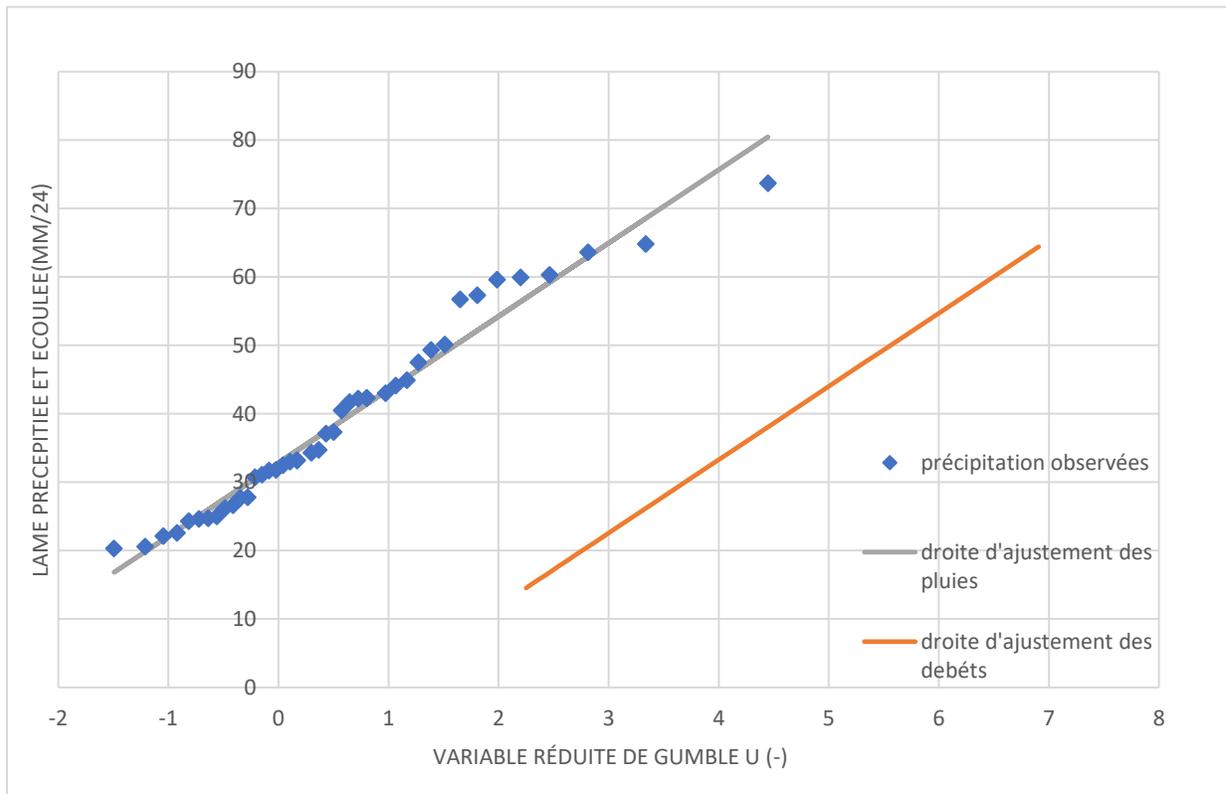
Où :

$$b' = -9.56$$

Alors :

$$Q_{\mu\%} = 10.7 \mu - 9.56$$

- Les débits sont tracés dans le même graphe de l'ajustement des pluies maximales quotidiennes(journalières) .



**Figure III.12 :** Comparaison des précipitations et droite d'extrapolation des débits.

**Tableau III.24 :** Calcul des résultats pour la station de khemiss pour les différentes périodes de retour .

Temps de retour (ans)	Fréquence empirique selon Hazen	u	Précipitation	Débits moyen (mm/24h)	Débits moyen (m3 /s)	Débits de Point
10	0,9000	2,25	56.9	14.5	24	39
20	0,9500	2,97	64 .6	22.2	37	59
50	0,9800	3,9	74.6	32.2	54	86
<b>100</b>	<b>0,9900</b>	<b>4,6</b>	<b>82.1</b>	<b>39.7</b>	<b>66</b>	<b>106</b>
1000	0,9990	6,61	106.8	64.4	107	172

- Les débits de pointe sont calculés pour les différentes périodes de retour, comme on peut le voir coefficient de pointe :  $C_p = 1,6$

Où :

$$C_p = \frac{Q_{max}}{Q_{moy}}$$

Les autres stations sont soumises aux mêmes étapes de la méthode de GRADEX.

**Tableau III.25: :** Résultats de l'adaptation des stations sélectionnées

Période de retours (ans)	Station hydrométrique El Ababsa	Stations pluviométriques		
		Herraza	Sidi Lakhdar	Khemis
10	24	36	36	39
20	34	49	58	59
50	46	66	87	86
<b>100</b>	<b>56</b>	<b>78</b>	<b>108</b>	<b>106</b>
1000	86	119	178	172

- Le débit le plus élevé de la station pluviométrique est de 108m3/s, ce qui est considéré comme le débit du projet.

### III.4.3 L'hydrogramme de crue :

L'hydrogramme de crue est un graphique qui illustre la fluctuation du débit d'un cours d'eau au cours de la période de crue.

Dans un diagramme de crue, on peut observer :

- Une phase ascendante appelée courbe de concentration, sa durée correspond à la période de montée.
- Le débit de pointe est un point culminant de l'hydrogramme.
- Une courbe décroissante appelée courbe de décrue, sa durée correspond à la période de décrue.
- La somme du temps de montée et du temps de décrue est connue sous le nom de temps de base.

L'hydrogramme de crue est tracé en utilisant la méthode de SOKOLOVSKY. Cette approche implique de dessiner la courbe en utilisant deux équations paraboliques, l'une pour la montée de la crue et l'autre pour la baisse.

#### 1) Branche de crue (ascension) :

$$Q(t) = Q_{max} * \left(\frac{t}{T_c}\right)^n \quad (III.35)$$

$T_m = T_c$  (pour les bassins versants de petite taille).

En utilisant le temps de concentration du bassin versant (heures), on peut calculer  $T_c$ .

$Q_m$  : Débit de montée instantané (m<sup>3</sup>/s).

#### 2) Branche descendante (descente):

$$Q(t) = Q_{max} * \left(\frac{T_b - t}{T_d}\right)^m \quad (III.36)$$

Où :

$Q(t)$  : Débit à l'instant  $t$  (m<sup>3</sup>/s).

$Q_{max}$  : Débit maximal de la crue (m<sup>3</sup>/s).

-  $T_m$  : temps de montée (h)

$$T_m = T_c \quad (III.37)$$

-  $T_d$  : temps de décrue (h)

$$T_d = \delta \times T_m \quad (III.38)$$

-  $T_b$  : temps de base (h)

$$T_b = T_m + T_d \quad (III.39)$$

- m,n : puissances des paraboles (m=3 ; n=2)

**Tableau III.26:** L'hydrogramme de crue a un coefficient de forme. " $\delta$ ".

Description du cours d'eau	Valeur de " $\delta$ "
Petits cours d'eau et vallons dans des bassins versants dénudés et faiblement perméables.	2,0 – 2,5
Petits cours d'eau et vallons dans des bassins versants brisés ou perméables, moyens cours d'eau avec terrasses de lit majeur normales	3,0 – 4,0
Grands et moyens cours d'eau avec des terrasses de débordements étendues.	4,0 – 7,0

**Tableau III.27:** Paramètres de calcul de l'hydrogramme de crue

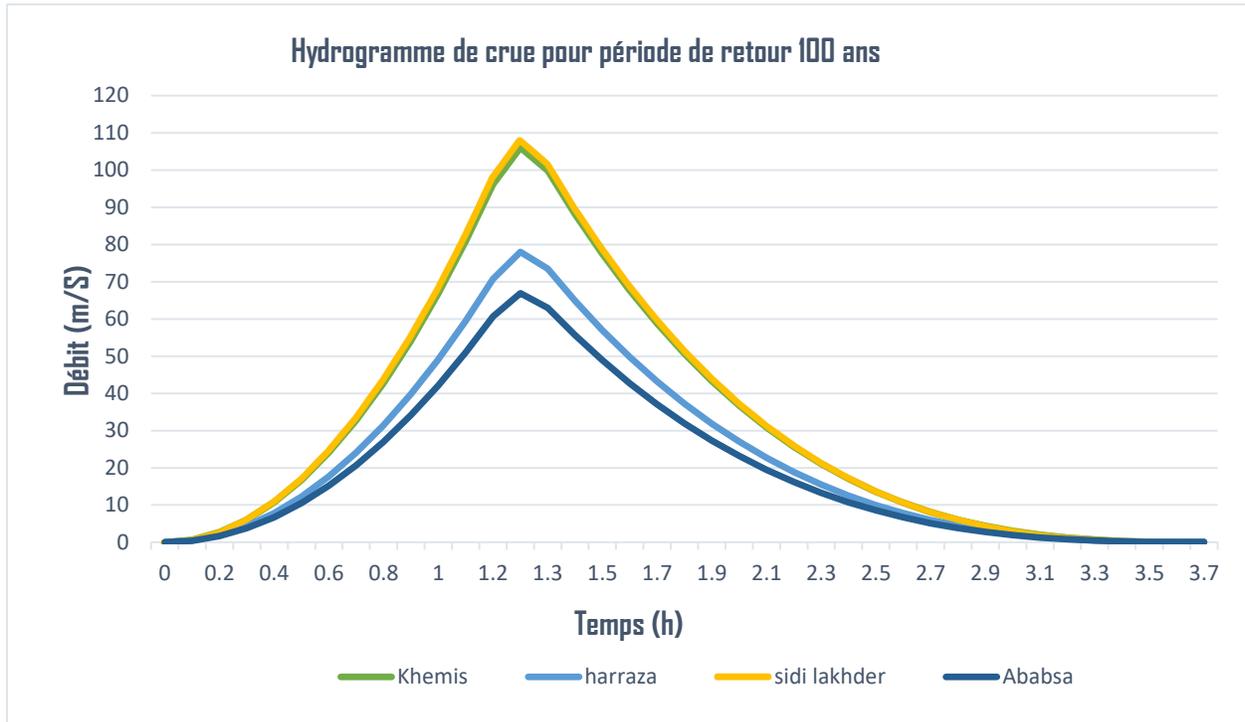
Paramètre	Unités	Valeur
$T_c$	Heures	1.26
$T_m$	Heures	1.26
$T_d$	Heures	2.52
$T_b$	Heures	3.77
N	/	3
M	/	2
$\Delta$	/	2

L'hydrogramme de crue pour la période de retour de 100 ans des différentes stations est présenté dans le tableau ci-dessous.

**Tableau III.28: Valeurs du débits centennales en fonction du temps pour la zone d'étude**

Temps (h)	Période de retour 100 ans			
	Station hydrometrique khemis	Stations pluviométrique		
	Ababsa	Herraza	Sidi Lakhder	Khemis
	Q (m3/s)	Q (m3/s)	Q (m3/s)	Q (m3/s)
0	0	0	0	0
0.1	0.42	0.49	0.68	0.67
0.2	1.68	1.96	2.72	2.67
0.3	3.79	4.42	6.12	6.00
0.4	6.74	7.86	10.88	10.68
0.5	10.53	12.28	17.08	16.69
0.6	15.17	17.68	24.48	24.03
0.7	20.64	24.07	33.33	32.71
0.8	26.96	31.44	43.53	42.73
0.9	34.13	39.79	55.10	54.08
1	42.13	49.13	68.02	66.76
1.1	50.98	59.44	82.31	80.78
1.2	60.68	70.74	97.95	96.14
<b>1.26</b>	<b>66.90</b>	<b>78</b>	<b>108</b>	<b>106</b>
1.3	62.99	73.44	101.69	99.81
1.4	55.65	64.38	89.83	88.17
1.5	48.89	57.01	78.94	77.47
1.6	42.71	49.80	68.96	67.68
1.7	37.07	43.23	59.85	58.75
1.8	31.96	37.25	51.59	50.64
1.9	27.33	31.87	44.13	43.31
2	23.18	27.27	37.42	36.73
2.1	19.47	22.79	31.43	30.84
2.2	16.17	18.86	26.11	25.63
2.3	13.27	15.82	21.43	21.04
2.4	10.74	12.53	17.35	17.03
2.5	8.56	9.83	13.82	13.56
2.6	6.69	7.06	10.80	10.60
2.7	5.12	5.70	8.67	8.14
2.8	3.81	4.84	6.59	6.45
2.9	2.75	3.06	4.44	4.36
3	1.90	2.18	3.81	3.03
3.1	1.25	1.94	2.29	1.92
3.2	0.70	0.12	1.49	1.26
3.3	0.36	0.60	0.8	0.68
3.4	0.14	0.46	0.41	0.35

3.5	0.08	0.09	0.13	0.13
3.6	0.02	0.02	0.08	0.03
3.7	0.01	0.01	0.02	0.02
3.77	0	0	0	0

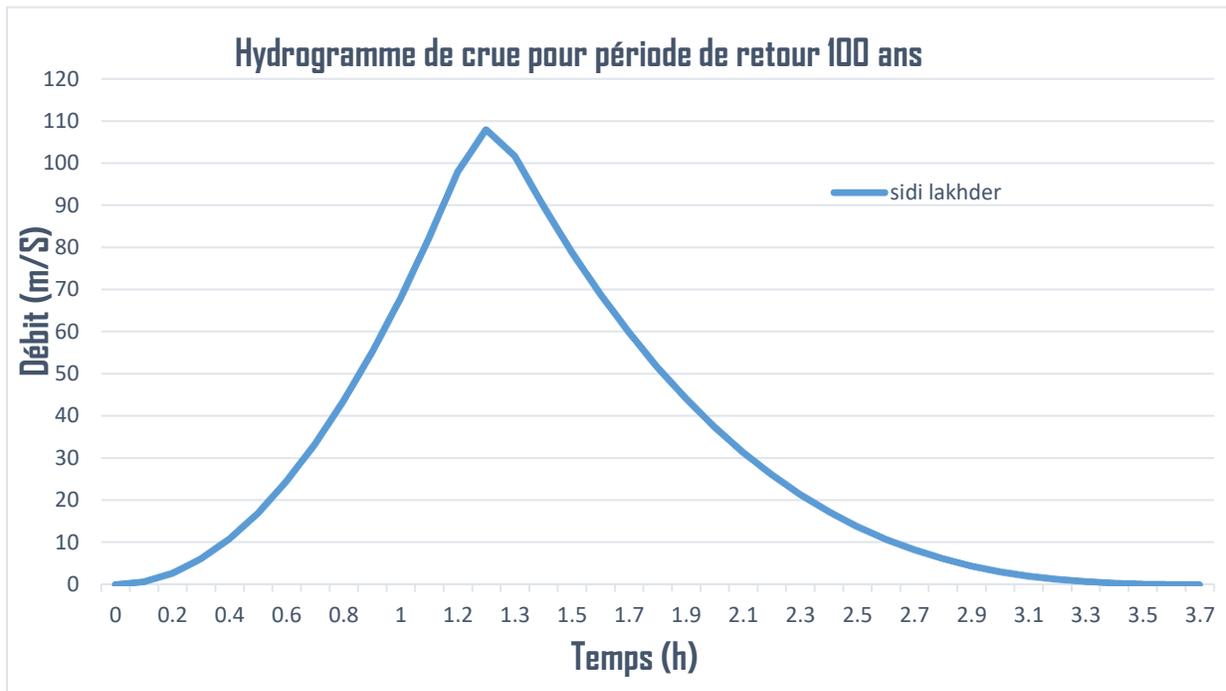


**Figure III.13 :** Diagramme de crue pour la période de rétablissement Une centaine d'années pour les diverses stations.

#### III.4.4 Decision de la crue du projet :

On définit la crue de projet comme la plus grande crue que la structure doit faire face, en fonction d'une probabilité précise. La sélection de la crue pour ce projet repose essentiellement sur l'importance de la structure à édifier, les conséquences éventuelles en aval et les aspects techniques et économiques liés à l'aménagement et à l'environnement.

Pour ce projet de lutte contre les inondations, nous avons opté pour une période de retour de 100 ans. Il a été constaté que la station pluviométrique de Sidi Lakhdar 011711 et le choix, ce qui représente un pourcentage supérieur à celui obtenu par la méthode GRADEX utilisée pour les autres stations de prélèvement des précipitations et la station hydrométrique. Par conséquent, nous avons opté pour un débit de conception de 108 m³/s pour la conception.



**Figure III.14 :** La station pluviométrique Sidi Lakhdar 011711 a été soumise à la crue.

### Conclusion :

L'étude hydrologique constitue une étape cruciale et délicate dans le cadre d'une analyse de protection contre les inondations. Le choix du débit de pointe est fondamental pour toute modélisation hydraulique du cours d'eau, car il permet de prévoir les inondations et de définir les aménagements nécessaires pour garantir la protection, ainsi que d'évaluer les coûts liés à leur réalisation. À la lumière de ce chapitre, nous pouvons conclure que :

- L'analyse hydromorphologique de la zone d'étude révèle que le bassin de l'oued Melah présente une forme allongée, caractérisée par un relief fort et un temps de concentration de 1,3 heures.

Nous avons utilisé les données fournies par la station hydrométrique ainsi que par les stations pluviométriques situées dans le bassin versant de l'Oued Melah pour mener cette étude hydrologique. En appliquant la méthode GRADEX, nous avons déterminé le débit annuel de la crue. En résumé, nous avons choisi un débit de projet de 108 m<sup>3</sup>/s.

# **Chapitre IV : Diagnostic et modélisation du cours d'eau.**

## **Introduction:**

Afin de préserver la commune de Khemiss Meliana des risques d'inondation de l'oued Melah il est essentiel de procéder à une étude hydraulique afin de déterminer correctement les dimensions de l'aménagement de l'oued Melah .

Au cours de ce chapitre d'étude hydraulique, nous allons approfondir notre compréhension des principes essentiels de l'hydraulique et acquérir une compréhension des concepts hydrauliques, des lois et des équations utilisées pour calculer les caractéristiques hydrauliques et géométriques de l'établissement. Grâce à ce chapitre, nous pouvons évaluer les risques d'inondation dans la zone d'étude, tout en élaborant et en dimensionnant des mesures de protection adéquates afin de diminuer les risques d'inondation.

## **Généralités:**

L'étude des écoulements naturels est un domaine intégré à l'hydraulique à surface libre. Ce qui la distingue de l'hydraulique en charge est la présence d'une surface libre, directement exposée à l'atmosphère. Dans ces conditions, la gravité devient le moteur principal de l'écoulement, contrairement aux écoulements en charge où c'est le gradient de pression qui prédomine. On parle alors d'écoulements gravitaires.

La profondeur de l'eau par rapport à la longueur de l'écoulement est une caractéristique fondamentale de ces écoulements, que ce soit le cours d'une rivière ou une conduite. Il existe une grande diversité d'écoulements à surface libre et de leurs applications, tels que les rivières, les cours d'eau et les fleuves, ainsi que les écoulements dans des conduites partiellement remplies, tels que dans les systèmes d'irrigation ou d'assainissement.

Afin de représenter ces flux, il faut subdiviser le domaine global en deux sous-domaines non miscibles, séparés par une interface claire représentant la surface libre. Il y a un volume d'eau dans le premier sous-domaine et un volume d'air dans le second, au-dessus.

## **IV.1 Rappel de quelques notions :**

### **IV.1.1 Paramètres Hydraulique:**

Sont des variables ou des caractéristiques de l'écoulement de l'eau dans un système hydraulique et sont utilisés pour analyser et évaluer les performances hydrauliques d'un système. Voici quelques paramètres hydrauliques couramment utilisés :

- **Débit (Q)** : Le débit est la quantité d'eau qui traverse le canal par unité de temps, un paramètre essentiel pour comprendre la quantité d'eau qui traverse un système hydraulique, exprimé en m<sup>3</sup>/s ou en l/s.

- **La vitesse d'écoulement (V)** :correspond à la vitesse à laquelle l'eau circule dans le système. Elle peut être différente selon la forme du canal, la pente, la rugosité de la surface, et ainsi de suite. L'évaluation des performances hydrauliques et du transport des sédiments repose sur la vitesse de l'écoulement. On la mesure habituellement en mètres par seconde (m/s)

- **vitesse moyenne :**

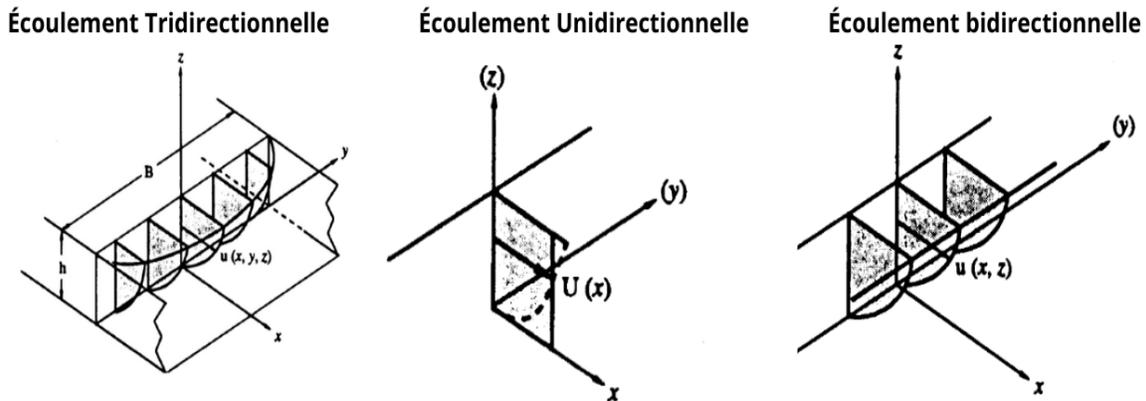
La vitesse moyenne est par définition

$$V = Q / S \text{ c'est-à-dire} \tag{IV. 1}$$

$$V = \iint v ds / S$$

Donc :

ds désignant un élément de surface  $S = \iint ds$ .



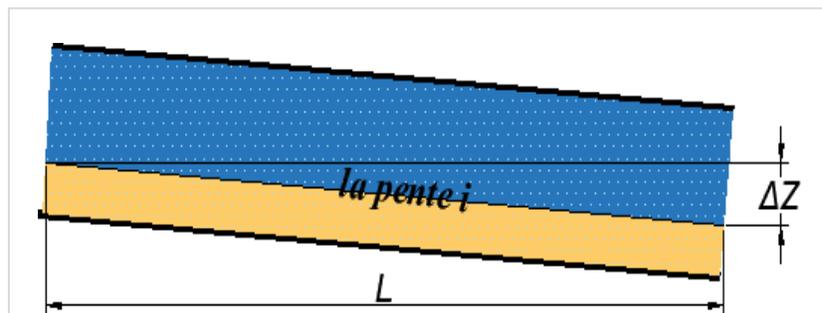
**Figure IV.1** : Illustration illustrant la structure et la direction de l'écoulement (Source : Roland O. YONABA - 2015).

- **L'indice de Manning (n) :** Il s'agit d'un critère qui détermine la texture de la surface d'écoulement ou du lit d'un cours d'eau. On établit généralement ce coefficient par des expériences sur différentes surfaces comme le béton, l'herbe, les graviers, etc. En général, on le représente par "n" et il est adimensionnel.

**Tableau IV. 1 :** présente les valeurs du coefficient de rugosité n. (Chen and Cotton, 1986) :

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

- **La pente hydraulique (i) :** fait référence à l'angle du terrain par lequel l'eau coule. Elle a une influence sur la vitesse de l'écoulement et est utilisée pour évaluer les caractéristiques et les performances hydrauliques d'un dispositif. On exprime généralement cette mesure en pourcentage.



**Figure IV.2 :** Schéma représente la pente.

On calcule la pente par la relation suivante :

$$I = \Delta Z / L \quad (IV. 2)$$

Où :

$\Delta Z$  : c'est la différence de niveau entre les altitudes ( $Z_1 - Z_2$ ).

$L$  : c'est la longueur.

- **La pression (p) :** est définie comme la force exercée par l'eau sur une surface donnée. Elle est couramment mesurée en Pascal (Pa) ou en bar. Sur la surface libre d'un canal, la pression est approximativement égale à la pression atmosphérique standard de 1 bar.

- **La profondeur critique (hc) :** représente la profondeur spécifique de l'eau pour un débit donné, à partir de laquelle l'écoulement passe soit du régime subcritique au régime supercritique, soit vice versa.

- **Le poids volumique de l'eau :** noté  $\gamma_w$ , est défini par l'équation :

$$\gamma_w = \rho_w * g \quad (IV. 3)$$

où :

$\rho_w$  est la masse volumique de l'eau, égale à 1000 kg/m<sup>3</sup>

$g$  est l'accélération due à la pesanteur, égale à 9.81 m/s<sup>2</sup>.

- **la charge hydraulique sur un point d'un liquide en circulation (Mvm) :**

La charge hydraulique désigne la quantité d'énergie consommée par unité de poids de liquide.

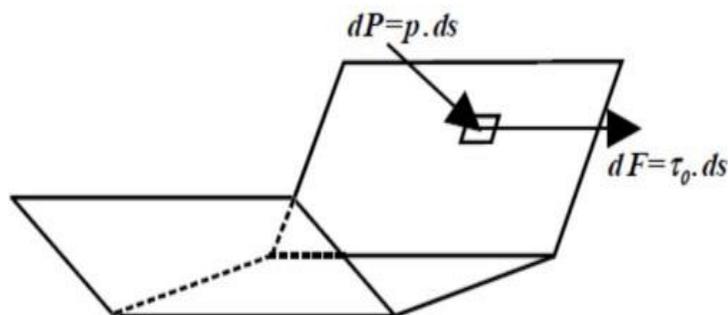
La charge en un point p d'une ligne de courant est caractérisée par :

$$Hp = \frac{P}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g} + Zp \quad (IV. 4)$$

- **Une paroi du canal subit un frottement :**

L'eau agit en mouvement avec une forte force de frottement sur les parois du chenal.

La force de frottement par unité de surface ou contrainte tangentielle à la paroi est connue sous le nom de  $dF = \tau \cdot ds$ .



**Figure IV.3 :** L'eau exerce des forces sur les parois (Source : TOUMI Abdelouaheb, 2016).

## IV.2 Dimensionnement des canaux :

Pour l'écoulement à surface libre et dans le cas du régime uniforme la vitesse moyenne d'écoulement est donnée par la formule IV.4 appelée formule de Chézy :

$$V = C\sqrt{R_H \cdot I} \quad (IV. 5)$$

On a :  $Q=V.S$

Donc on obtient :

$$Q = C \cdot S \cdot (R_H \cdot I)^{0.5} \quad (IV.6)$$

Avec :

C : Le coefficient de Chézy, mesuré en (m<sup>0.5</sup>/s)

RH : Le rayon hydraulique (m)

I : Le gradient hydraulique ou la perte de charge par unité de longueur ; dans le cas d'un écoulement uniforme, I est égal à la pente du radier (du fond) du canal

- **Calcul du coefficient de Chézy** : On peut utiliser différentes formules pour déterminer le coefficient de Chézy. Parmi ces formules, nous citerons celles les plus couramment utilisées.

- **Formule de Manning (1891)** : Manning propose la formule suivante :

Le coefficient de rugosité est n, tandis que le rayon hydraulique est RH. Selon *Blench (1939)* le coefficient C est considéré comme une variable qui dépend non seulement de n, mais également de ressources humaines, et dont l'exposant dépend à son tour de n et de ressources humaines. Il s'agit de la formule de Pavlovski

- **Formule de Pavlovski (1940)** :

$$C=(1/n)*Rh^y \quad (IV.7)$$

Avec :

Le coefficient de rugosité est n,

tandis que le rayon hydraulique est  $R_H$ .

$y$  : est un exposant spécifié soit en fonction de la relation globale.

$$y = 2.5(n - 0.13)^{0.5} - 0.75(R_H(n - 0.1))^{0.5} \quad (\text{IV.8})$$

• Formule d'Agroskine :

La formule d'Agroskine qui calcule le coefficient de Chézy est la suivante :

$$C = 4\sqrt{2. g(K + \log R_H)} \quad (\text{IV.9})$$

Où  $k$  : est le paramètre de Poli.

Étant donné que la formule d'Agroskine est semi empirique et que les grandeurs incluses dans le deuxième terme sont exprimées uniquement en unité de longueur, à savoir le mètre, on recommande l'utilisation de la formule suivante :

$$C = \frac{1}{n} + 17.72 \log(Rh) \quad (\text{IV.10})$$

• Formule de Bazin (1897) :

Selon Bazin, la valeur du coefficient  $C$  de Chézy est influencée par le rayon hydraulique  $R_H$ , mais non par la pente  $I$  du canal.

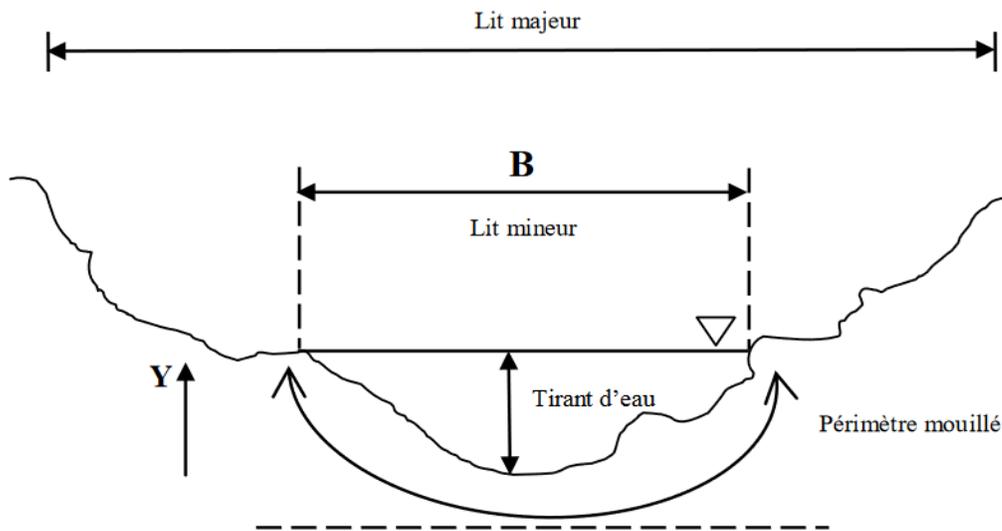
On peut donc calculer le coefficient  $C$  en utilisant l'expression suivante :

$$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R_H}}} \quad (\text{IV.11})$$

$m$  : est le coefficient de rugosité dépendant de la nature du matériau constituant le canal considéré (Toumi, 2016).

## IV.2.1 Caractéristiques géométriques :

- **La largeur au miroir (B)** correspond à la distance horizontale mesurée entre les parois du canal à la surface de l'eau, indiquée en mètres.
- **La hauteur normale  $h_n$**  correspond à la hauteur d'un écoulement constant uniforme dans une boucherie. Le débit  $Q$ , la rugosité  $K$  et la pente moyenne déterminent la hauteur normale.
- **La surface transversale mouillée (S)** correspond à l'espace occupé par l'eau dans la section transversale du canal.
- **périmètre mouillé (P)** : La longueur du contour de la section transversale du canal en contact avec l'eau
- **La pente longitudinale (i)** correspond à la pente du fond du canal en direction de l'écoulement.
- **La largeur au fond (b)** correspond à la distance horizontale entre les deux parois ou les bords inférieurs d'un canal.
- **Amplitude d'écoulement (Tirant d'eau)** : Profondeur maximale d'une portion d'écoulement.
- **Le lit majeur** représente la zone que le cours d'eau occupe pendant les périodes de crue, incluant les zones inondées. Le lit d'étiage ou chenal d'étiage est le lit du cours d'eau occupé pendant les périodes d'étiage, quand le débit d'eau est le plus faible.
- **Le terme "lit mineur"** fait référence au lit courant d'un cours d'eau, contrairement au lit majeur qui correspond à l'empreinte historique la plus importante du cours d'eau ou de la plaine inondable. La cote maximale atteinte par la surface libre d'un cours d'eau est également appelée niveau des plus hautes eaux (PHE).
- **Le rayon hydraulique** : est représenté par la longueur caractéristique :  $R = S / P$ .



**Figure IV.4 :** présente une coupe transversale d'un canal naturel.

### IV.3 Mode d'écoulement dans les Oueds :

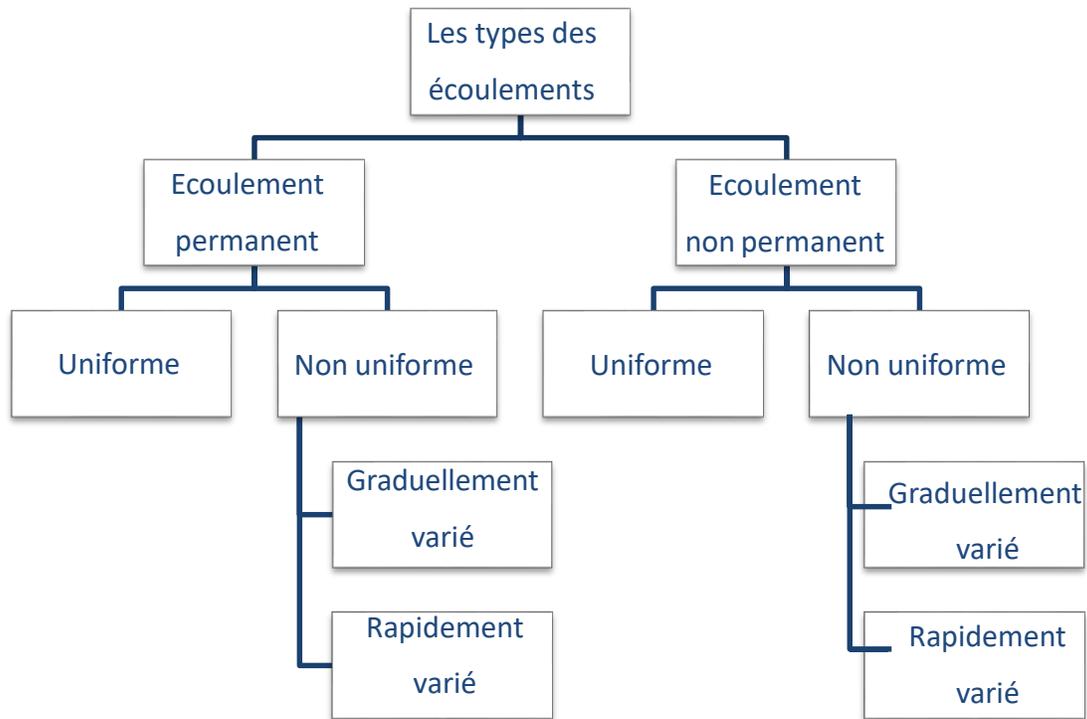
Dans les cours d'eau naturels et artificiels, l'écoulement se fait à surface libre. Ce mode d'écoulement, caractéristique des rivières et des oueds, se distingue par le fait que l'eau s'écoule sans être confinée par des parois rigides comme celles des conduites en charge. La dynamique de cet écoulement est principalement influencée par la pente naturelle du lit du cours d'eau.

La force de gravité est la principale cause du mouvement de l'eau dans un écoulement à surface libre. Quand l'eau coule en aval sur une pente, la gravité exerce une action sur l'eau afin de la faire descendre. L'importance de la pente réside dans le fait qu'elle établit une différence de hauteur entre deux points du cours d'eau, ce qui entraîne un écoulement du point le plus haut vers le point moindre.

La pente du canal influence également la vitesse de l'écoulement dans un écoulement à surface libre. À mesure que la pente augmente, l'eau s'écoule plus rapidement. D'autre part, si la pente est basse, le débit sera plus lent.

#### IV.3.1 Modes d'écoulement :

Il existe différents régimes d'écoulements à surface libre en hydraulique fluviale. La figure ci-dessous présente les différents types d'écoulements les plus fréquents.



**Figure IV. 5** : Processus de circulation.

### IV.3.2 Type d'écoulement :

#### IV.3.2 .1 Diversité dans l'espace :

- **L'écoulement non uniforme:** la vitesse et la profondeur du liquide varient tout au long du cours d'eau. Un écoulement non uniforme graduellement varié se caractérise par des variations de profondeur et de vitesse du fluide qui se produisent progressivement le long du canal, tandis qu'un écoulement non uniforme rapidement varié se caractérise par des variations rapides et brusques de profondeur et de vitesse du fluide le long du canal.

- **L'écoulement uniforme :** Le processus d'écoulement uniforme se distingue par deux conditions (la persistance et la continuité). Si la profondeur, la pente, la vitesse et la section droite sont constantes sur une distance donnée du canal, on dit qu'un écoulement est uniforme.

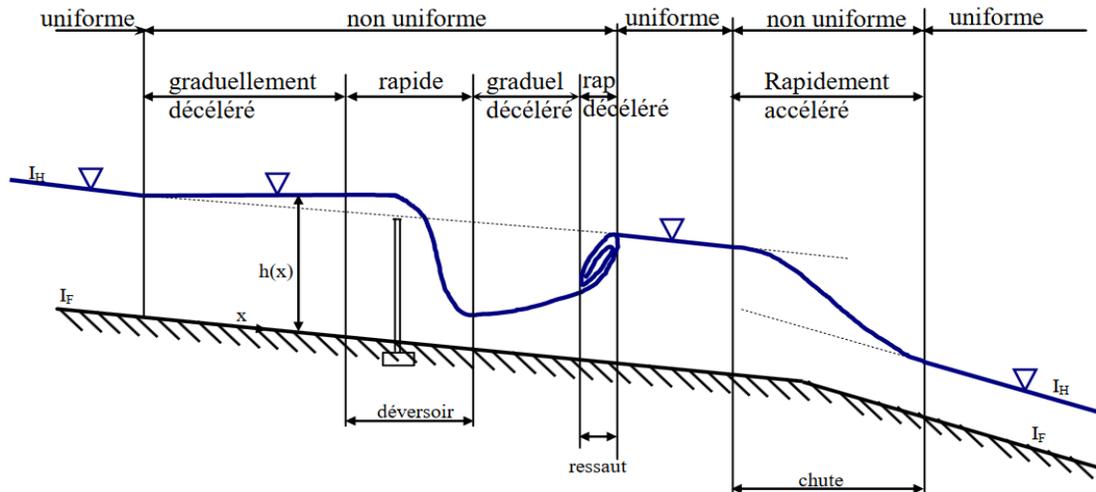


Figure IV.6 : Schéma illustrant les différents types d'écoulements (M. HASSANE, 2009/2010).

#### IV.3.2.2 Diversité dans le temps :

- **On parle d'écoulement non stationnaire (non permanent) :** lorsque la profondeur de l'eau ( $dh$ ) et les autres paramètres tels que les vitesses moyennes ( $V$ ) et ponctuelles ( $U$ ) changent au fil du temps. Cela conduit à une non-uniformité du débit, qui varie au fil du temps.
- **Un écoulement permanent :** est considéré stationnaire lorsque les vitesses moyennes et ponctuelles ( $V$  et  $U$ ) ainsi que la profondeur  $h$  demeurent constantes dans le temps et en tout point de l'espace, dans toutes les directions. Le débit reste donc constant entre les différentes parties du canal, sans apport latéral.

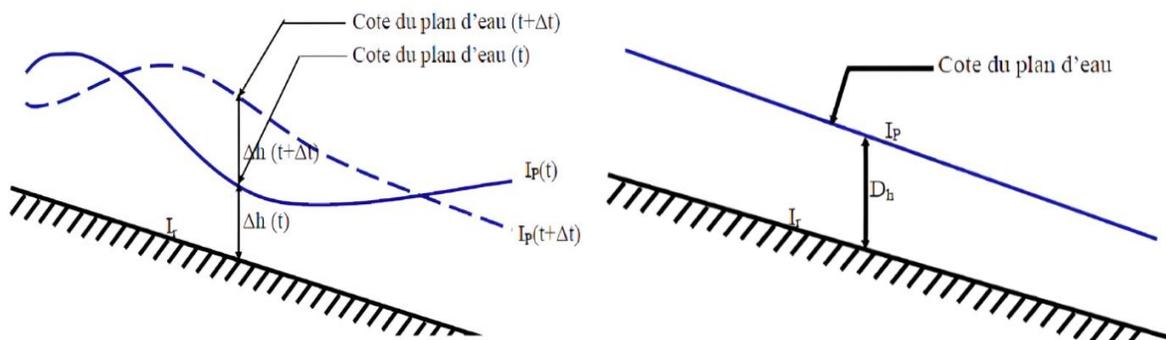


Figure IV.7 : illustre un écoulement non permanent et permanent (M. HASSANE, 2009/2010).

### IV.3. 3 Régime d'écoulement :

La classification des écoulements dans les canaux à surface libre est appelée régime d'écoulement à surface libre, où le fluide est en contact direct avec l'air. Les caractéristiques hydrauliques déterminent principalement les régimes d'écoulement à surface libre, tels que le calcul du nombre de Froude pour déterminer correctement le régime d'écoulement.

Les forces suivantes sont exercées sur l'écoulement dans un canal à surface libre :

- Forces gravitationnelles.
- Forces d'inertie
- Forces d'impact (viscosité et rugosité) (frottement).

Ou bien d'autre façon On peut classer un écoulement en différents types selon le nombre de Froude, qui tient compte des forces d'inertie et des forces gravitationnelles. (*Lancastre, 2008*).

- différents types selon le nombre de Froude :

$Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}}$	<ul style="list-style-type: none"><li>• V : vitesse moyenne (m/s);</li><li>• g : accélération due à la gravité (9,8 m/s<sup>2</sup>);</li><li>• h : profondeur d'écoulement (m<sup>2</sup>);</li></ul>
----------------------------	--

Les écoulements peuvent être classés de la façon suivante en fonction du nombre de Froude :

- Écoulements fluviale Fr <1 (subcritique)
- Écoulements torrentiel Fr >1
- Écoulements Critique Fr = Frc =1 (supercritique)

Pour le régime uniforme, la classification en régime fluvial, torrentiel ou critique est particulière.

Quand :

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

▪ **Différents types selon le nombre de Reynolds :**

Un autre nombre adimensionnel utilisé dans l'étude hydraulique est le nombre de Reynolds. Il est fréquemment employé avec le nombre de Froude pour désigner le mode d'écoulement d'un liquide. Le rapport entre les forces inertielles et les forces visqueuses dans un écoulement est appelé nombre de Reynolds (Re).

$$Re = VL / \theta \quad (IV. 12)$$

Où :

V : la vitesse de circulation.

L : la longueur spécifique.

La viscosité cinématique du fluide est définie par  $\theta$ .

Quand :

- Re inférieur à 500 : flux laminaire.
- Re supérieur à 2000 : flux turbulent.
- $500 < Re < 2000$  : flux de transition.

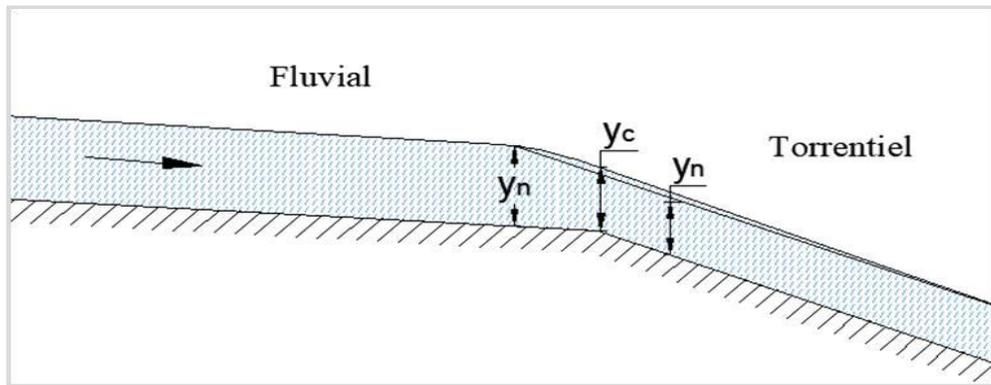
Ainsi quatre régimes d'écoulement sont obtenus en fonction des effets du nombre de Reynolds Re et du nombre de Froude Fr.

- $Fr < 1, Re < 500$  : flux de flux fluvial-d'eau.
- $Fr < 1, Re > 2000$  : écoulement fluvial-turbulent.
- $Fr > 1, Re < 500$  : transmission torrentielle-laminaire.
- $Fr > 1, Re > 2000$  : flux de torrents-turbulences.

• **Voici les deux exemples suivants concernant la modification du régime.**

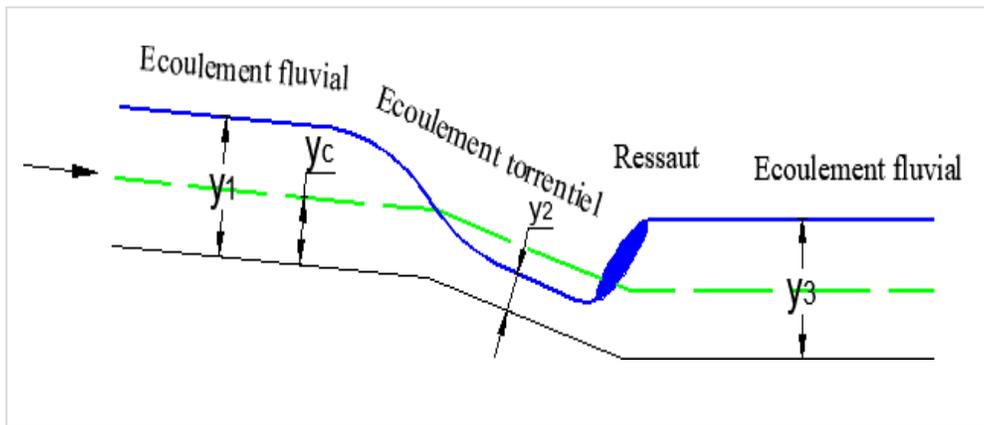
1) Transition d'un mode fluvial à un mode torrentiel

L'amont de la ligne d'eau est fluviale et le flux d'eau tend vers l'amont vers le flux d'eau normal. Le tirant d'eau dans la partie torrentielle se dirige vers le tirant d'eau normal vers l'aval.



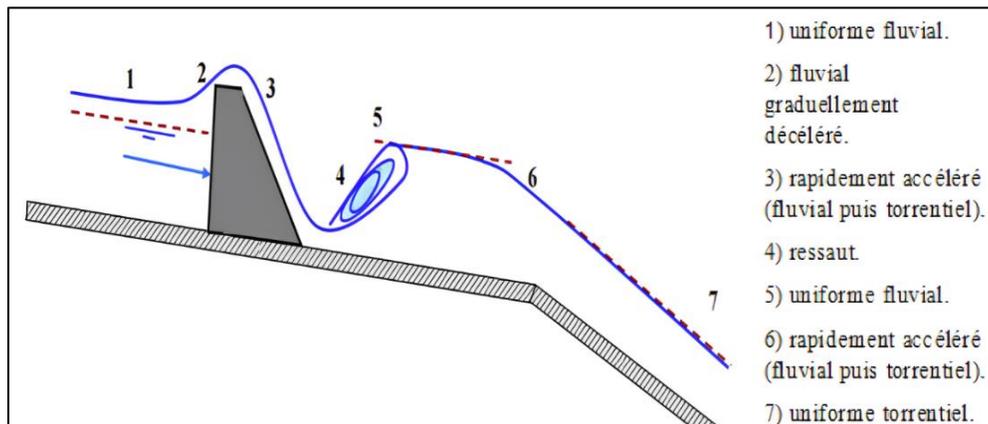
**Figure IV. 8 :** Transformation d'un mode fluvial en mode torrentiel.

2) Transition d'un mode torrentiel à un mode fluvial



**Figure IV. 9 :** Transition d'un mode torrentiel à un mode fluvial

• les différents types d'écoulement :



**Figure IV.10:** Schéma présentant les différents types d'écoulement

## IV.4 Cours d'eau :

Le cours d'eau est tout cours d'eau dans lequel s'écoule un flux d'eau continu ou temporaire, un terme général pour désigner un oued, un fleuve, une rivière, un ruisseau, un torrent e (Verniers, 1990).

Ou bien c'est un Étangs d'eau Dans les cours d'eau, la surface de l'eau est libre, souvent à ciel ouvert, et est conditionnée par différents éléments tels que la pente, la forme du canal et la rugosité du profil hydraulique. Les cours d'eau sont classés en deux catégories selon le type d'aménagement.

### IV.4 Type des canaux :

#### IV.4.1. Les canaux naturels :

Les canaux naturels sont les rivières, les torrents, les rivières, les fleuves et les estuaires qui se forment naturellement sur (ou sous) terre. Ils présentent souvent des caractéristiques géométriques et hydrauliques plutôt irrégulières.

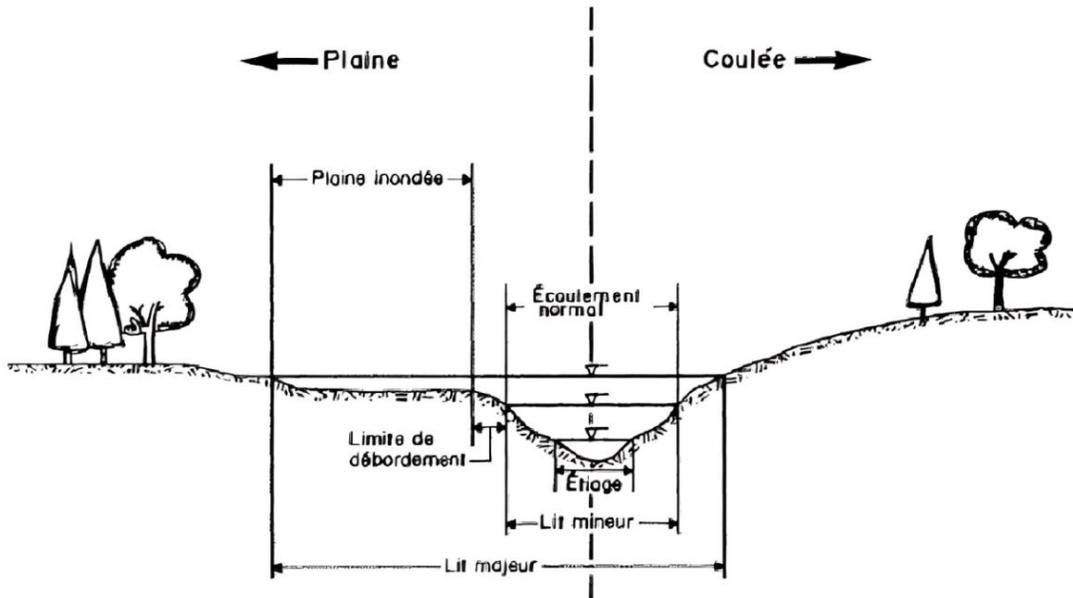
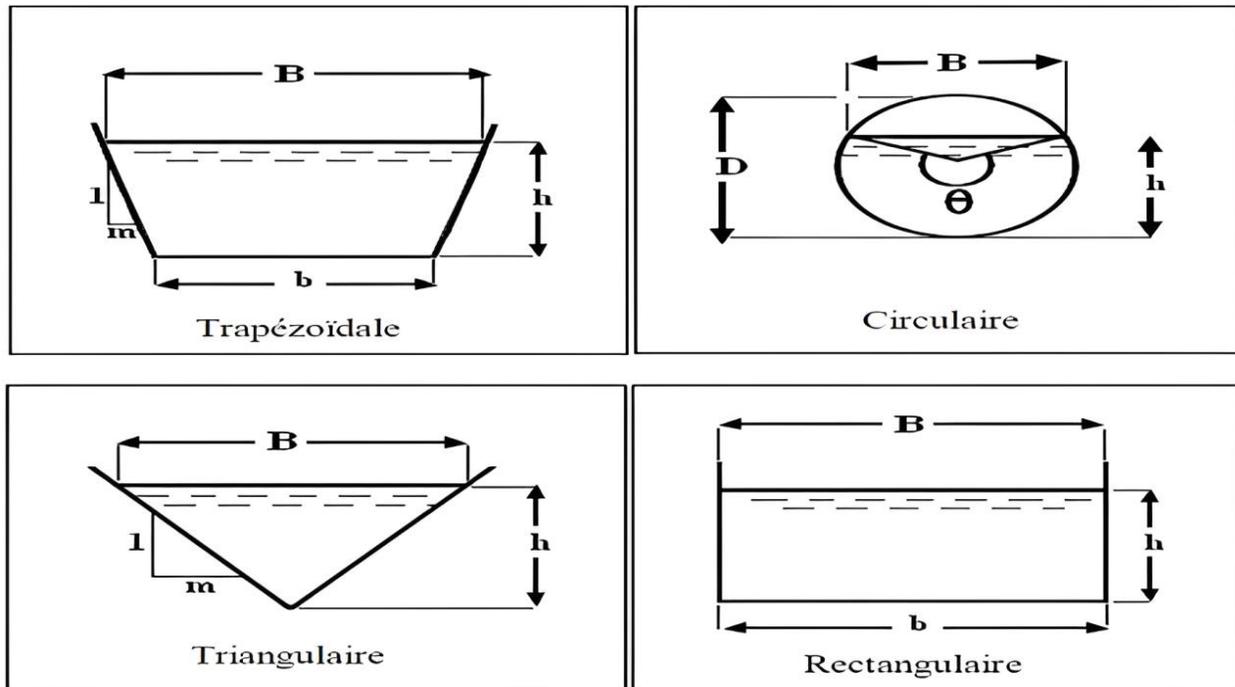


Figure IV.11 : Le cours d'eau et son milieu environnant (Source : Dr Habibi Brahim - 2013).

#### IV.4.2. Les canaux artificiels d'eau :

Les cours d'eau artificiels sont des rivières construites par l'homme dans le but précis de transporter de l'eau vers un point d'écoulement. Il existe différents types d'aménagements en fonction de la forme géométrique de la section transversale : trapézoïdale, rectangulaire...



**Figure IV.12** : Canaux artificiels (D'après TOUMI Abdelouaheb - 2016).

- En fonction du matériau utilisé, il y a différents types d'aménagement :

1) L'**aménagement en enrochement** se réfère à l'utilisation de matériaux minéraux tels que des roches, des pierres ou des blocs de béton pour renforcer ou stabiliser des structures naturelles ou artificielles. Ces aménagements en matériaux minéraux sont choisis non seulement pour leur résistance et leur durabilité, mais aussi pour leur esthétique naturelle qui peut s'harmoniser avec l'environnement environnant.



**Figure IV. 13** : Enrochement de canalisation (Source : Google).

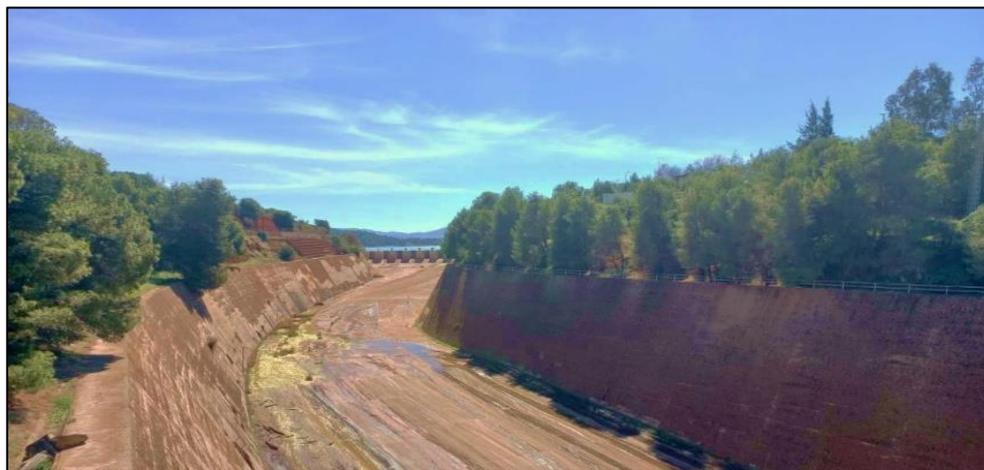
**2) Les gabions** : sont des structures rectangulaires constituées de treillis métalliques ou de grillage, généralement en forme de boîtes ou de cages. Ces cages sont remplies de pierres ou de blocs de béton pour former des unités solides. Les gabions sont utilisés dans divers aménagements similaires à l'enrochement pour des raisons de stabilité, de protection contre l'érosion et d'amélioration de l'esthétique , Les gabions offrent une solution flexible et durable pour de nombreux projets d'aménagement, grâce à leur capacité à s'adapter aux terrains variés tout en permettant une bonne circulation de l'eau à travers les pierres ou les blocs qu'ils contiennent.



**Figure IV. 14** : canal en Gabion (Source : Google).

### **3) Aménagements en béton ou en métal :**

Effectivement, l'aménagement en béton des cours d'eau joue un rôle crucial dans la gestion intégrée des ressources en eau, offrant des solutions robustes et durables pour protéger les zones riveraines tout en répondant aux besoins de développement urbain et rural. Protection contre l'érosion et Stabilisation des Rives :



**Figure IV.15:** Canal en Béton (photo prise au barrage de Ghrib).

#### **4) Palplanches :**

Les palplanches sont des panneaux métalliques généralement enfoncés verticalement dans le sol le long des berges des cours d'eau ou d'autres zones sujettes à l'érosion offrant une protection robuste et durable tout en maintenant l'intégrité des écosystèmes aquatiques et riverains.

#### **5) Aménagements en végétalisation :**

L'aménagement d'un cours d'eau en végétalisation, également connu sous le nom de génie biologique ou bio-ingénierie, est une approche qui utilise des plantes et des techniques végétales pour stabiliser les berges et améliorer l'environnement aquatique. Les techniques de végétalisation peuvent varier en fonction des conditions locales, des objectifs environnementaux et des spécificités du site. Elles sont souvent utilisées en combinaison avec d'autres méthodes d'aménagement pour atteindre des résultats écologiques et durables tout en respectant l'environnement naturel du cours d'eau.



**Figure IV. 16:** Canal en blocs végétalisable (oued El Harrach).

#### **6) Aménagements en matériaux synthétiques :**

Les géotextiles et les géogrilles sont deux types de matériaux synthétiques utilisés dans des applications géotechniques pour stabiliser les sols et renforcer les structures. Voici quelques différences et caractéristiques clés de chacun :

### **Géotextiles :**

- Description: Les géotextiles sont des tissus synthétiques perméables, généralement fabriqués à partir de polypropylène ou de polyester.
- Utilisations: Ils sont principalement utilisés pour filtrer, drainer, renforcer et séparer les matériaux géologiques dans diverses applications de construction et d'ingénierie civile.
- Fonctions typiques : Stabilisation des sols, contrôle de l'érosion, renforcement des fondations, drainage des sols, etc.

### **Géogrilles :**

- Description: Les géogrilles sont des structures synthétiques en forme de grille tridimensionnelle, souvent fabriquées à partir de polyester, de polyéthylène haute densité (HDPE) ou d'autres polymères
- Utilisations: Elles sont principalement utilisées pour renforcer les sols et stabiliser les talus le long des berges et dans d'autres applications nécessitant une forte résistance à la traction.
- Fonctions typiques: Renforcement des talus et des berges, stabilisation des sols dans les remblais et les terrains difficiles, soutien de chaussées et de pistes, etc.

### **Principales différences :**

- Structure : Les géotextiles sont des tissus plats et perméables, tandis que les géogrilles sont des structures en forme de grille tridimensionnelle.
- Applications: Les géotextiles sont souvent utilisés pour des fonctions de filtration, drainage et renforcement général, tandis que les géogrilles sont spécifiquement conçues pour fournir une résistance à la traction élevée et un renforcement mécanique des sols.
- Flexibilité: Les géotextiles sont flexibles et peuvent s'adapter à différentes surfaces et conditions du sol, tandis que les géogrilles sont rigides et offrent une résistance mécanique élevée.

En résumé, bien que les géotextiles et les géogrilles soient tous deux des matériaux synthétiques utilisés pour des applications géotechniques, leurs structures et fonctions spécifiques les rendent adaptés à des utilisations différentes dans les projets de génie civil et de construction.



**Figure IV. 17 :** Canal en géomembrane.

**7) L'aménagement d'un cours d'eau combinant plusieurs matériaux :** est une approche intégrative du génie civil visant à renforcer la stabilité des berges, gérer les eaux pluviales et protéger l'environnement. Cette méthode combine des matériaux comme des roches, des géotextiles, du béton et des végétaux pour optimiser la résilience et réduire l'entretien à long terme. Elle permet de créer des solutions adaptées aux conditions locales tout en préservant les écosystèmes riverains et en minimisant les impacts environnementaux.



**Figure IV .18 :** canal mixte en enrochement et béton (m'sila)

- **Les différents types de cours d'eau :**

En fonction de ces caractéristiques mais également de la longueur, de la localisation géographique ou d'autres paramètres, différents types de cours d'eau peuvent être distingués tels que :

- 1) **Le ru :** petit cours d'eau, souvent en tête de bassin, démarrage de l'écoulement
- 2) **Les ruisseaux :** petits cours d'eau de faible largeur et de faible longueur,

**3) Le canal** : conduit naturel ou artificiel permettant le passage d'un fluide

**4) Les torrents** : cours d'eau situés généralement en montagne ou sur des terrains accidentés, au débit rapide et irrégulier

**5) Les rivières** : cours d'eau moyennement importants dont l'écoulement est continu ou intermittent, elles se jettent dans d'autres rivières ou dans des fleuves

**6) Les fleuves** : cours d'eau parfois importants se jetant dans l'océan ce qui les différencie des rivières.



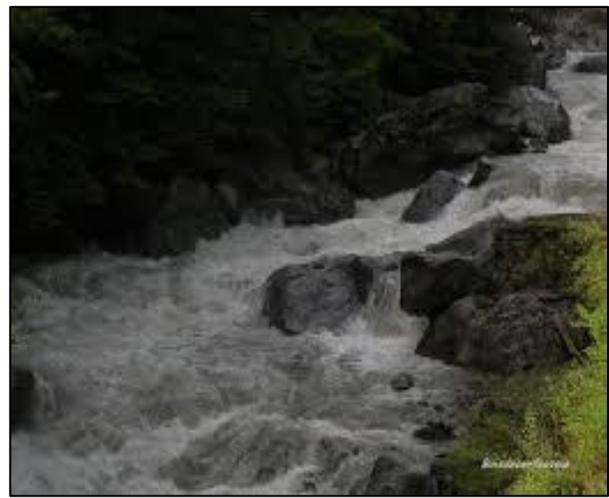
**Le ru du Buzot**



**Un ruisseau**



**Un canal**



**Un torrent**



**Une rivière**

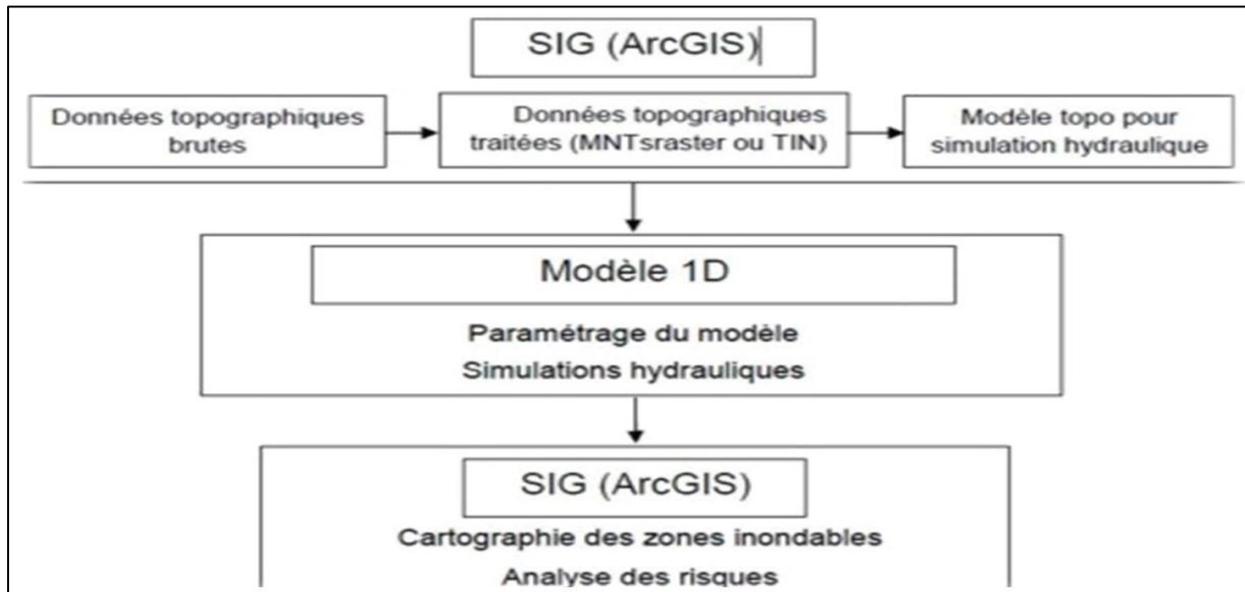


**Une fleuve**

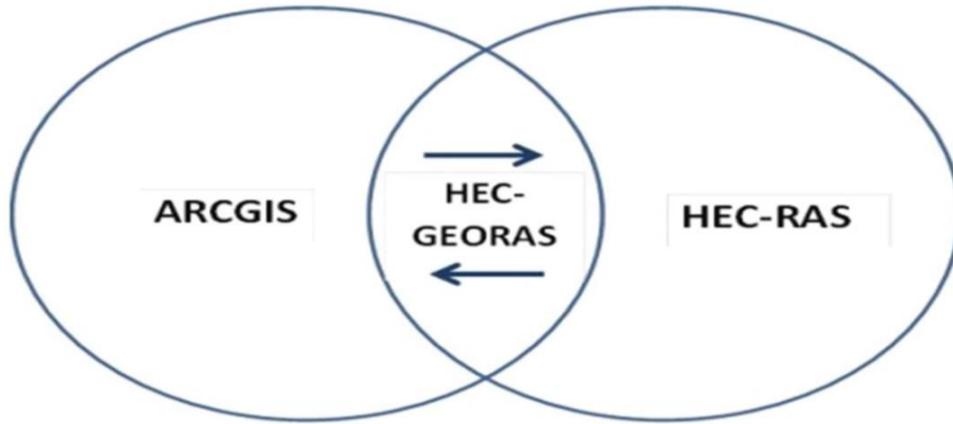
**Figure IV.19 :** Les différents types de cours d'eau En fonction de la longueur et la localisation géographique

### **IV.5.1 Diagnostic et modélisation du cours d'eau non aménagé :**

#### **IV.5.1.1 Modélisation de l'écoulement :**



**Figure IV. 20:** Schéma de l'organisation du travail



**Figure IV. 21** : Schéma représentant le dispositif informatique utilisé.

### **IV.5.2. Modélisation hydrodynamique :**

La modélisation hydraulique vise à reproduire l'écoulement des cours d'eau, une étape cruciale dans l'évaluation des risques d'inondation. Son objectif principal est d'estimer l'impact des incertitudes sur les débits, les niveaux d'eau et les zones inondées. Pour un événement hydrologique donné, le modèle numérique calcule le niveau, le débit et la vitesse de l'écoulement en chaque point prédéfini. Il existe deux types de modèles hydrodynamiques :

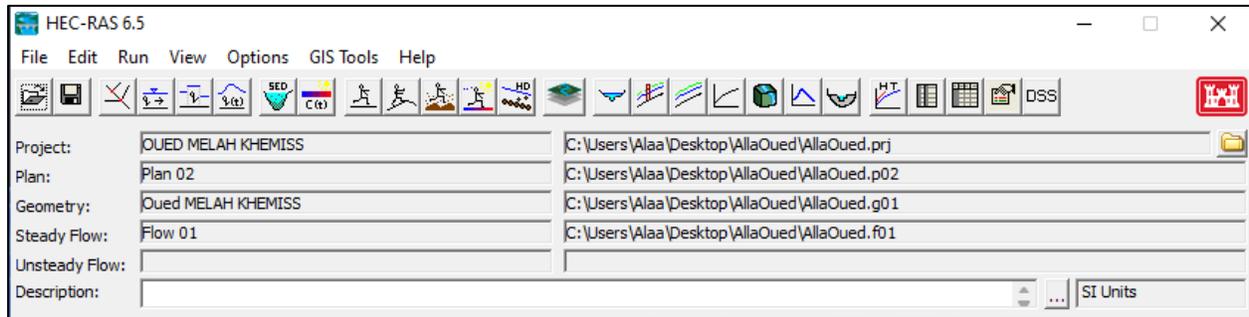
- Les modèles 1D qui décrivent l'écoulement dans une section de vallée. En traitant plusieurs de ces sections unitaires, on peut décrire le fonctionnement global de la rivière.
- Les modèles 2D qui décrivent l'écoulement dans toute la plaine alluviale en utilisant un maillage qui reproduit le relief. Ces modèles peuvent également prendre en compte une composante temporelle en intégrant un débit variable dans le temps.

### **Modèle HEC-RAS :**

Le logiciel HEC-RAS, développé par l'US Army Corps of Engineers, est un outil de modélisation unidimensionnelle qui permet de simuler les écoulements à surface libre dans les canaux naturels et artificiels, en prenant en compte les obstacles présents le long du cours d'eau. Il est également capable de modéliser le transport solide et la pollution. Grâce à HEC-RAS, il est possible de définir la géométrie des profils en travers des rivières et des ouvrages, ainsi que les profils en long qui décrivent la forme et l'allure de la rivière.

La démarche de simulation dans HEC-RAS implique plusieurs étapes et fichiers pour réaliser une analyse hydraulique d'un cours d'eau.

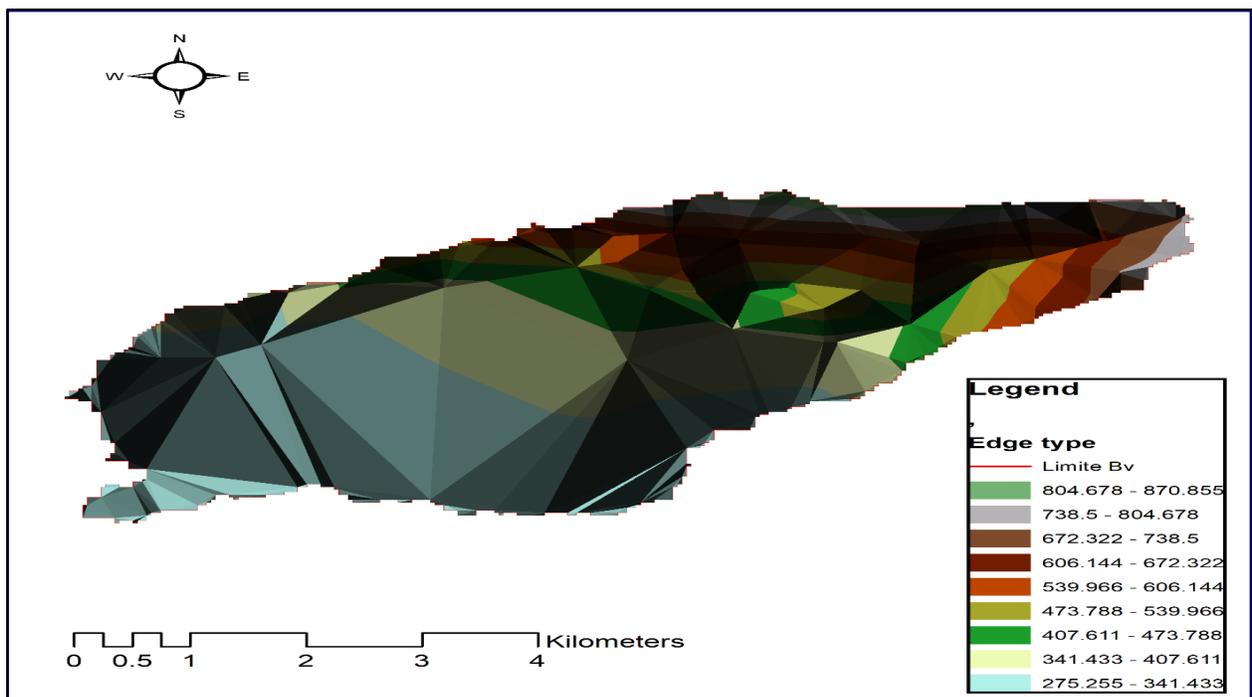
**La première étape** : consiste à créer un nouveau projet HEC-RAS. Sur l'interface du logiciel, il faut spécifier le titre du projet, le système d'unité et l'emplacement souhaité pour le fichier de projet.



**Figure IV. 22:** montre l'interface utilisateur de la version 6.5 du logiciel HEC-RAS.

**La deuxième étape** : consiste à établir le modèle géométrique des oueds étudiés. Dans le cadre de cette étude, la géométrie des oueds a été établie directement sur RAS-MAPPER en suivant les étapes suivantes :

- Création du TIN : Terrain Irrégulier Network (Triangulaire)



**Figure IV. 23 :** illustre le TIN établi pour oued Melah.

Le relief peut être modélisé à l'aide d'un échantillonnage semi-dirigé irrégulier qui prend en compte les caractéristiques structurelles du terrain. Cette modélisation se présente sous la forme d'un réseau triangulaire irrégulier, connu sous le nom de TIN (Triangula IrregularNetwork). Nous utilisons le logiciel ArcGIS pour générer un TIN afin de visualiser l'écoulement sur RAS MAPPER et de créer des cartes de profondeur, de vitesse, etc.

- Accès à RAS-Mapper et importation du modèle de terrain ( RAS-MAPPER , project , Insertion fichier de projection, Insertion des données du terrain)

- Création d'une nouvelle géométrie sur RAS-Mapper et affichage de la barre d'édition.
- Dessin de l'axe de l'oued et de ses rives (Bank lines et flow path lines).
- Définition des sections transversales.
- Enregistrement de la géométrie.

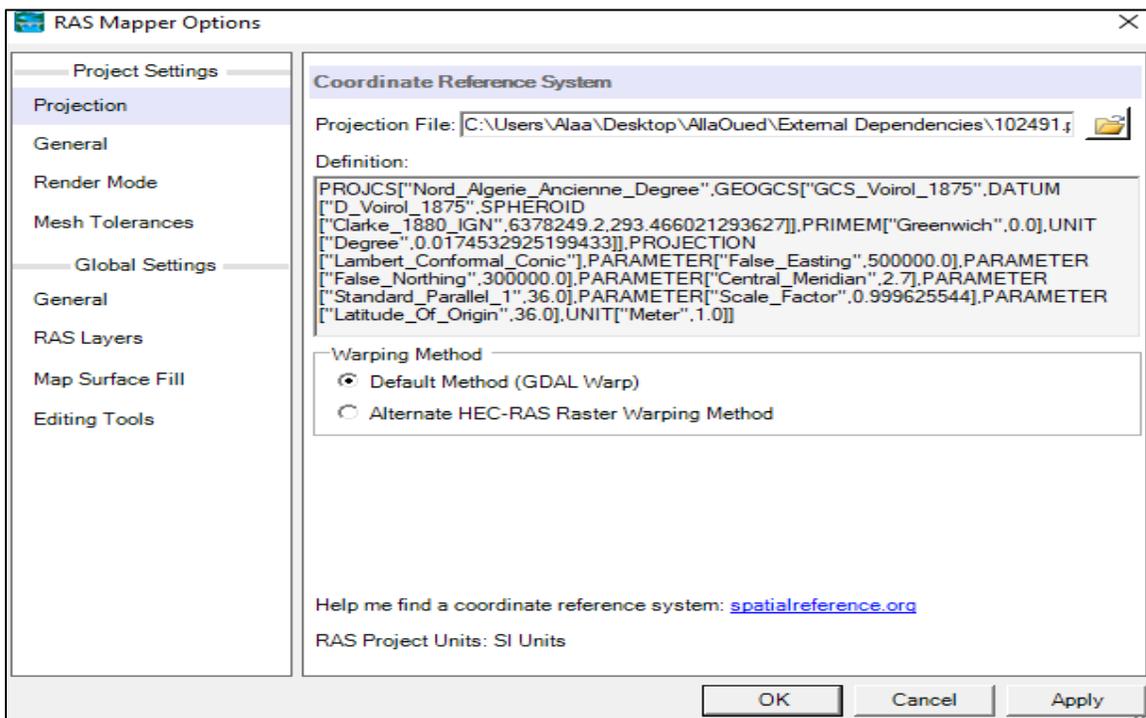
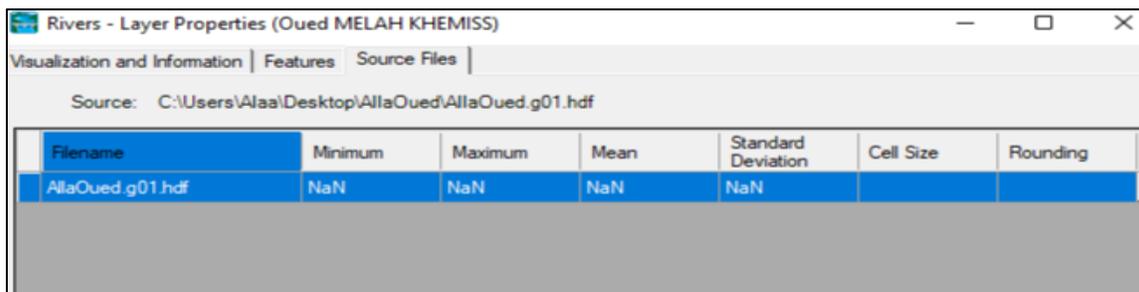
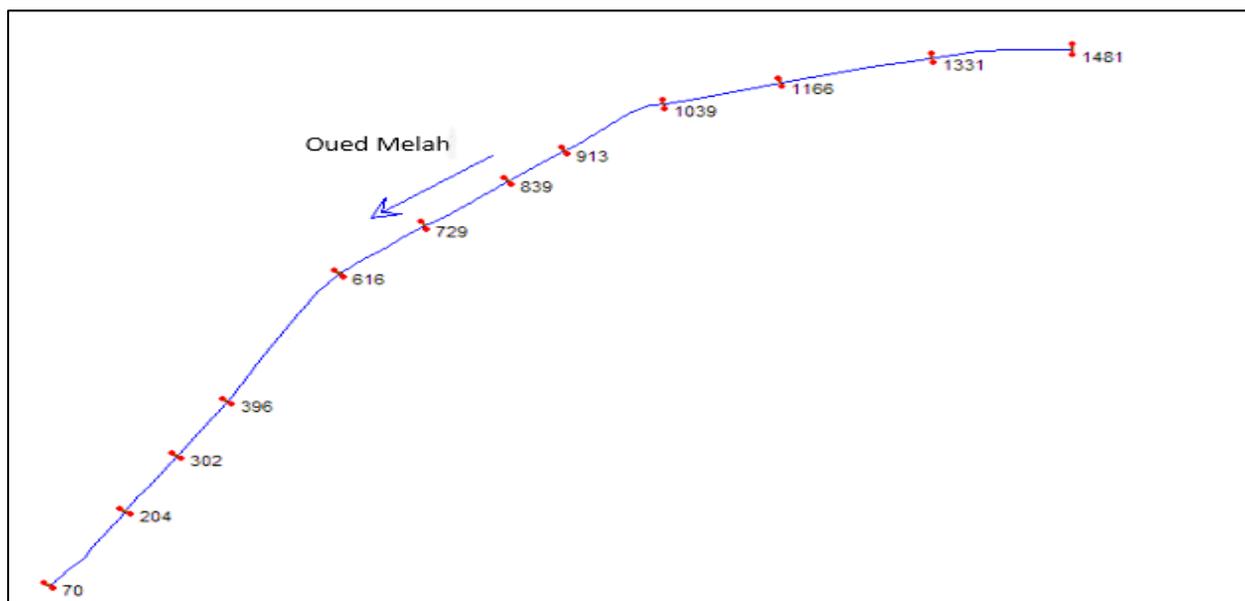


Figure IV. 24: Insertion fichier de projection.



**Figure IV. 25 :** Insertion des données du terrain.

Voici les sections transversales extraites du RAS MAPPER, illustrées dans la figure ci-dessous :



**Figure IV.26 :** Définition du tracé de l’oued Melah et des sections en travers de l’oued.

**La troisième étape :** consiste à importer le modèle géométrique. Il s'agit d'ouvrir le fichier contenant les informations sur la géométrie créée sur RAS-Mapper, y compris les données relatives aux sections transversales. Il est également nécessaire de spécifier les coefficients de Manning pour chaque section. Il est à noter que, dans notre cas d'étude, les coefficients de Manning varient 0.022

Reach: Reach 1 All Regions bright green background

Selected Area Edit Options

Add Constant ... Multiply Factor ... Set Values ... Replace ... Reduce to L Ch R .

	River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3
1	1481	n	0.022		
2	1331	n	0.022		
3	1166	n	0.022		
4	1039	n	0.022		
5	913	n	0.022		
6	839	n	0.022		
7	729	n	0.022		
8	616	n	0.022		
9	396	n	0.022		
10	302	n	0.022		
11	204	n	0.022		
12	70	n	0.022		

**Figure IV.27:** Introduction des coefficients de rugosité de Manning pour le terrain naturel.

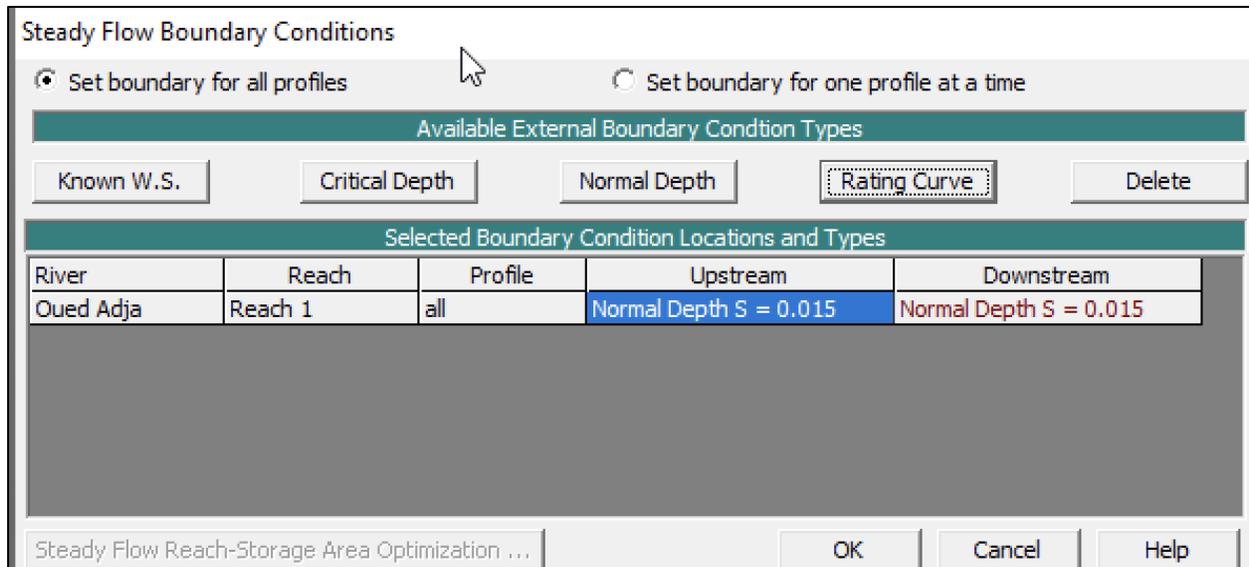
**Remarque :** dans notre cas d'étude, les coefficients de Manning sont 0.022

**La quatrième étape :** consiste à créer le fichier de débit pour un écoulement constant. Il s'agit d'introduire les débits correspondant à des périodes de retour centennales sous forme d'un fichier qui sera utilisé ultérieurement dans la simulation de l'écoulement. Il est essentiel de spécifier dans ce fichier les conditions aux limites propres à chaque profil.

Reach: Reach 1 River Sta.: 1481

Flow Change Location				
	River	Reach	RS	PF 1
1	oued Melah	Reach 1	1481	108
2	oued Melah	Reach 1	1331	108
3	oued Melah	Reach 1	1166	108
4	oued Melah	Reach 1	1039	108
5	oued Melah	Reach 1	913	108
6	oued Melah	Reach 1	839	108
7	oued Melah	Reach 1	729	108
8	oued Melah	Reach 1	616	108
9	oued Melah	Reach 1	396	108
10	oued Melah	Reach 1	302	108
11	oued Melah	Reach 1	204	108
12	oued Melah	Reach 1	70	108

**Figure IV.28:** Introduction du débit de la période centennale pour le bassin versant



**Figure IV.29 :** Définition des conditions aux limites

- **La cinquième étape :** consiste à créer le fichier plan contenant les références aux fichiers géométrie et débit associés

**La sixième étape :** consiste à lancer la Simulation : Une fois les données géométriques et hydrométriques entrées, ainsi que les conditions aux limites définies, il est essentiel de choisir le régime fluvial approprié parmi les options disponibles : fluvial, torrentiel ou mixte.

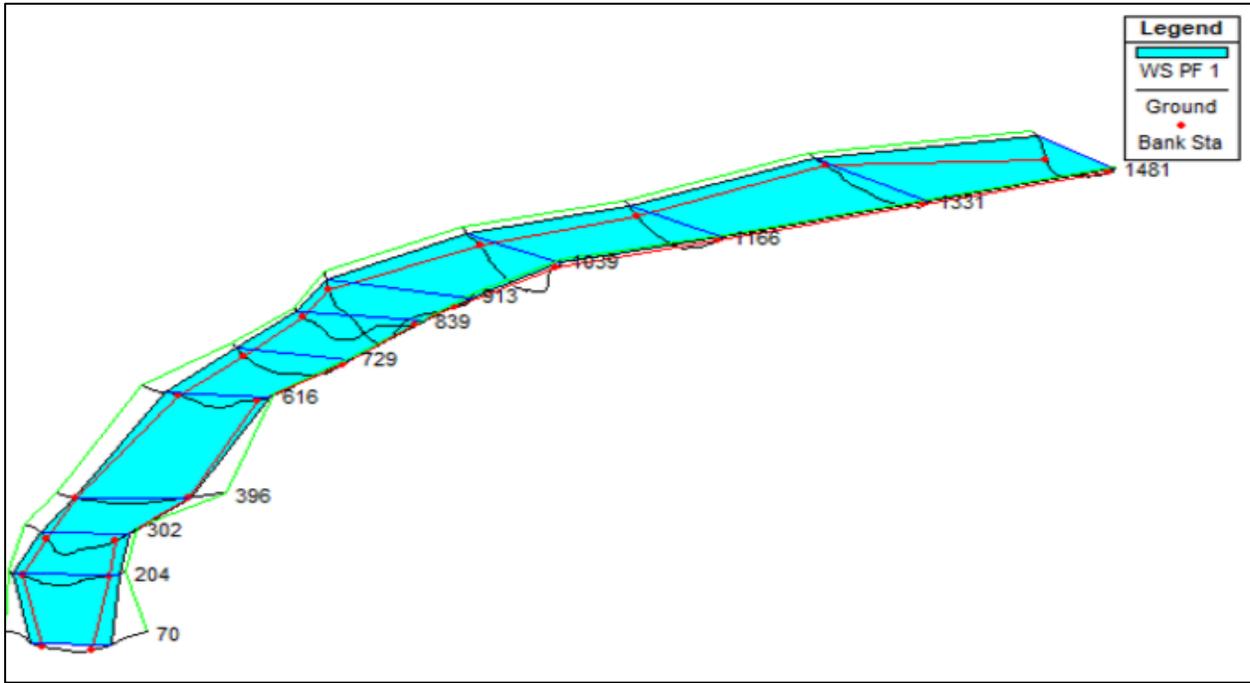
Pour commencer les calculs. Dans notre cas, nous optons pour un régime mixte avant de démarrer la simulation. En ce qui concerne le débit centennal calculé dans la partie hydrologique, il est de 108m<sup>3</sup>/s.

### **IV.5.3. Visualisation des résultats :**

Une fois que le calcul a été effectué avec HEC-RAS, il est possible d'obtenir une variété de résultats. Les profils des zones inondables peuvent être générés en fonction du débit étudié, des vitesses d'écoulement, ainsi que des lignes d'eau et d'énergie. La variation de la vitesse d'écoulement sur le lit mineur et les deux rives peut être observée en fonction de chaque profil en travers. Un des résultats pertinents à examiner est la perspective du tronçon simulé, que l'on peut trouver dans la barre de boutons sous la fonction "Voir Profils".

- **Visualisation en 3D des tronçons modélisés :**

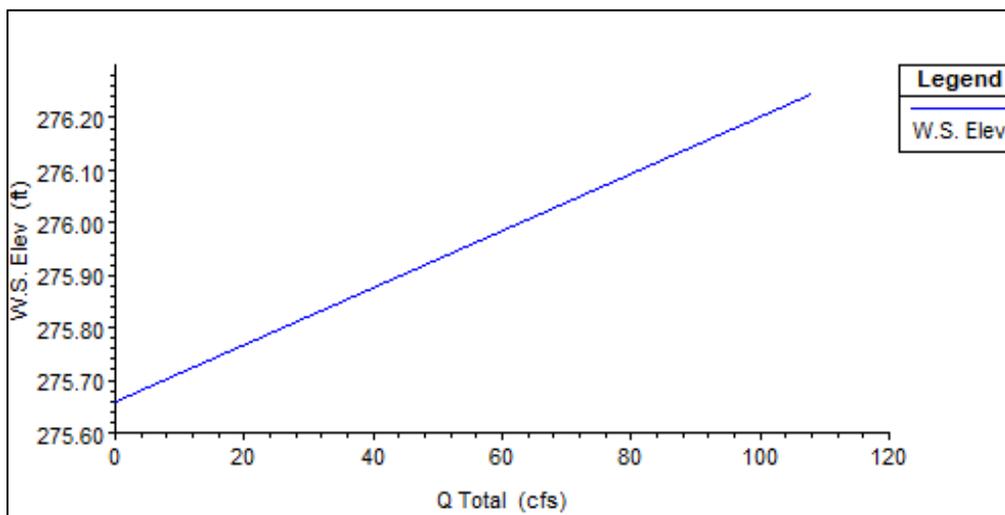
Grâce à HEC-RAS, il est possible d'observer en trois dimensions le comportement des eaux de crue pour différentes périodes de retour, facilitant ainsi la surveillance.



**Figure IV.30 :** Représentation tridimensionnelle de l'oued Melah.

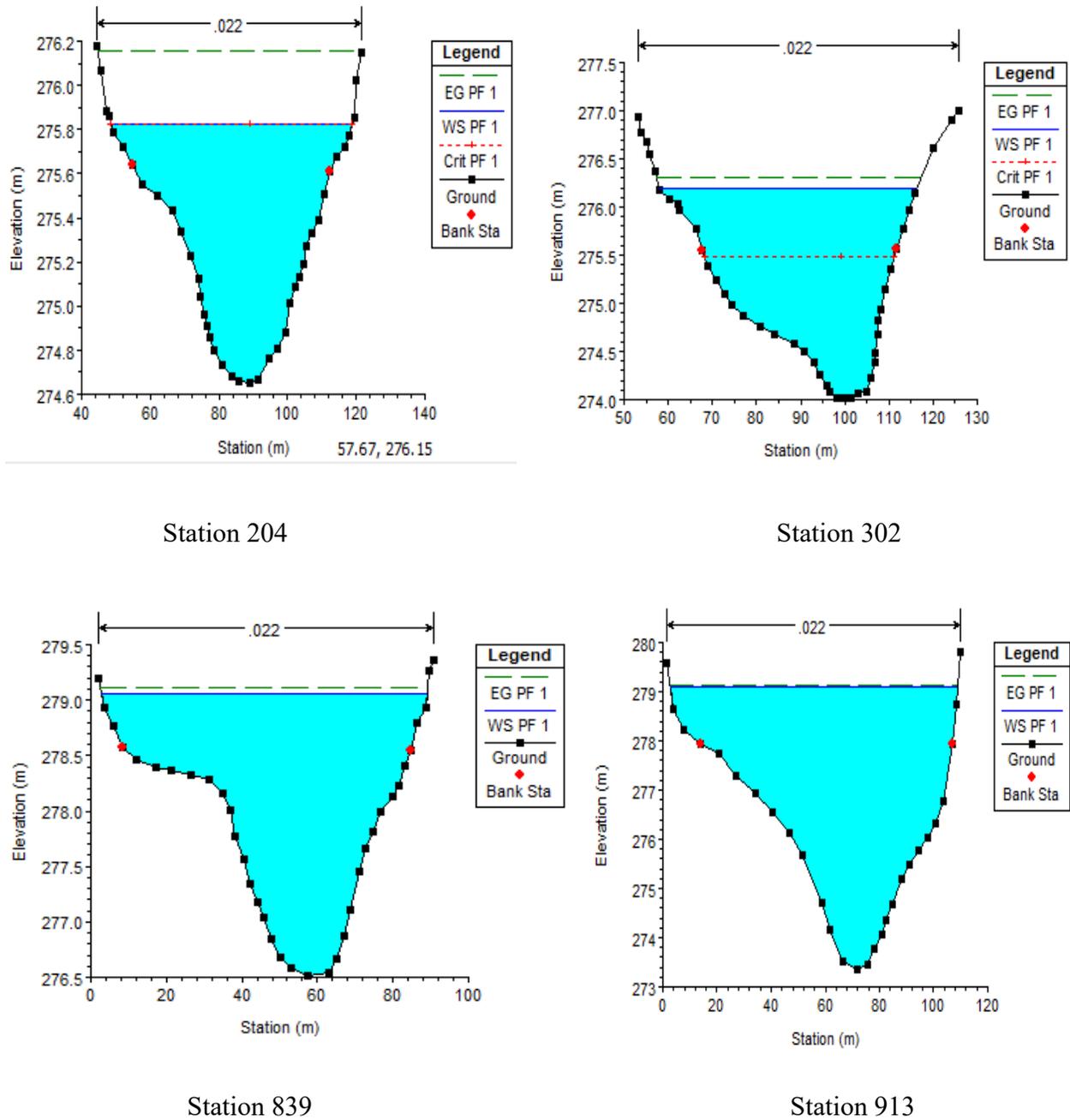
- **Courbe de tarage restituée :**

HEC-RAS nous a permis d'obtenir une représentation graphique illustrant la variation de la hauteur d'eau en fonction du débit en m<sup>3</sup>/s.

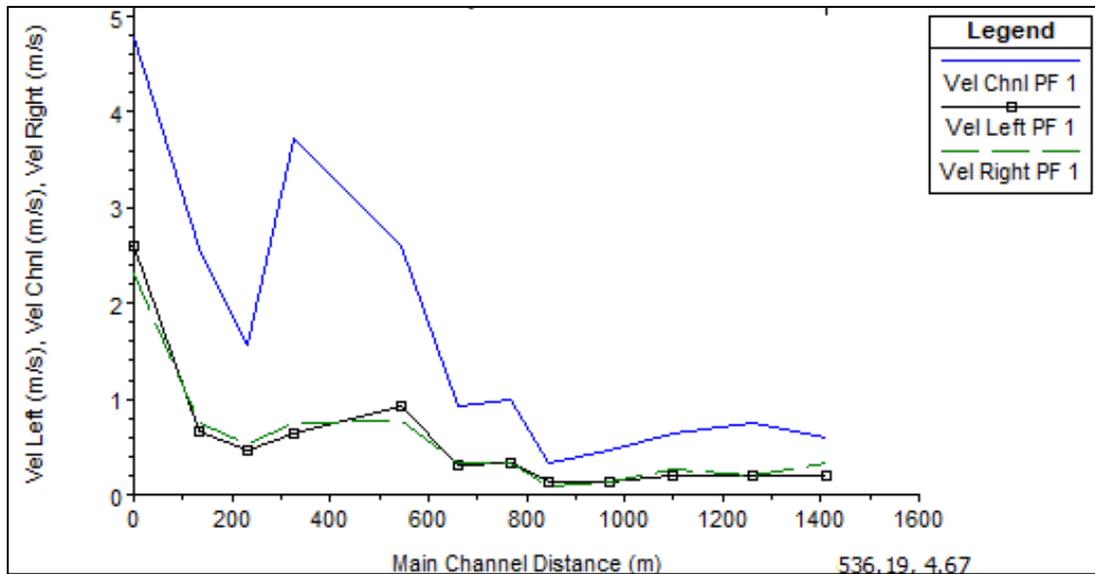


**Figure IV.31:** La courbe de tarage.

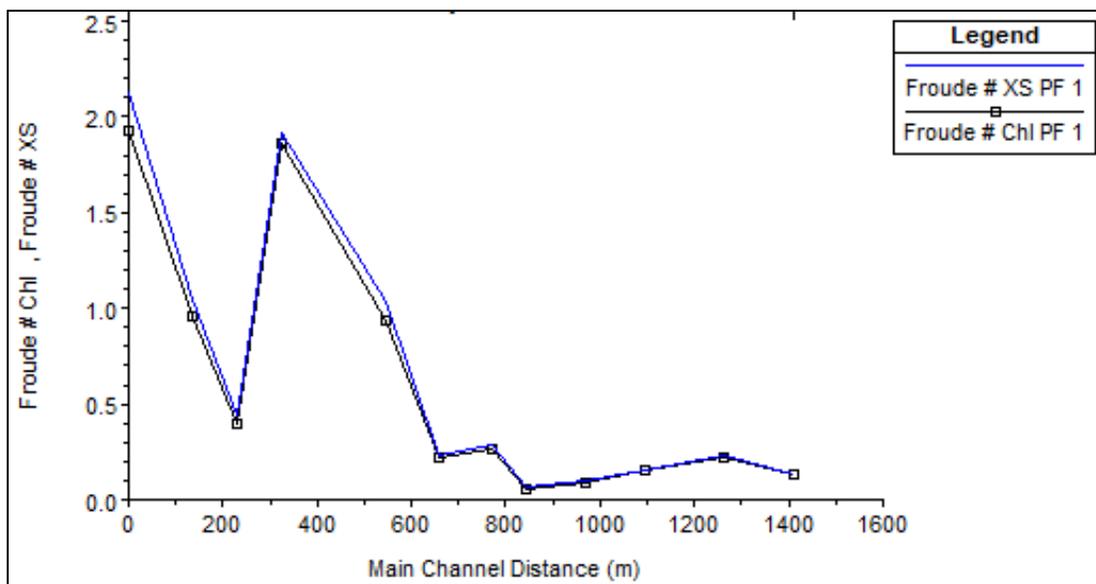
**Profils en travers :** En affichant les résultats par profil transversal, nous avons pu obtenir des détails précis à chaque point le long du cours d'eau, révélant que la plupart des sections sont susceptibles d'être submergées.



**Figure IV.32:** Les profils en travers des quatre sections sélectionnées pour oued Melah.



**Figure IV.33:**La variation de la vitesse d'écoulement le long du cours d'eau pour oued Melah



**Figure IV.34:** Evolution du nombre de Froude en fonction de la distance d'oued Melah

- Le logiciel permet également de créer des tableaux récapitulatifs regroupant tous les paramètres hydrauliques pour différentes structures, comme un barrage ou d'autres ouvrages, ainsi que pour une surface de stockage déterminée. Ces tableaux peuvent être générés pour chaque station (profil en travers) de manière individuelle ou pour l'ensemble des stations en même temps.

**Tableau IV.2 : Éléments hydrauliques principaux pour toutes les stations (Source :  
Logiciel HEC-RAS).**

<b>River Station</b>	<b>Q Total</b>	<b>Min Ch El</b>	<b>W.S. Elev</b>	<b>Crit W.S.</b>	<b>E.G. Elev</b>	<b>E.G. Slope</b>	<b>Vel Chnl</b>	<b>Flow Area</b>	<b>Top Width</b>	<b>Froude Chl</b>
<b>m</b>	<b>(m3/s)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m/m)</b>	<b>(m/s)</b>	<b>(m2)</b>	<b>(m)</b>	
1481	108	276.05	279.15	277.34	279.17	0.000063	0.60	187.63	100.67	0.13
1331	108	277.54	279.12	/	279.15	0.000220	0.76	144.44	136.53	0.22
1166	108	276.58	279.11	/	279.13	0.000087	0.65	170.93	101.47	0.15
1039	108	275.16	279.11	/	279.12	0.000026	0.47	236.70	97.17	0.09
913	108	273.36	279.11	/	279.12	0.000011	0.34	326.01	106.17	0.06
839	108	276.52	279.06	/	279.11	0.000308	1.00	109.86	86.20	0.27
729	108	276.95	279.04	/	279.08	0.000201	0.92	120.28	79.25	0.22
616	108	277.43	278.65	278.65	278.99	0.004494	2.59	43.41	69.72	0.93
396	108	275.69	276.36	276.57	277.06	0.022352	3.72	29.13	75.82	1.87
302	108	274.01	276.19	275.48	276.31	0.000655	1.56	72.09	58.27	0.40
204	108	274.65	275.82	275.82	276.15	0.004858	2.57	43.10	70.26	0.96
70	108	273.01	273.82	274.14	274.90	0.020552	4.79	24.82	51.91	1.93

#### **IV.5.4. Analyse des résultats :**

En examinant le niveau d'eau dans l'ensemble des sections transversales de l'oued, il est évident qu'il est inondé sur toute sa longueur, en fonction des paramètres suivants :

- La vitesse d'écoulement oscille entre 0,34 m/s et 4,79 m/s ;
- Le régime d'écoulement évolue le long de l'oued, comme le confirment les valeurs du nombre de Froude, qui se situent entre 0,06 et 1.93.

##### **IV.5.4.1 Cartographie des zones inondables :**

La cartographie des zones inondables constitue un outil fondamental dans les études de prévention des inondations pour plusieurs raisons :

- **Identification des zones à risque :**

Cette cartographie permet de repérer les zones susceptibles d'être inondées, en évaluant la fréquence et l'étendue des inondations potentielles, ce qui aide à localiser les régions les plus exposées.

- **Planification et développement urbain :**

Les cartes des zones inondables jouent un rôle crucial dans l'aménagement du territoire. Elles assistent les urbanistes et les décideurs dans la détermination des emplacements sûrs pour la construction, tout en indiquant où des restrictions ou des mesures spécifiques doivent être mises en place pour réduire les risques d'inondation.

- **Gestion des situations d'urgence et évacuations :**

Lors d'une menace d'inondation, la cartographie des zones à risque facilite la planification des itinéraires d'évacuation, des abris temporaires et des opérations de secours. Elle contribue à l'élaboration de plans d'urgence plus efficaces, minimisant ainsi les pertes humaines et matérielles.

- **Conception d'infrastructures de protection :**

Les informations recueillies par la cartographie permettent de concevoir des infrastructures de protection adaptées, telles que des digues, des bassins de rétention et des systèmes de drainage. Cela aide à atténuer l'impact des inondations sur les zones habitées et les infrastructures essentielles.

- **Sensibilisation et communication :**

Les cartes des zones inondables sont des outils éducatifs cruciaux pour informer le public, les autorités locales et les parties prenantes sur les risques d'inondation. Elles jouent un rôle fondamental dans la sensibilisation des communautés et favorisent des comportements ainsi que des développements durables.

- **Assurance et gestion des risques financiers :**

Les compagnies d'assurance utilisent ces cartes pour évaluer les risques et établir les primes d'assurance. Par ailleurs, elles aident les autorités locales à justifier et à planifier les investissements nécessaires pour renforcer les infrastructures de protection contre les inondations.

#### IV.5.4.2. Procédure :

Après avoir réalisé la simulation à l'aide du logiciel HEC-RAS, suivez les étapes ci-dessous :

- **Ouvrir RAS Mapper :**

- Démarrez HEC-RAS : Lancez le logiciel HEC-RAS et assurez-vous que votre projet est bien chargé.

- Accéder à RAS Mapper : Cliquez sur l'onglet RAS Mapper situé dans la barre d'outils principale de HEC-RAS pour ouvrir RAS Mapper.

- **Chargement des résultats :**

- Vérifier les résultats de la simulation : Avant d'importer des résultats dans RAS Mapper, assurez-vous que vos simulations HEC-RAS se sont déroulées avec succès et que les résultats sont disponibles.

- Ajouter des résultats : Dans RAS Mapper, dirigez-vous vers le panneau de gauche et effectuez un clic droit sur l'option Résultats.

- Sélectionnez "Add Results for Mapping" (Ajouter des résultats pour la cartographie).

- Choisissez la simulation que vous souhaitez utiliser, ce qui inclut généralement le fichier de résultats (\*.hdf).

#### IV.6. Création des cartes d'inondations :

- **Carte de profondeur d'inondation** : Faites un clic droit sur "Profondeur" sous la simulation dans le panneau de gauche. Choisissez l'option "Créer une nouvelle grille de profondeur". RAS Mapper produira une carte de profondeur d'inondation basée sur les résultats de la simulation.

- **Carte de vitesse de l'eau** : Cliquez avec le bouton droit sur "Vitesse" en dessous de la simulation dans le panneau de gauche. Sélectionnez "Créer une nouvelle grille de vitesse". RAS Mapper générera une carte des vitesses de l'eau.

- **Carte des limites d'inondation** : Faites un clic droit sur "Limite d'inondation" sous la simulation dans le panneau de gauche. Choisissez "Créer une nouvelle limite d'inondation". RAS Mapper créera une carte des limites d'inondation, illustrant l'étendue de l'inondation.

- **Personnalisation des cartes :**

- Modification des propriétés des couches : Cliquez avec le bouton droit sur une couche dans le panneau de gauche (comme Profondeur ou Vitesse) et sélectionnez Propriétés de la couche pour ajuster les paramètres d'affichage, tels que les couleurs, les échelles de profondeur et les intervalles de classe.

- Intégration d'éléments supplémentaires : Vous pouvez ajouter des étiquettes, des courbes de niveau et d'autres éléments cartographiques pour améliorer la clarté et la compréhension de la carte.

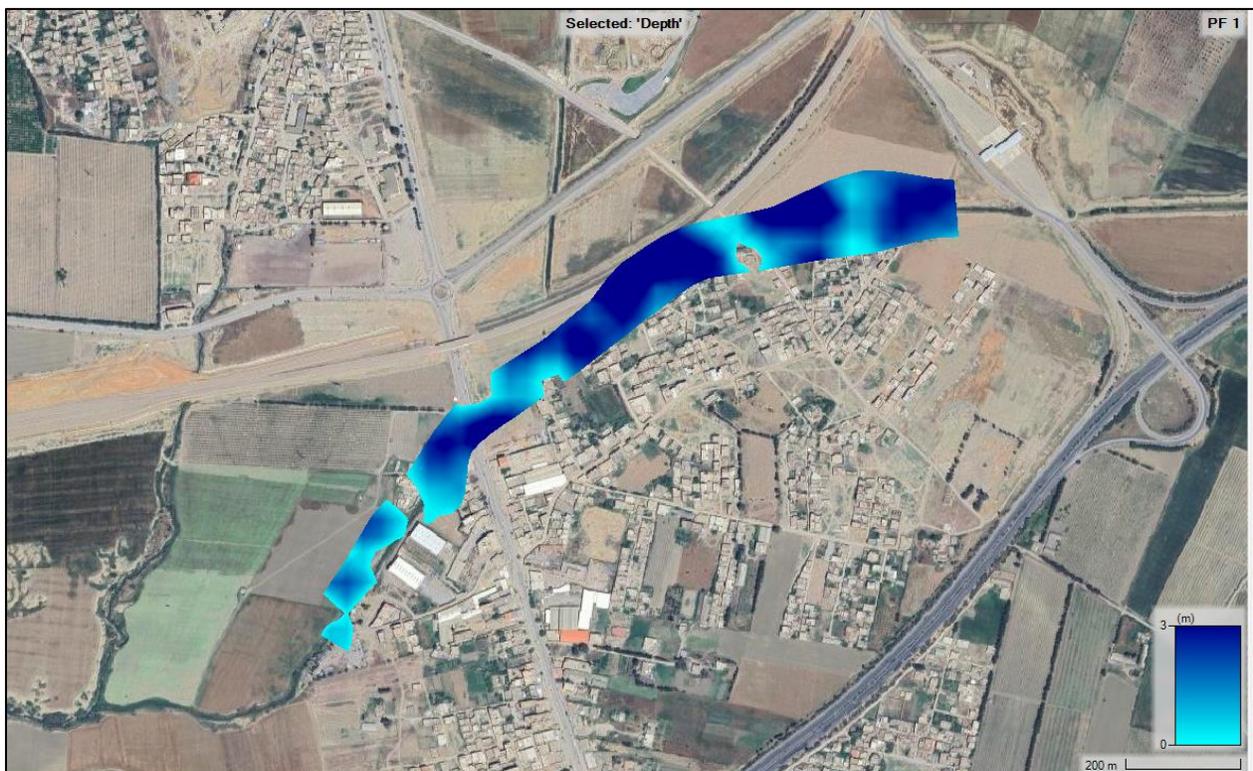
- **Exportation des cartes :**

Faites un clic droit sur la couche que vous souhaitez exporter (par exemple, Grille de profondeur) et choisissez Exporter la couche pour enregistrer la carte dans différents formats (GeoTIFF, shapefile, etc.).

#### IV.6.1 Carte de profondeur :

La submersion causée par une inondation se caractérise principalement par son étendue et sa profondeur, ce qui nécessite l'emploi de modèles hydrauliques ou de représentations numériques des topographies des lits mineurs et majeurs des cours d'eau (*Graguid, 2011*). Elle est généralement classée en trois catégories selon la profondeur :

- Submersion légère : profondeur inférieure à 0,5 mètre ;
- Submersion modérée : profondeur comprise entre 0,5 et 1 mètre ;
- Submersion importante : profondeur supérieure à 1 mètre (*Graguid, 2011*).



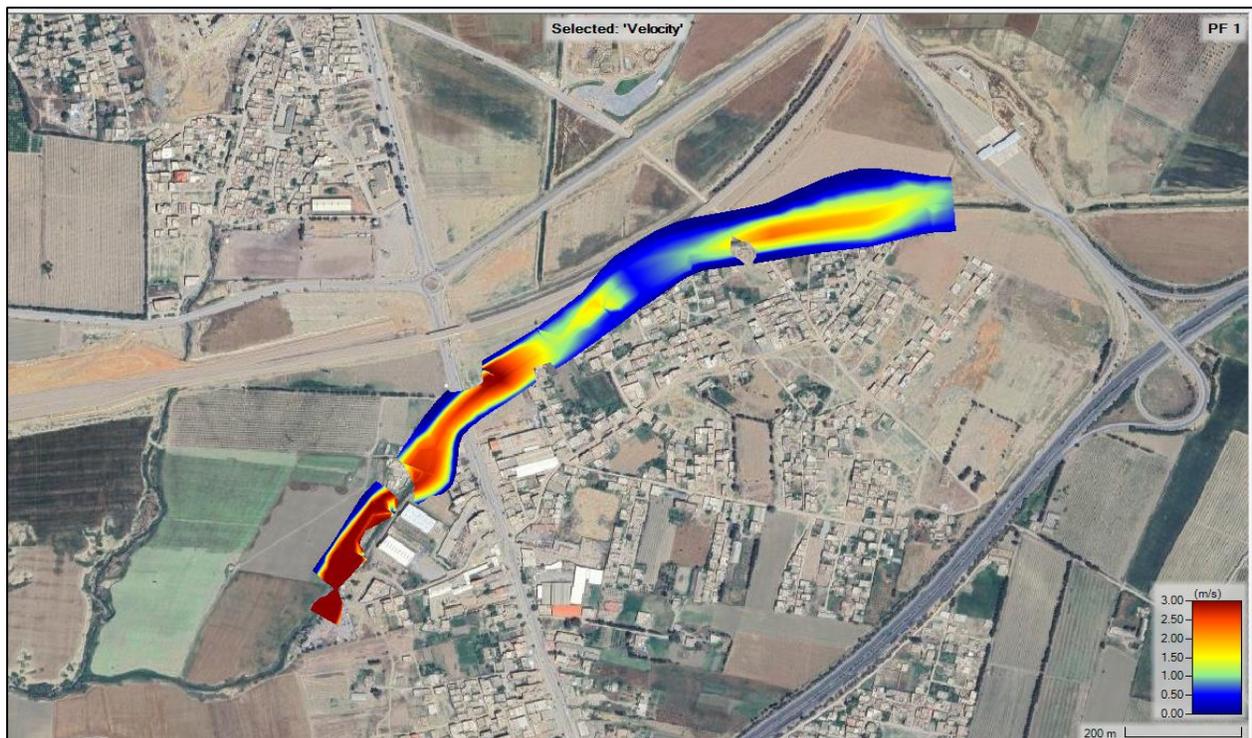
**Figure IV.35 :** Réseaux des profondeurs d'eau lors d'une crue centennale.

## Interprétation :

- D'après la carte de profondeur d'eau obtenue, la hauteur d'eau varie entre 0,5 et 3 m. Les zones à fort risque de submersion se situent dans le côté West de la ville d'Oued Melah. La concentration des zones à risque près une l'importance cruciale d'une planification urbaine résiliente et de stratégies d'adaptation pour atténuer les impacts potentiels de la submersion. Cette approche est indispensable pour formuler des politiques publiques visant à garantir la sécurité des communautés riveraines et à promouvoir un développement durable dans la région.
- Les profondeurs maximales sur la carte qui dépassent les 2 mètres d'hauteur indiquent le chenal principale pour le cours d'eau cependant, les zones moins profond représentent des plaines urbanisées qui sont inondables.

### IV.6.2 Carte de vitesse :

Les vitesses d'écoulement jouent un rôle crucial dans la compréhension de la dynamique des inondations, la détection des zones à risque élevé et l'évaluation des impacts potentiels sur les infrastructures et les écosystèmes. En analysant ces vitesses, nous pouvons mieux anticiper les zones vulnérables à une érosion importante, ainsi que les dangers qui menacent la population et les biens. Cette carte constitue un outil essentiel pour les gestionnaires de l'eau et les urbanistes dans la mise en place de stratégies de prévention et de réponse face aux inondations.



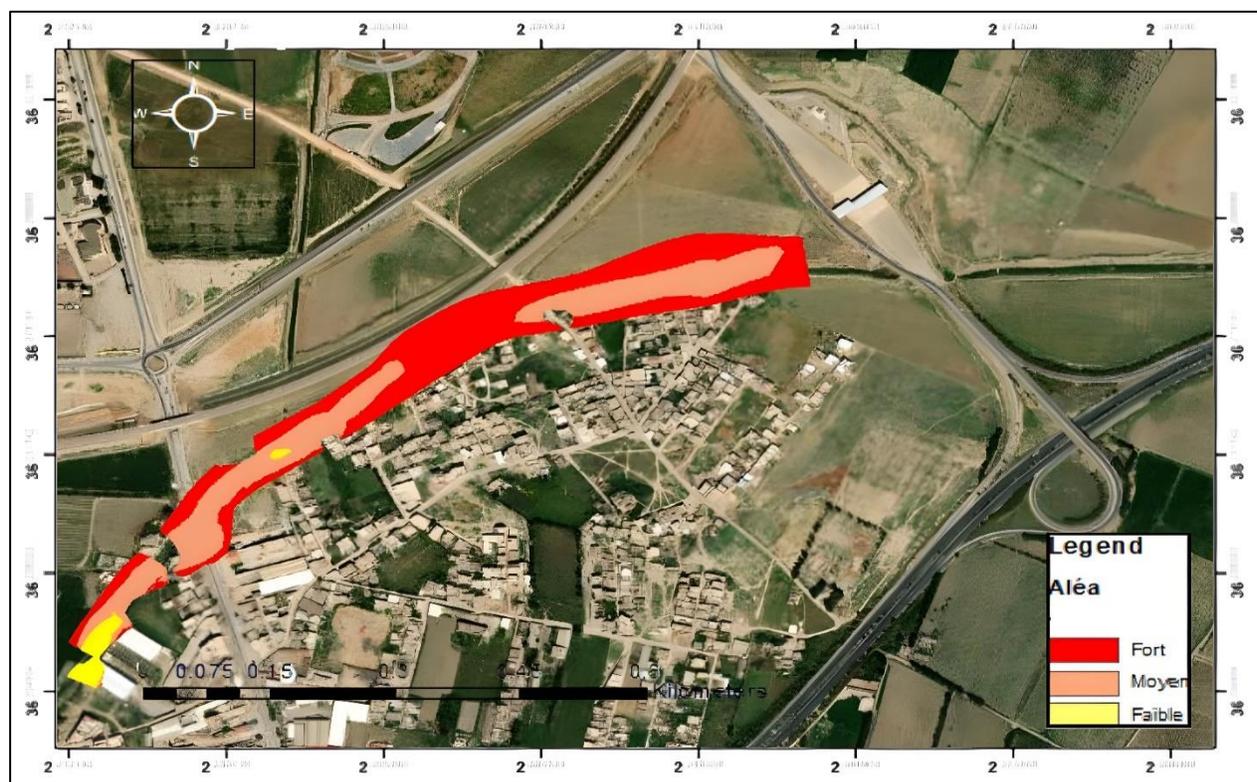
**Figure IV.36** : Carte des vitesses d'écoulement lors de la crue centennale.

Les vitesses d'écoulement peuvent être réparties en trois catégories :

**Tableau IV.3:** Catégories de vitesse

Classe de la Vitesse	Domaine de variation de la vitesse
Faible	Inférieure à 0.2 m/s
Moyenne	Entre m/s 0.2 et 0.5 m/s
Forte	Supérieure à 0.5 m/s

### IV.6.3. Catégories d'aléa :



**Figure IV.37 :** Carte de l'aléa pour la crue centennale.

L'analyse d'aléa peut être effectuée en considérant deux facteurs : la vitesse d'écoulement et la profondeur de l'eau. Quatre zones de danger distinctes peuvent être identifiées à l'aide de codes couleur spécifiques, selon les critères d'évaluation présentés dans le tableau ci-après :

**Tableau IV.4:** Critères pour évaluer l'intensité du risque (d'aléa) d'inondation (DDT, 2012).

	Faible $V < 0.2 \text{ m/s}$	Moyenne $0.2 \text{ m/s} < V < 0.5 \text{ m/s}$	Forte $V > 0.5 \text{ m/s}$
$H < 0.5 \text{ m}$	Faible	Moyen	Fort
$0.5 \text{ m} < H < 1 \text{ m}$	Moyen	Moyen	Fort
$1.0 \text{ m} < H < 2.0 \text{ m}$	Fort	Fort	Fort
$H > 2.0 \text{ m}$	Très fort	Très fort	Très fort

**Résultat :**

Les zones de risque élevé se trouvent principalement le long du cours d'eau, en particulier près de l'ouest d'oued Melah, comme le montre la carte de profondeur d'eau, ces zones à haut risque se trouvent également dans des portions du lit du cours d'eau présentant la probabilité d'inondations lors de crues importantes. La corrélation entre la carte des aléas d'inondation et la carte des vitesses d'écoulement est également notable : Les zones à risque élevé correspondent généralement aux secteurs où les vitesses d'écoulement sont les plus rapides. Cela indique une convergence entre les risques hydrologiques et les dynamiques d'écoulement, mettant en lumière des zones critiques nécessitant une attention particulière en matière de prévention des inondations .

**IV.6.4.une cartographie de l'occupation des sols :**

Nous avons réalisé une cartographie de l'occupation des sols dans le bassin versant de l'Oued Melah, ce qui nous permettra prochainement de concevoir une carte de vulnérabilité.

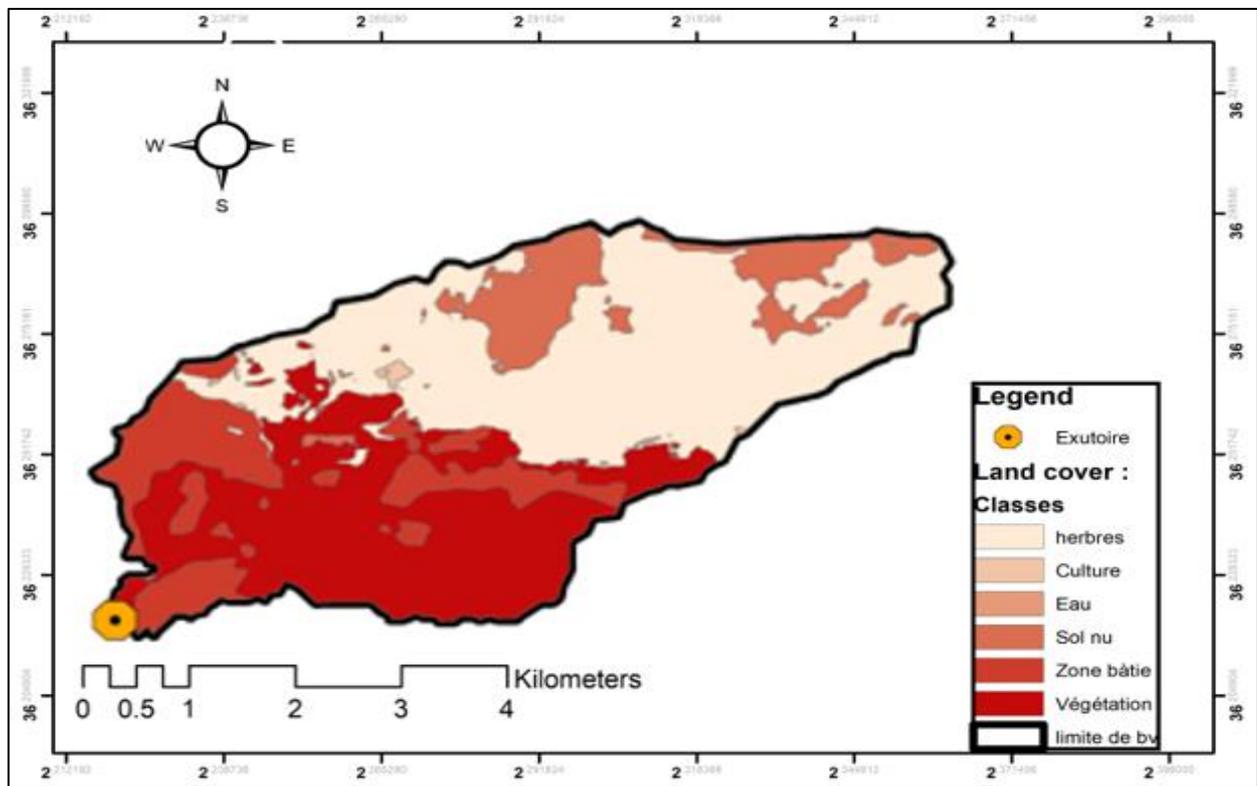


Figure IV.38 : Carte de l'occupation des sols

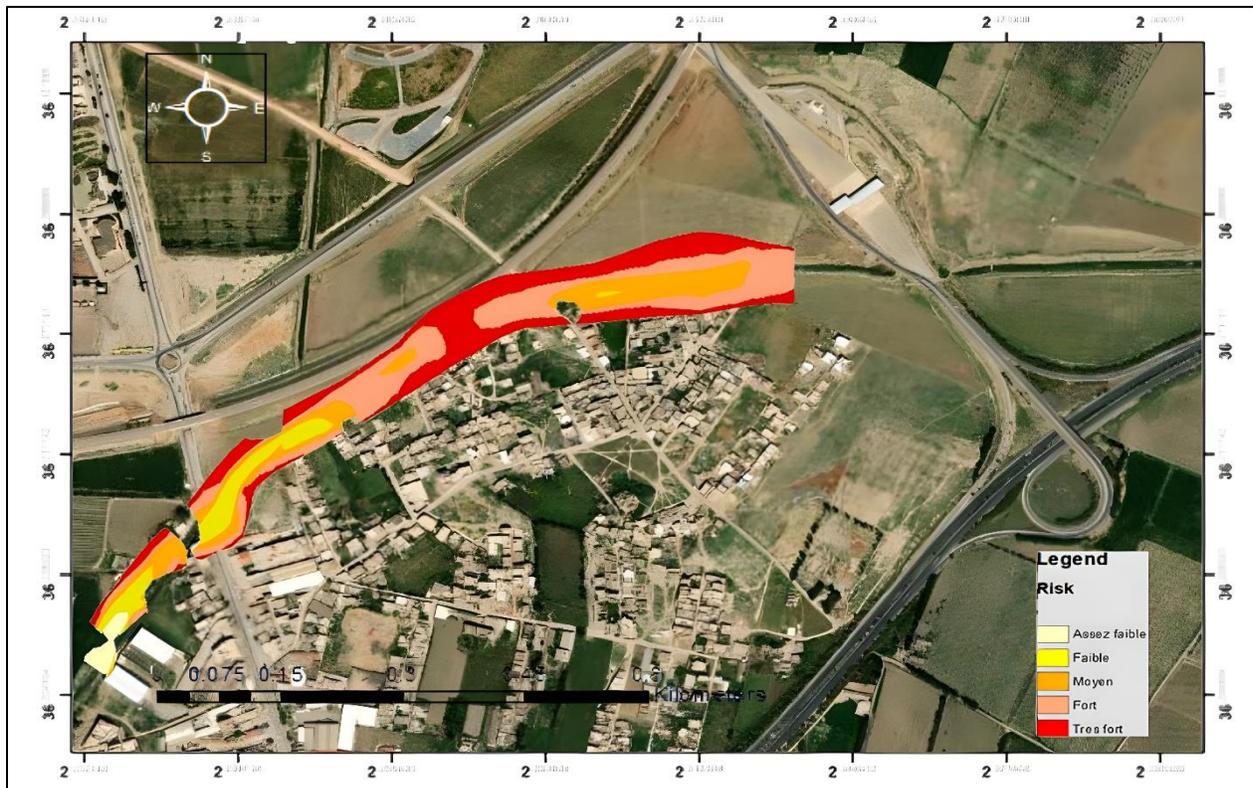
#### IV.6.5. Cartographie de la vulnérabilité :

La gestion des espaces dans les zones exposées aux risques d'inondation a pour objectif d'intégrer différentes stratégies et mesures afin d'assurer une gestion efficace du risque dans l'aménagement du territoire. Il est donc essentiel de cerner avec précision la dynamique du risque en lien avec l'évolution urbaine. Ainsi, le risque fluctue considérablement selon le type d'occupation du sol (Guigo et al., 2002).

#### IV.6.6. Création de la carte des risques :

Pour établir une carte des risques, il est essentiel de croiser la localisation de la vulnérabilité avec celle des aléas. Cette intégration se fait par le biais d'une requête dans un système d'information géographique (SIG), facilitant ainsi la superposition des deux ensembles de données nécessaires. Cette méthode nécessite de définir des niveaux de risque en fonction des degrés de vulnérabilité agricole et urbaine, ainsi que des aléas hydrologiques.

La carte du risque d'inondation donne une évaluation complète des zones à forte vulnérabilité dans la région examinée. Ces résultats sont essentiels pour la gestion des risques et la planification urbaine, facilitant une approche proactive pour faire face aux défis potentiels associés aux inondations



**Figure IV.39:** Carte des zones à risque d'inondation dans la zone d'étude.

**Interprétation :** Les zones rouges et orange, proches de l'oued, sont les plus vulnérables aux inondations. Si ces zones sont urbanisées ou occupées par des infrastructures essentielles, elles nécessitent des mesures de protection. Les zones jaunes ont un risque modéré, tandis que les zones blanches ou jaune clair sont moins exposées. L'impact dépendra de l'occupation du sol, avec des risques plus élevés pour les zones habitées ou agricoles.

### **Conclusion :**

Ce chapitre a traité de la simulation des écoulements et de la cartographie des zones vulnérables aux inondations lors d'une crue centennale, réalisée à l'aide du logiciel HEC-RAS. En intégrant des données topographiques précises et en modélisant avec soin les conditions hydrauliques, nous avons pu identifier avec exactitude les zones à risque d'inondation. Les résultats obtenus mettent en lumière les dynamiques d'écoulement lors d'une crue majeure, soulignant les secteurs particulièrement exposés.

La simulation a permis de visualiser les vitesses d'écoulement et les hauteurs d'eau dans différentes parties du bassin versant, fournissant des informations essentielles pour la gestion des risques d'inondation. Les cartes des zones inondables générées constituent un outil fondamental pour la planification urbaine, la conception d'infrastructures de protection et la préparation aux situations d'urgence. En somme, cette étude souligne l'importance d'utiliser des outils de modélisation avancés tels que HEC-RAS pour une gestion proactive et efficace des risques hydrologiques.

# **Chapitre V : Études des variantes d'aménagement.**

## Introduction

Il est crucial de gérer et d'aménager le cours d'eau afin de prévenir les inondations et de protéger les résidents ainsi que les infrastructures de la ville de Khemis. Dans ce contexte, ce chapitre examine les différentes stratégies d'aménagement des cours d'eau destinées à diminuer les risques d'inondation.

Nous analyserons les diverses méthodes de restauration et de réorganisation des lits fluviaux, en mettant en avant les avantages et les inconvénients de chaque option. Les approches d'aménagement envisagées comprennent des techniques traditionnelles telles que la construction de canaux ouverts et la réhabilitation des berges. À travers des études de cas et des modélisations hydrologiques, nous évaluerons les impacts hydrauliques et économiques de chaque solution.

Cette méthode, qui s'appuie sur des logiciels de simulation tels que HEC-RAS, permet désormais de comparer les différentes options non seulement en termes de coûts et de faisabilité technique, mais aussi en tenant compte de leur durabilité à long terme et de leur intégration dans l'environnement naturel.

L'objectif de ce chapitre est d'établir des bases solides pour une prise de décision éclairée, en prenant en considération les complexités et les spécificités locales des deux cours d'eau analysés. En fin de compte, notre ambition est d'identifier les solutions les plus appropriées pour réduire les risques d'inondation tout en renforçant la résilience écologique et communautaire de la ville de Khemis.

### **V.1. Les différents types d'aménagements** *Houbib, H (2012):*

Les systèmes de prévention des inondations sont des infrastructures destinées à empêcher les débordements près des zones sensibles (humaines, économiques, etc.). Pour éviter les problèmes d'inondation lors des crues, deux catégories de protections peuvent être mises en place : les protections directes et indirectes, en fonction de la nature du problème à résoudre.

#### **V.1.1 La protection directe (Rapprochée) :**

La protection directe consiste à agir directement sur les zones à risque en y mettant en place des infrastructures de protection appropriées, ce qui peut atténuer de manière significative les effets néfastes des inondations. Plusieurs techniques d'aménagement peuvent être appliquées, notamment

- **Recalibrage du cours d'eau :**

L'objectif principal est d'optimiser la capacité hydraulique de la section en modifiant la configuration du lit du cours d'eau (en abaissant le fond et en élargissant la section transversale).

- **Protection des cours d'eau :**

Pour assurer la préservation des cours d'eau, il est essentiel d'élever les rives afin de prévenir les inondations et d'optimiser l'espace pour l'agriculture et l'urbanisation. Les digues permettront aux cours d'eau de gérer un débit supérieur à leur capacité maximale sans risque de débordement.

- **Reboisement et techniques végétales :**

Le reboisement est influencé par la nature du sol, la qualité des espèces végétales sélectionnées et les conditions climatiques. Son objectif est de protéger les rives en utilisant la végétation pour stabiliser les eaux, ce qui contribue à réduire l'érosion et à améliorer la qualité de l'eau.

- **Lit artificiel :**

La protection des rives et du lit de l'oued, qu'elle soit réalisée avec du béton armé, des pierres ou des gabions, est l'une des méthodes les plus coûteuses et répandues dans les zones urbaines. Ces techniques sont choisies en fonction de leur capacité à s'adapter aux caractéristiques du terrain, tant sur le plan topographique que géologique.

## **V.1.2. Protection indirecte (Eloignées) :**

La protection indirecte implique d'agir à distance du site menacé en mettant en place un système de dérivation des cours d'eau responsables des inondations vers d'autres bassins situés en dehors de la zone à protéger. Plusieurs stratégies peuvent être envisagées dans ce contexte :

- **Création de canaux souterrains :**

Cette stratégie a pour objectif de rediriger les eaux vers des cours d'eau afin de les orienter vers des zones situées en dehors des zones à protéger. La déviation peut concerner une partie ou la totalité des eaux d'un oued vers un autre.

- **Construction de barrages :**

Cette méthode consiste à établir des niveaux de stockage et à réguler les crues en amont des zones à risque. Il est essentiel d'optimiser le volume et la capacité de régulation du barrage pour garantir une protection efficace.

- **Aménagement des bassins versants :**

Pour lutter contre l'érosion, il est possible d'utiliser des méthodes biologiques ou d'installer des seuils en gabions. Ces structures contribuent à ralentir le cours des eaux et à retenir les sédiments en amont.

### **V.1.2.1 Protection contre l'érosion :**

Tout comme le risque d'inondation, le risque d'érosion résulte de l'interaction entre le phénomène d'érosion et les enjeux environnants. Ce phénomène est particulièrement manifeste dans les zones non urbanisées, notamment là où le bord de la route ne s'aligne pas avec la rive de la rivière.

### **V.1.2.2 Érosion du lit :**

L'érosion du lit de la rivière peut être causée par plusieurs facteurs :

- **Causes naturelles** : Le lit de la rivière s'adapte à de nouvelles conditions hydrologiques et de transport de sédiments, entraînant une diminution de sa pente.
- **Exploitation du lit** : Les activités d'extraction ont un impact direct qui peut se propager en amont (érosion régressive) et parfois en aval (érosion progressive).
- **Construction d'infrastructures** : La construction de structures visant à limiter l'expansion des zones inondables, telles que des digues ou des remblais, peut également favoriser l'érosion.

### **V.1.2.3 Érosion des berges :**

- L'érosion des berges se produit lorsque l'eau d'une rivière emporte des particules des matériaux qui composent la berge. Ce phénomène se manifeste lorsque la vitesse et la turbulence du courant dépassent le poids et la cohésion des particules. L'élimination des grains agit comme un choc, détachant les particules de la berge et les transportant vers l'aval, où elles peuvent se déposer. Ce processus est particulièrement accentué lorsque le courant forme un angle avec la berge.
- L'éboulement, ou effondrement, se produit lorsqu'un volume de berge solide en surplomb s'effondre en raison d'un affouillement à sa base.
- L'affouillement désigne spécifiquement un type d'érosion qui se produit à la base d'une berge ou d'une structure.
- Les techniques d'aménagement pour protéger les berges se divisent en deux approches principales :
  - La protection linéaire par revêtement.
  - La protection par épis.

- Les épis sont des structures conçues pour réduire la largeur d'un cours d'eau durant les périodes de faible débit, ce qui peut améliorer la navigabilité. De plus, ils contribuent à atténuer l'érosion en déviant les courants rapides loin des berges vulnérables.
- Les revêtements constituent la méthode la plus couramment utilisée pour aménager les berges des cours d'eau. Ils consistent à appliquer une couche de matériau résistant à l'érosion sur les matériaux plus sensibles des berges. Divers matériaux, tels que des enduits, des géotextiles et des enrochements, sont employés à cet effet.

### V.3. Calcul hydraulique des canaux :

Dans le cas d'un écoulement à variation lente, on peut supposer que la pente de la ligne de charge dans chaque section est comparable à celle d'un écoulement uniforme.

#### V.3.1 Conditions pour un écoulement uniforme :

- Le débit d'eau est constant dans chaque section des tronçons analysés.
- La profondeur  $h$  du courant est uniforme sur l'ensemble de sa longueur.
- La rugosité des parois est homogène.
- Le canal a une forme prismatique.
- La pente de chaque section reste constante.
- Les résistances locales peuvent être considérées comme négligeables.

#### V.3.2 Formules de calcul :

La formule fondamentale pour déterminer un écoulement permanent et uniforme est celle de Chézy. La vitesse moyenne de l'écoulement peut être formulée de la manière suivante :

$$V = C \times \sqrt{RI} \quad (\text{V.1})$$

Avec :

$$Q = V \times S \quad (\text{V.2})$$

Donc :

$$Q = C \times S \times \sqrt{RI} \quad (\text{V.3})$$

Ou :

$C$  : Coefficient de Chézy ( $\text{m}^{0.5}/\text{s}$ ).

$R_h$  : Rayon hydraulique étant la surface mouillée  $S_m$  sur le périmètre mouillé  $P_m$ .

$n$  : Coefficient de rugosité.

I : Pente de fond du canal (radier).

### Calcul du coefficient de Chézy :

La détermination du coefficient de Chézy à l'aide de formules empiriques peut être formulée de la manière suivante :

#### Formule de PAVLOVSKY :

$$C = \frac{1}{n} + Rh^{\frac{1}{y}} \quad (\text{V.4})$$

y : est l'exposant déterminé soit d'après la relation complète :

$$M = 2.5 \times \sqrt{n} - 0.13 - 0.75 \times \sqrt{Rh} \times (\sqrt{n} - 0.1) \quad (\text{V.5})$$

#### Formule d'AGROSKINE :

$$C = \frac{1}{n} + 17.72 \log(Rh) \quad (\text{V.6})$$

C : Coefficient de Chézy ( $\text{m}^{0.5}/\text{s}$ ).

Rh : Rayon hydraulique.

n : Coefficient de rugosité.

#### Formule de MANING-STRICKLER :

$$C = \frac{1}{n} \times Rh^{\frac{1}{6}} \quad (\text{V.7})$$

La formule de Manning-Strickler permet de reformuler la formule de Chézy de la manière suivante:

$$V = K_s \times Rh^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{I} \quad (\text{V.8})$$

Avec :

$K_s$  : coefficient de rugosité de STRICKLER ( $\text{m}^{1/3}/\text{s}$ ).

Cette formule est la plus fréquemment employée pour le calcul des dimensions de différentes formes géométriques à sections ouvertes. Elle s'exprime par la relation suivante :

$$Q = \times Rh^{\frac{2}{3}} \times Sm \times \sqrt{I} \quad (\text{V.9})$$

Avec :

Q : débit de dimensionnement (m<sup>3</sup>/s).

n : rugosité du canal.

S<sub>m</sub> : section mouillée du canal en (m<sup>2</sup>).

I : pente du tronçon de cours d'eau (pente du fond) en (m/m).

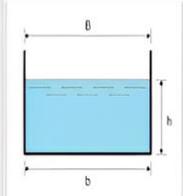
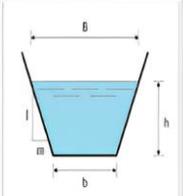
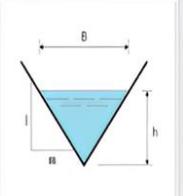
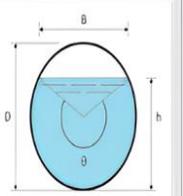
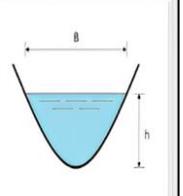
R<sub>h</sub> : rayon hydraulique en (m).

**Formule de BAZIN :**

$$C = \frac{87}{1 + \frac{mb}{\sqrt{Rh}}} \quad (V.10)$$

mb : Coefficient de BAZIN. Avec : mb est entre 0,06 et 1.75m<sup>0.75</sup>.

Les formules des éléments géométriques pour cinq types distincts de sections de canaux sont illustrées dans la figure ci-après :

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

**Figure V.1 :** Les composants géométriques pour différentes sections ouvertes (Graf, 2000)

#### V.4.Choix des paramètres de dimensionnement :

Avant de commencer le calcul hydraulique, il est essentiel de choisir correctement la pente du projet.

##### Le coefficient de rugosité :

La rugosité du canal dépend du type de revêtement appliqué. Les valeurs de rugosité correspondant à divers types de revêtements sont présentées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau V.1** : Valeurs du coefficient de rugosité (*Chen et Cotton, 1986*).

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

##### Vitesse d'érosion :

Pour prévenir les dommages aux fonds et aux berges des canaux dus à l'action dynamique du courant, il est essentiel que la vitesse de ce dernier ne dépasse pas la vitesse limite maximale. Les valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolidés sont indiquées dans le tableau ci-dessous (*Degoutte, 2012*).

**Tableau V.2** : Les valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolidés sont fondées sur les travaux de *Degoutte (2012)*.

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

### Marge de sécurité dans les canaux (Revanche) :

Dans les canaux à surface libre, une perte de charge inattendue peut provoquer une élévation du niveau de l'eau, augmentant ainsi le risque de débordement. Il est donc crucial d'incorporer une marge de sécurité au-dessus du niveau d'eau estimé afin de prendre en compte des facteurs tels que l'accumulation de sédiments, la croissance de la végétation, les vagues générées par le vent, etc.

Cette marge de sécurité varie généralement de 0,30 m pour les petits canaux à 0,60 à 1,20 m pour les grands canaux. Il est donc essentiel de considérer toutes les situations susceptibles d'influencer ces recommandations (*Lencastre, 2008*).

**Tableau V.3** : Revanches appliquées (*Degoutte, 2012*).

Débit (m <sup>3</sup> /s)	Q < 0.75	0.75 < Q < 1.5	1.5 < Q < 1.8	Q < 8.5
Revanche (m)	0.45	0.6	0.75	0.9

### Évaluation des options :

Les zones vulnérables aux inondations le long de l'oued Melah. Afin de diminuer le risque d'inondation dans les zones actuellement menacées, trois solutions sont envisagées :

- 1) La construction d'un canal en enrochement de forme trapézoïdale.
- 2) La création d'un canal en béton de forme trapézoïdale.
- 3) L'établissement d'un canal en gabion.

Pour chacune de ces alternatives, des calculs hydrauliques seront réalisés pour analyser l'état d'écoulement, en utilisant une simulation avec HEC-RAS pour chaque section du cours d'eau. Une présentation des différentes options d'aménagement sera effectuée afin de faciliter le choix de la solution la plus adaptée sur le plan technico-économique.

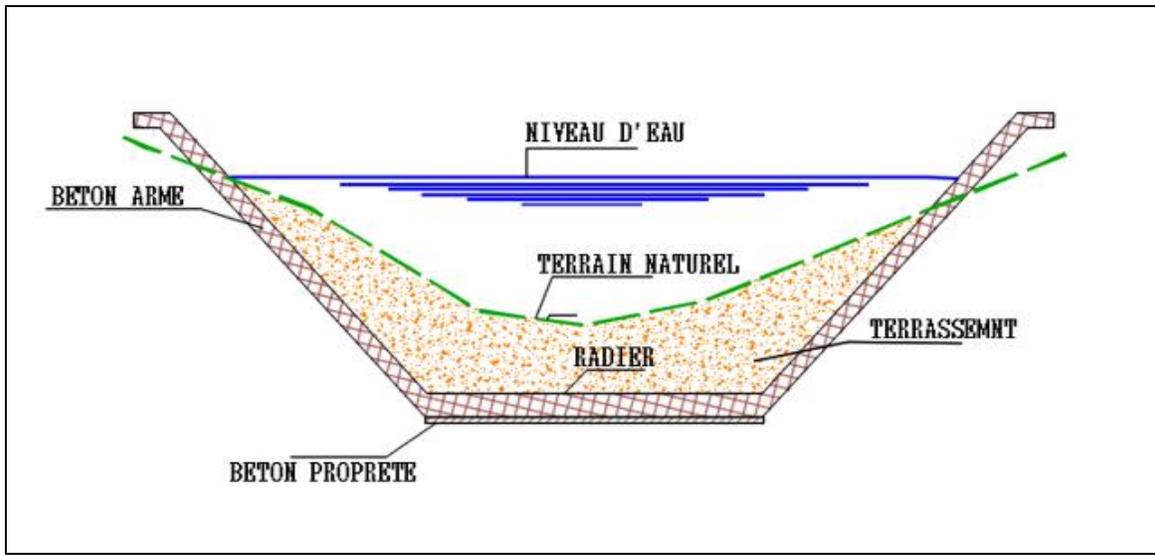
Il est crucial de mettre en place des dispositifs qui favorisent les actions de sécurité civile en cas de crues et qui réduisent la vulnérabilité des personnes dans de telles circonstances. Cela englobe la préparation des interventions, la sensibilisation des citoyens, la création de scénarios de crise, ainsi que la protection des infrastructures face aux risques d'inondation.

### V.4.1 Variante d'un Canal en béton armé :

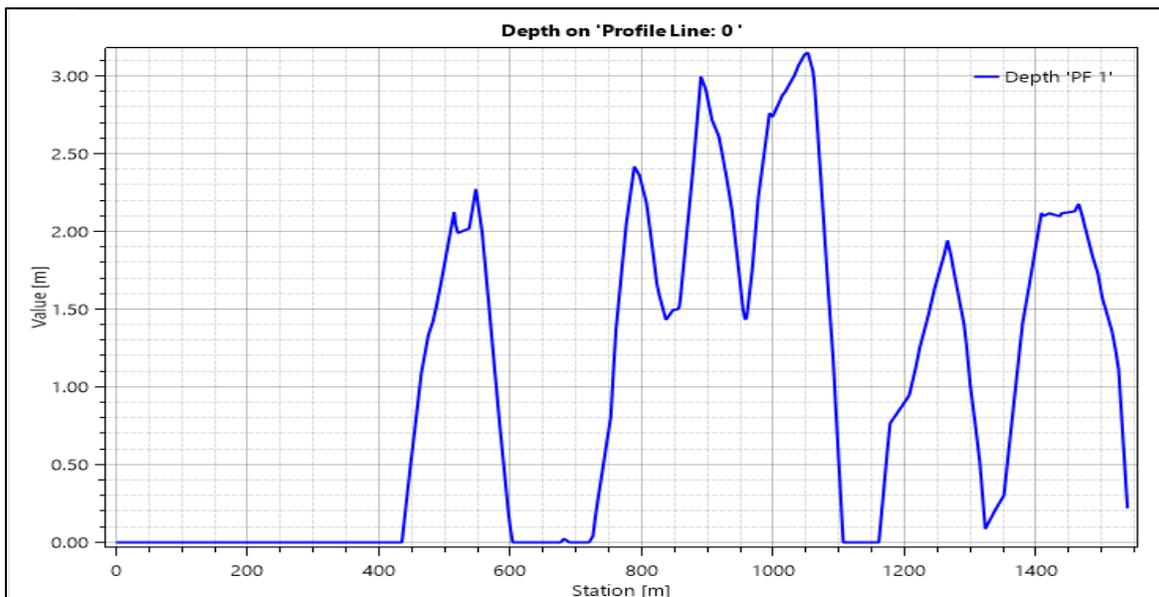
Cette proposition vise à concevoir un canal en béton armé de forme trapézoïdale. Cette approche offre plusieurs avantages, tels qu'une durabilité accrue, une configuration étroite adaptée aux zones urbaines, des performances hydrauliques optimisées, une mise en œuvre rapide et une protection

renforcée. Nous avons opté pour un coefficient de  $m=1$  pour la pente du talus, ce qui permet d'obtenir un angle de  $45^\circ$  sur le terrain, facilitant ainsi l'exécution technique du projet.

Pour modéliser ces canaux, nous utilisons le logiciel FLOW-MASTER, qui nous permet de déterminer les caractéristiques hydrauliques du canal. Par la suite, une simulation plus approfondie est effectuée avec HEC-RAS afin d'affiner notre analyse et d'évaluer plus précisément les performances du canal dans diverses conditions d'écoulement.



**Figure V.2 :** Canal trapézoïdale en béton.



**Figure V.3 :** La profondeur normale du tronçon d'Oued Melah.

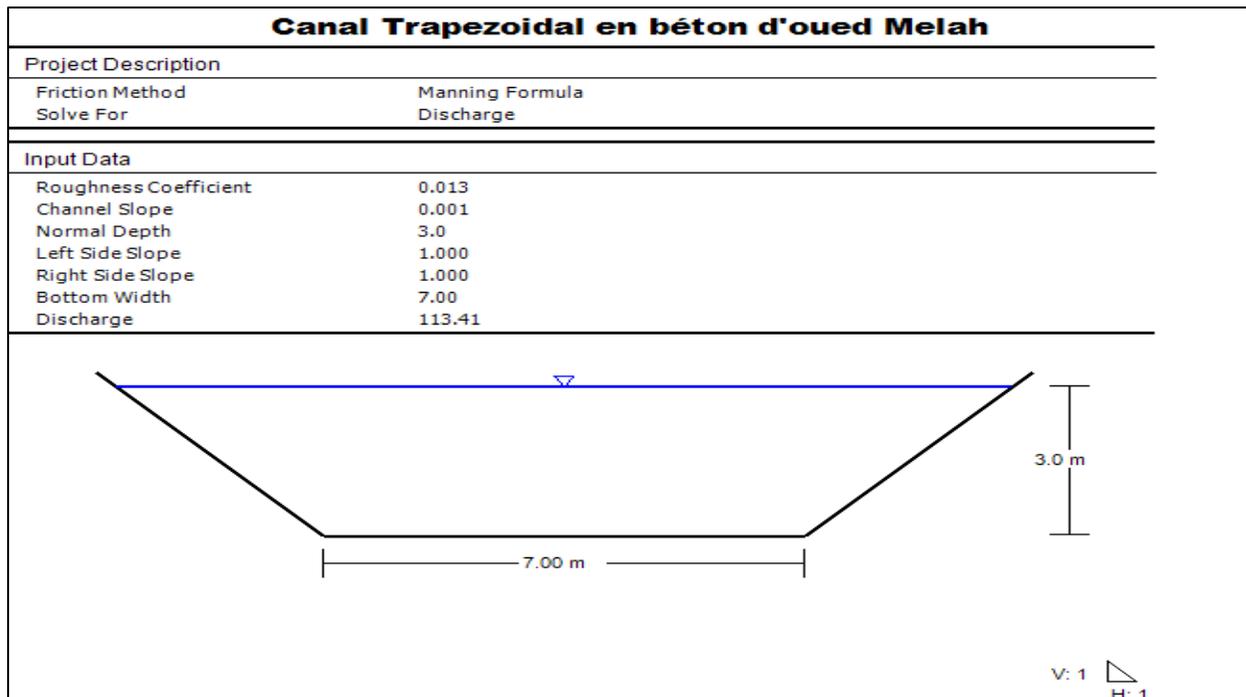
**Dimensionnement :** Le dimensionnement des caractéristiques du canal a été réalisé à l'aide du logiciel FLOW MASTER. La première option envisagée est la construction d'un canal en béton armé de forme trapézoïdale. Selon les plans, la profondeur standard de cette section est de 3,21 m. Le canal s'étend sur 1500 mètres le long de la rivière, traversant la partie ouest de la ville de Khemis Miliana, à proximité de l'Oued Melah.

➤ **Variante 1 :** Voici les résultats du calcul hydraulique pour le canal trapézoïdal en béton :

**Tableau V.4** Dimensions de l'aménagement en béton de l'Oued Melah.

Section de départ	Section D'arrivé	Longueur (m)	Pente du projet (%)	Fruit de talus	Largeur du fond (m)	La largeur au miroir	Hauteur du canal (m)	La rugosité
70	1481	1500	0.001	1	7	13	3	0.013

Les dimensions du canal sont représentées par la figure ci-dessous :



**Figure V.4:** Dimensions du canal trapézoïdal en béton d'Oued Melah.

**Paramètres d'écoulement :** Les résultats de la simulation sont affichés dans le tableau suivant :

**Tableau V.5 :** Résultats de la simulation de l'écoulement dans un canal en béton de l'Oued Melah  
(Source : HECRAS).

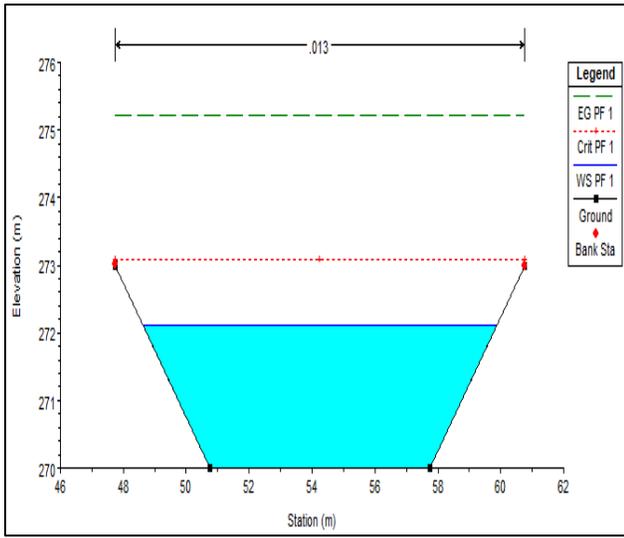
River Sta	Débit	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude
/	(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m)	/
1481	108	273.6	278.31	278.13	278.55	0.00637	7.79	13.86	12.84	1.9
1331	108	274.6	277.98	277.98	278.47	0.00585	6.05	17.85	12.93	1.64
1166	108	273.8	278.07	277.94	278.35	0.00719	8.62	12.52	12.71	2.18
1039	108	271.6	278.18	278.18	278.28	0.00715	7.23	14.93	12.6	2.15
913	108	271	278.18	278.02	278.27	0.00512	6.48	16.66	12.4	1.48
839	108	273.7	277.96	277.96	278.24	0.00697	7.17	15.96	12.83	2.06
729	108	274	277.84	276.76	278.2	0.00527	6.64	16.26	12.96	1.49
616	108	274.5	277.04	277.04	278.05	0.00691	6.93	15.58	12.07	2.02
396	108	272.8	274.49	275.34	277.23	0.00683	7.33	14.74	10.39	1.97
302	108	271	272.47	273.54	276.32	0.00758	8.7	12.42	9.93	2.48
204	108	271.5	273.74	274.04	275.13	0.00736	7.35	14.69	11.47	2.2
70	108	270	271.68	272.54	274.47	0.00691	7.39	14.61	10.37	1.99

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

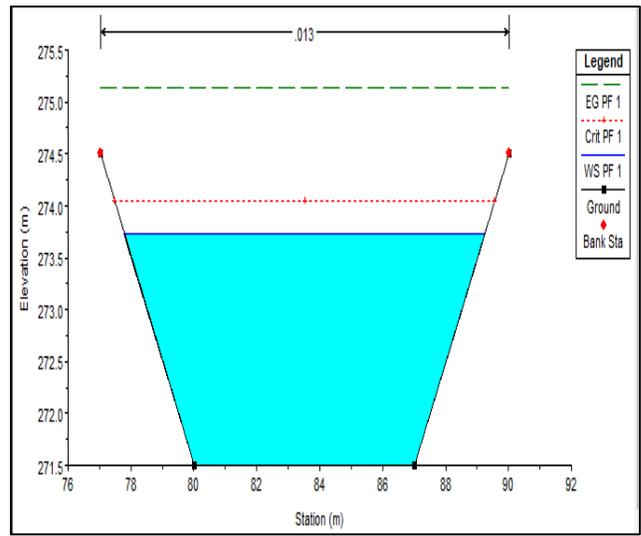
### Interprétation :

D'après le nombre de Froude, nous observons que le régime d'écoulement est torrentiel ( $Fr > 1$ ). Par ailleurs, la vitesse d'écoulement ne dépasse pas 10 m/s, ce qui contribue à prévenir l'érosion des berges, notamment celle du béton. Sur le plan technique, les résultats de la simulation du canal trapézoïdal en béton armé ont montré que les dimensions suggérées des tronçons sont efficaces pour contrer le débordement d'eau.

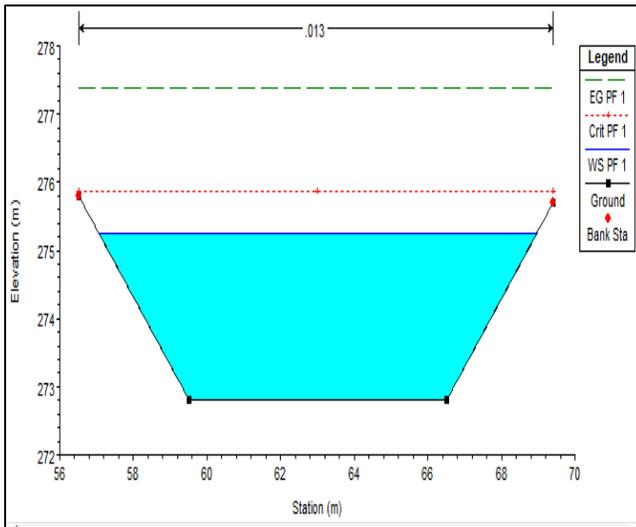
Les sections transversales de l'oued Melah , après la simulation, sont illustrées dans la figure ci-dessous.



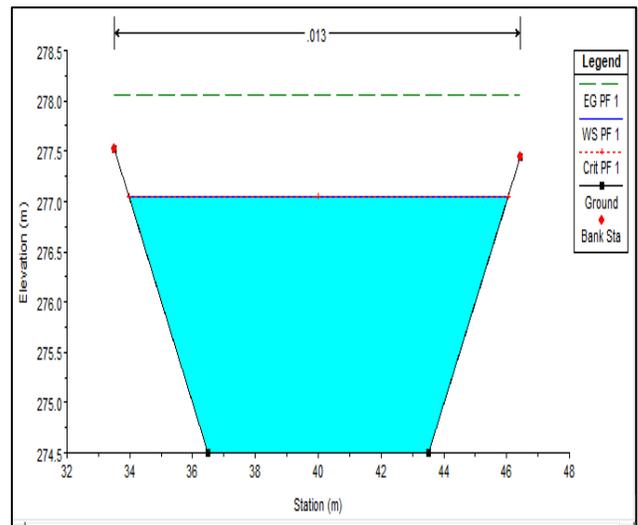
Station 70.



Station 204.



Station 396.



Station 616.

**Figure V.5 :** Profils transversaux d'un canal trapézoïdal lors d'une crue de 100 ans de l'oued Melah.

### Estimation du coût de la variante :

L'épaisseur du revêtement en béton des parois du canal trapézoïdal est estimée entre 0,15 et 0,4 mètres. Quant au radier, son épaisseur est évaluée entre 0,2 et 0,5 mètres (M. HASSANE, 2015, Blida).

Ainsi, nous avons les spécifications suivantes :

- Les parois en béton armé ont une épaisseur de 15 cm.
- Le radier en béton armé présente une épaisseur de 30 cm.
- Il est recommandé d'utiliser une épaisseur de 15 cm pour le béton de propreté.

Le devis pour la variante du canal en béton armé est établi à partir des quantités de terrassements ainsi que des volumes de remblai et de déblai calculés par HEC-RAS.

**Tableau V.6** Devis de la variante canal trapézoïdale en béton armé en amont d'oued Melah.

Désignations des travaux		Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA/mL)
Terrassement	Déblais	m3	42189	250	10547250
	Remblais	m3	3484	700	2438800
Béton de propreté		m3	1575	8000	12600000
Béton dosé à 350 Kg/m3		m3	4725	32000	151200000
<b>Montant total</b>					<b>176.786.050</b>

### Résultat :

Les canaux en béton se caractérisent par une durabilité exceptionnelle, leur permettant de supporter des conditions climatiques variées et l'usure, tout en offrant une longévité significative et nécessitant peu d'entretien. Grâce à leur faible rugosité et à leur étanchéité, ils assurent une efficacité hydraulique optimale en réduisant les pertes d'eau. Par ailleurs, leur adaptabilité et leur flexibilité permettent de les concevoir sous différentes formes et dimensions, tout en étant faciles à réparer. Leur robustesse structurelle garantit une stabilité élevée et une sécurité accrue.

## V.4.2 Variante d'un Canal en enrochement :

Un canal en enrochement est une structure destinée à la gestion des cours d'eau, utilisant des matériaux tels que des pierres, des gravillons ou des blocs de roche. Ces éléments renforcent les rives, stabilisent le lit de la rivière et réduisent l'érosion provoquée par le courant. Ils offrent une base solide et durable tout en permettant un écoulement contrôlé. Conçus pour résister aux forces de l'eau, les canaux enrochés conservent leur intégrité au fil du temps et s'intègrent harmonieusement dans leur environnement naturel, constituant ainsi une solution à la fois esthétique et respectueuse de l'écosystème.

### ▪ Dimensionnement :

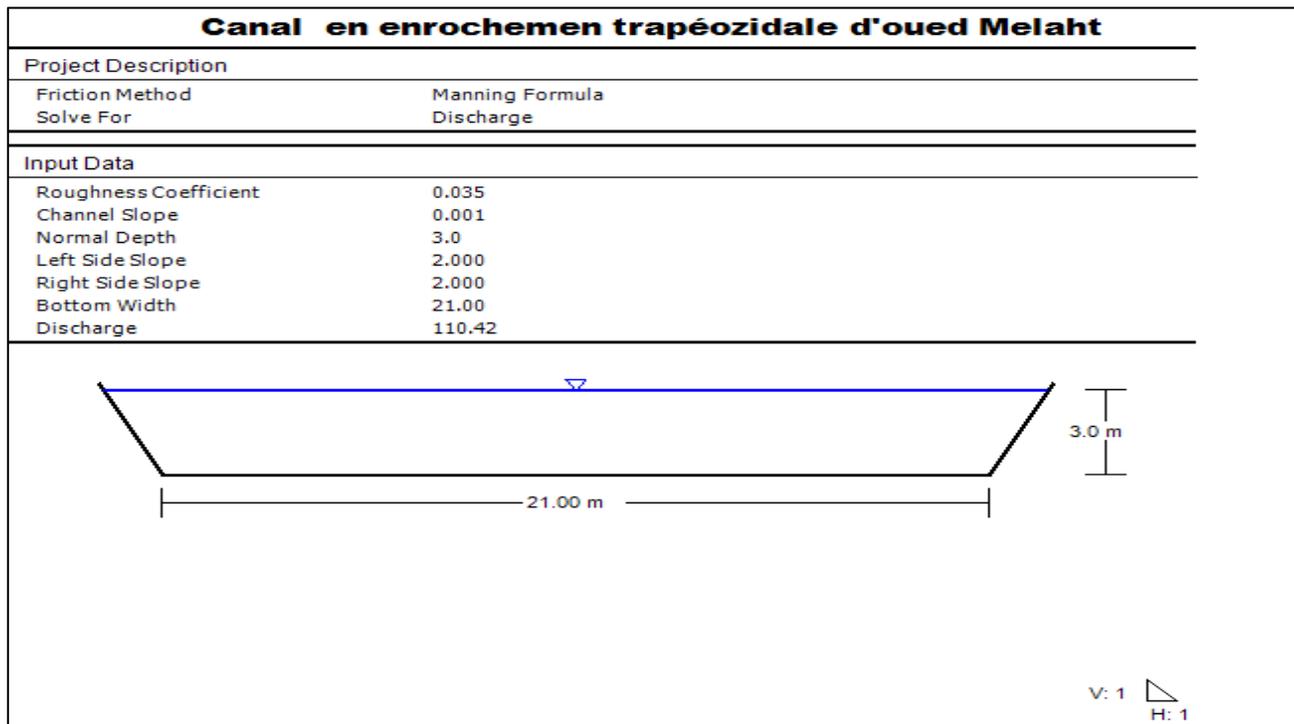
Les sections du canal sont élaborées en fonction des résultats obtenus grâce au logiciel Flow Master. Pour les réseaux de prévention, une marge de 0,9 mètre sera ajoutée aux profondeurs standards.

Voici les résultats du calcul hydraulique concernant le canal trapézoïdal en enrochement :

**Tableau V.7 :** Dimensions de l'aménagement en enrochement de l'Oued Melah.

Section de départ	Section D'arrivé	Longueur (m)	Pente du projet (%)	Fruit de talus	Largeur du fond (m)	La largeur au miroir	Hauteur du canal (m)	La rugosité
70	1481	1500	0.001	2	21	33	3	0.035

Les dimensions du canal sont illustrées dans la figure ci-après :



**Figure V.6:** Mesures du canal en forme de trapèze de l'Oued Melah.

**Paramètres d'écoulement :**

Les résultats de la simulation sont présentés dans le tableau ci-dessus :

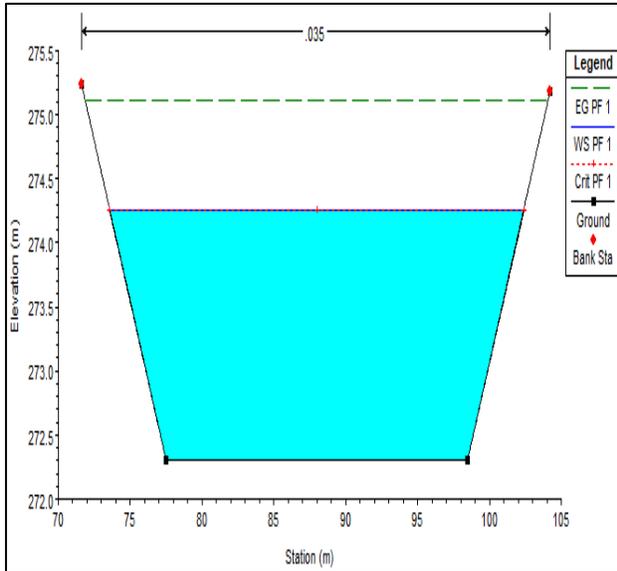
**Tableau V.8:** Résultats de la simulation de l'écoulement dans un canal en enrochement de l'Oued Melah (Source : HECRAS).

River Sta	Débit (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude
/	(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m)	/
1481	108	273.6	277.52	274.93	277.55	0.0432	4.63	23.34	25.05	1.53
1331	108	274.6	277.37	274.6	277.48	0.0892	5.72	18.88	32.07	2.41
1166	108	273.8	277.3	273.3	277.36	0.0206	3.98	27.13	27.68	1.28
1039	108	272.6	277.3	273.8	277.33	0.0861	5.38	20.07	32.32	2.2
913	108	272	277.3	277.04	277.31	0.0572	4.87	22.17	29.59	1.89
839	108	274.7	277.14	277.14	277.29	0.0861	5.38	20.07	30.76	2.2
729	108	274	277.08	276.96	277.17	0.0006	4.29	25.17	33	0.26
616	108	275	276.33	276.33	276.93	0.0118	3.44	31.41	26.31	1.01
396	108	272.8	274.54	274.13	274.87	0.0875	5.56	19.42	27.94	2.31
302	108	272	274.44	274.44	274.59	0.0190	3.71	29.11	31.03	1.26
204	108	272.3	273.63	273.63	274.23	0.0117	3.44	31.41	26.31	1
70	108	270.4	271.6	271.73	272.35	0.0166	3.84	28.11	25.81	1.18

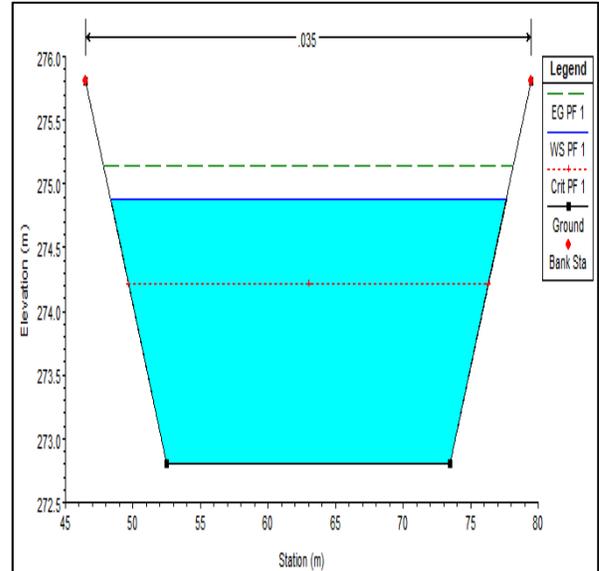
### Interprétation :

Il est constaté qu'en fonction du nombre de Froude, le régime d'écoulement est torrentiel ( $Fr > 1$ ) et que la vitesse d'écoulement ne dépasse pas 5,72 m/s. Cette vitesse est considérée comme acceptable pour un canal en enrochement. Sur le plan technique, un canal enrochement assure une protection efficace.

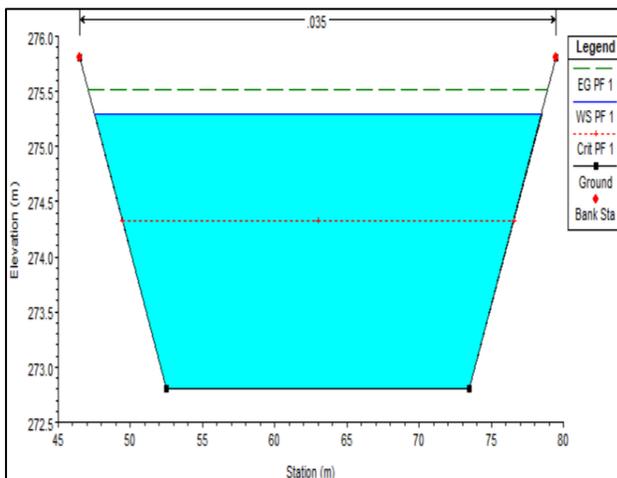
Les sections en travers pour oued Melah, après la simulation, sont illustrées dans la figure ci-dessous :



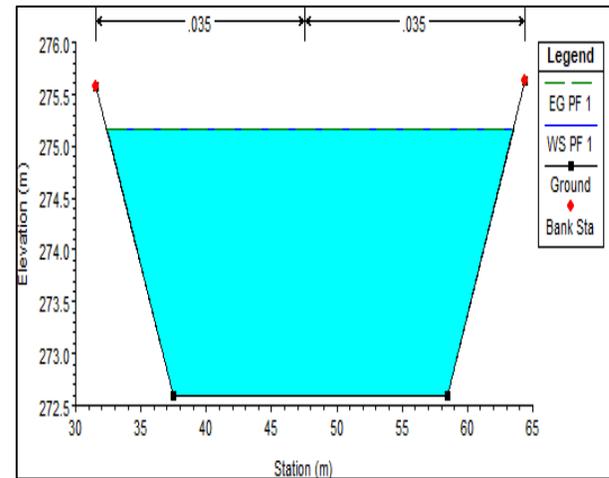
Station 204.



Station 302.



Station 396



Station 1039.

**Figure V.7 :** Profils transversaux d'un canal enroché pour une crue centennale de l'Oued Melah.

### Conception du canal en enrochement :

L'enrochement est une méthode fréquemment employée pour renforcer les rives et le lit des cours d'eau. Cette technique consiste à disposer des blocs de roche provenant de carrières, avec une pente modérée des talus, généralement située entre 3/2 et 2/1, sans utiliser de liants en béton. Pour l'aménagement de l'Oued Melah en enrochement, qui a pour objectif de protéger la ville d'Oued Melah des inondations, le tonnage estimé se situe entre 1 et 1,5 tonne. Le diamètre médian des roches ( $D_{50}$ ) est d'environ 500 cm.

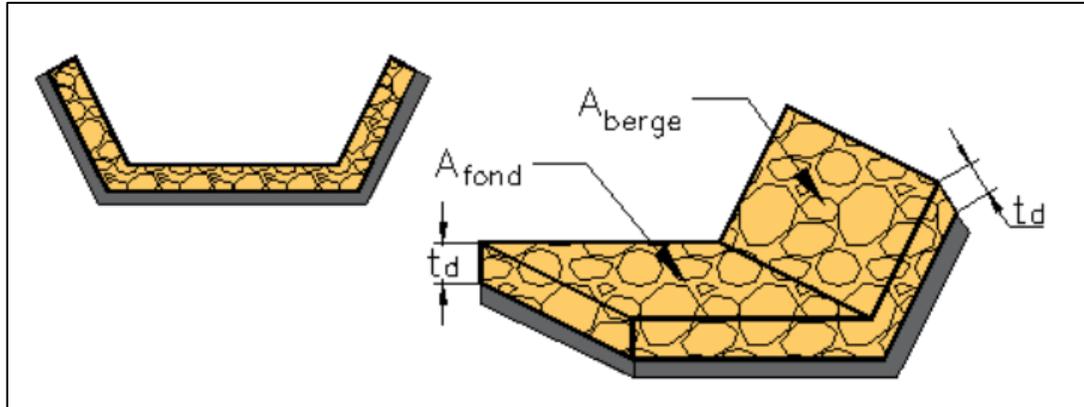


Figure V.8 : Canal en enrochement.

- **Epaisseur orthogonale théorique  $t_d$  (m) :**

$$t_d = n \times D_{50} \quad (V.11)$$

- **Volume globale de dimensionnement  $\mathcal{V}_{b,d}$  ( $m^3$ ) :**

$$\mathcal{V}_{b,d} = A \times t_d \quad (V.12)$$

Avec :

$n$  : nombre de couche  $n = 1$

$D_{50}$  : Diamètre médian  $D_{50} = 0.5m$ .

$A$  : Aire (surface) ( $m^2$ ).

- **Les sections d'enrochement :**

$$A = L \times l_{talus} \quad (V.13)$$

Avec :

$$l_{talus} = h \sqrt{1 + m^2} \quad (V.14)$$

**Tableau V.9 :**Sections d'encrochement.

Le coté	L(m)	l (m)	A(m <sup>2</sup> )
Fond	1500	10.5	15750
Talus gauche	1500	6.7	10050
Talus droite	1500	6.7	10050

**Tableau V.10: Volumes** d'encrochement.

Le coté	n	D50 (m)	td(m)	A(m <sup>2</sup> )	V(m <sup>3</sup> )
Fond	1	0,5	0,5	15750	7875
Talus gauche	1	0,5	0,5	10050	5025
Talus droite	1	0,5	0,5	10050	5025
Volume Totale					17925

**Tableau V.11 :** Sections du géotextile.

Le coté	A(m <sup>2</sup> )	A totale (m <sup>2</sup> )
Fond	15750	35850
Talus gauche	10050	
Talus droite	10050	

- **Estimation du coût de la variante :** Représentés dans les tableaux suivants :

**Tableau V.12** Devis de la variante canal en encrochement Totale d'oued

Désignations des travaux		Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA/mL)
Terrassement	Déblais	m3	100607	250	25151750
	Remblais	m3	3021	700	2114700
Encrochement		m3	17925	15000	268875000
Géotextile		m2	35850	5000	179250000
Montant total					475.391.450

**Résultat :**

Cette variante, bien qu'elle assure une protection efficace et offre des avantages hydrauliques significatifs, présente des coûts de construction élevés en raison des dépenses associées aux matériaux rocheux, au transport et à la main-d'œuvre spécialisée requise pour une installation correcte. De plus, les canaux en encrochement prennent généralement plus de place que d'autres types de canaux, ce qui peut poser des difficultés dans des zones restreintes. En outre, les roches peuvent se déplacer ou s'éroder, rendant nécessaire un entretien régulier pour garantir leur efficacité.

### V.4.3. Variante d'un Canal en gabions :

Les matelas en gabions sont principalement utilisés pour créer des revêtements et des protections contre l'érosion. Ils existent en différentes dimensions, les plus courantes étant  $2,0 \times 1,0 \times 0,5$  m et  $2,0 \times 1,0 \times 1,0$  m. L'installation des canaux en gabions requiert une méthode spécifique ; les sacs sont disposés en escalier, ce qui assure la stabilité des rives (berges).

- Bénéfices des structures en gabion :
  - Flexibilité des constructions : Les gabions offrent une adaptabilité qui leur permet de s'ajuster aux variations naturelles du terrain, en particulier autour des dispositifs de dissipation d'énergie, des bajoyers et des systèmes de protection contre l'érosion.
  - Facilité de mise en œuvre : Certains types de barrages ou de seuils en gabions peuvent être construits en deux ans sans risque majeur de dommages pendant la saison des pluies intermédiaires. De plus, il est relativement simple d'envisager une surélévation de la structure. Les formes géométriques de ces ouvrages sont, par nature, assez élémentaires.
  - Coût compétitif : Il est possible de réaliser des ouvrages entièrement déversants à un coût inférieur à celui de leurs équivalents en béton.

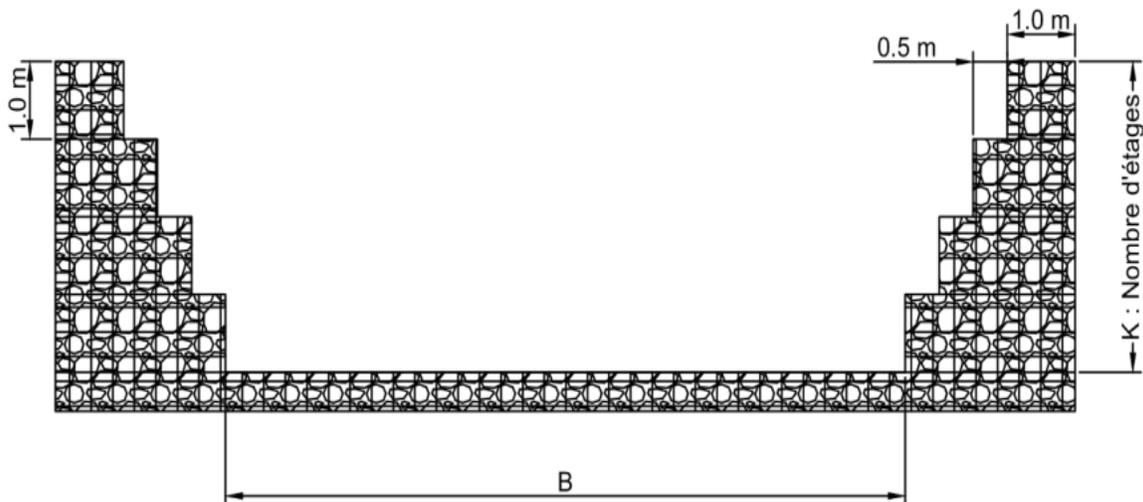


Figure V.9 : Section transversale d'un canal en gabion.

Les caractéristiques d'une section gabionnée sont les suivantes :

- Section  $S_m$  ( $m^2$ ) :

$$S_m = 0.5k(k - 1) + bk \quad (V.15)$$

- Périmètre  $P_m$  (m) :

$$P_m = b + 3k - I \quad (\text{V.16})$$

- Rayon hydraulique  $R_h$  (m) :

$$R_h = \frac{0.5k(k-1)+bk}{b+3k-1} \quad (\text{V.17})$$

Avec:

K est le nombre d'étages. On détermine d'abord la largeur de la base, puis on évalue le nombre d'étages capables d'évacuer le débit de crue.

### Dimensionnement :

Pour le dimensionnement de ce canal, nous avons retenu une largeur de 8 mètres. Le coefficient de Manning est fixé à  $n=0,035$  pour les gabions, et la pente du canal est de  $I=0,003$ . Nous avons ensuite déterminé le nombre de caisses K en fonction d'un débit centennal de  $Q=108 \text{ m}^3/\text{s}$ .

**Tableau V.13** : Résultats du calcul du nombre de caisses pour le canal en gabion oued Melah.

<b>K (caisses)</b>	<b>Q(m3/s)</b>	<b>S (m2)</b>	<b>P (m)</b>	<b>R (m)</b>
8	297.325	92	31	2.968
7	236.522	77	28	2.750
6	182.572	63	25	2.520
<b>5</b>	<b>135.257</b>	<b>50</b>	<b>22</b>	<b>2.273</b>
4	94.398	38	19	2.000
3	59.890	27	16	1.688
2	31.814	17	13	1.308
1	10.789	8	10	0.8

Pour notre étude, nous avons la possibilité d'utiliser un canal composé de **5 caisses**, assurant un débit de 108 m<sup>3</sup>/s avec une profondeur de 1 m.

### Paramètres d'écoulement :

Les résultats de la simulation sont présentés dans le tableau ci-dessus :

**Tableau V.14** : Résultats de la simulation de l'écoulement d'un canal en gabion de l'Oued Melah

(Source : HECRAS).

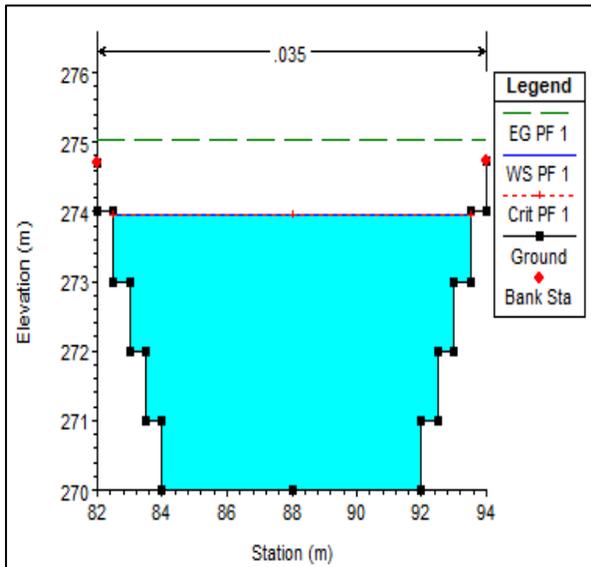
River Sta	Débit	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude
/	(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m)	/
1481	108	272	278.07	274.57	278.11	0.000191	4.96	21.77	10	1.07
1331	108	273.5	277.65	275.07	278	0.003127	5.23	20.65	10	1.16
1166	108	272	277.71	274.07	277.77	0.000405	5.66	19.08	10	1.3
1039	108	271.4	277.72	277.72	277.74	0.012921	5.42	19.92	10	1.22
913	108	269	277.72	277.62	277.73	0.006423	4.89	22.08	10	1.05
839	108	272.6	277.54	277.54	277.71	0.013243	5.5	19.63	10	1.25
729	108	273	277.31	277.22	277.57	0.001894	5.13	21.05	10	1.12
616	108	273.4	275.97	275.97	277.12	0.006358	4.75	22.74	10	1.01
396	108	271.8	274.2	274.37	275.55	0.007985	5.13	21.04	10	1.13
302	108	270	274.32	272.57	274.66	0.017314	6.88	15.69	9	1.66
204	108	270.6	273.17	273.17	274.32	0.006347	4.75	22.75	10	1.01
70	108	269	271.03	271.57	273.02	0.014313	6.24	17.3	10	1.52

### Interprétation :

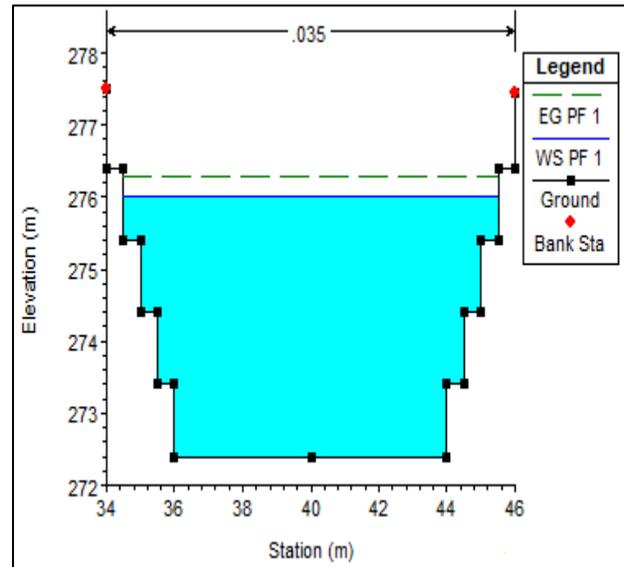
Il apparaît que, selon le nombre de Froude, le régime d'écoulement est torrentiel (Fr supérieur à 1) et que la vitesse d'écoulement ne dépasse pas 6,88 m/s. Cette vitesse est acceptable pour un gabion. Sur le plan technique, le canal gabionné offre une protection efficace.

### - Sections transversales :

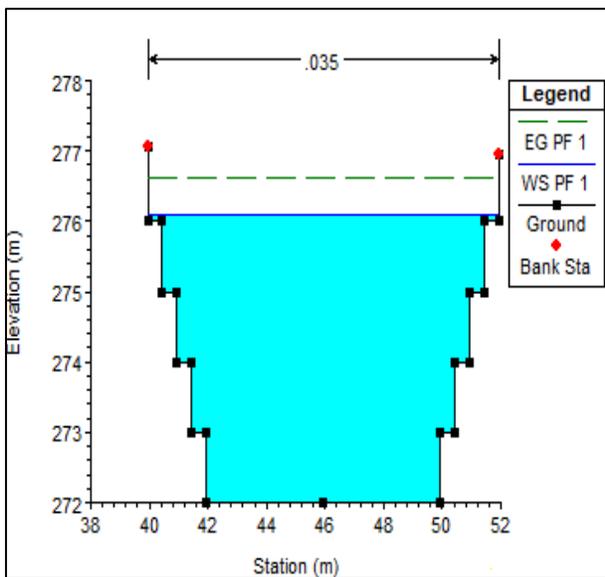
Les sections transversales de l'oued Melah, après simulation, sont illustrées dans la figure ci-dessous :



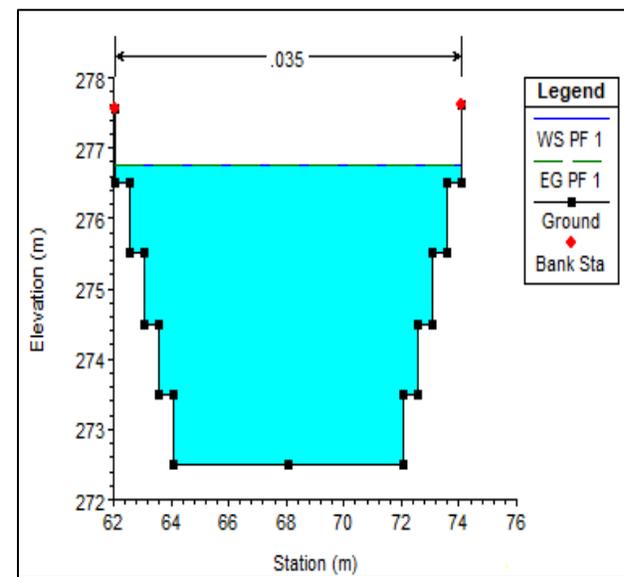
Station 204.



Station 6



Station 729.



Station 1331.

Figure V.10 : Profils transversaux d'un canal en gabion lors d'une crue centennale Oued Mellah

- **Estimation du coût de la variante** : Représentés dans les tableaux suivants :

**Tableau V.15** Devis de la variante canal en gabion oued Melah.

Désignations des travaux		Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA/MI)
Terrassement	Déblais	m3	68729	250	17182250
	Remblais	m3	1397	700	977900
Gabion		m3	11085	5000	55425000
Géotextile		m2	33000	5000	165000000
Montant total					238.585.150

- **Résultats :**

Cette variante assure une protection efficace et présente des avantages hydrauliques significatifs. Néanmoins, son installation peut être complexe et coûteuse en main-d'œuvre, nécessitant une expertise spécifique. Les cages métalliques peuvent rouiller avec le temps, surtout dans des environnements humides, ce qui peut compromettre leur durabilité. De plus, les pierres peuvent se déplacer ou s'éroder, réduisant ainsi l'efficacité structurelle des gabions. En outre, leur perméabilité peut entraîner des problèmes de fuite dans certains cas, rendant un entretien plus fréquent nécessaire pour maintenir leur performance.

#### V.4.4. Sélection de la variante d'aménagement :

Il apparaît que les trois options sont en mesure de gérer le débit de crue sans risque de débordement. Le choix de la variante d'aménagement la plus adéquate pour un cours d'eau doit reposer sur une analyse multicritères intégrée, prenant en considération les dimensions hydrauliques, techniques, économiques, réglementaires et de résilience. Cette méthode assure que l'aménagement choisi constitue une solution équilibrée, durable et avantageuse pour l'ensemble des parties prenantes concernées.

En adoptant cette démarche, nous pouvons maintenir le barème ci-dessous :

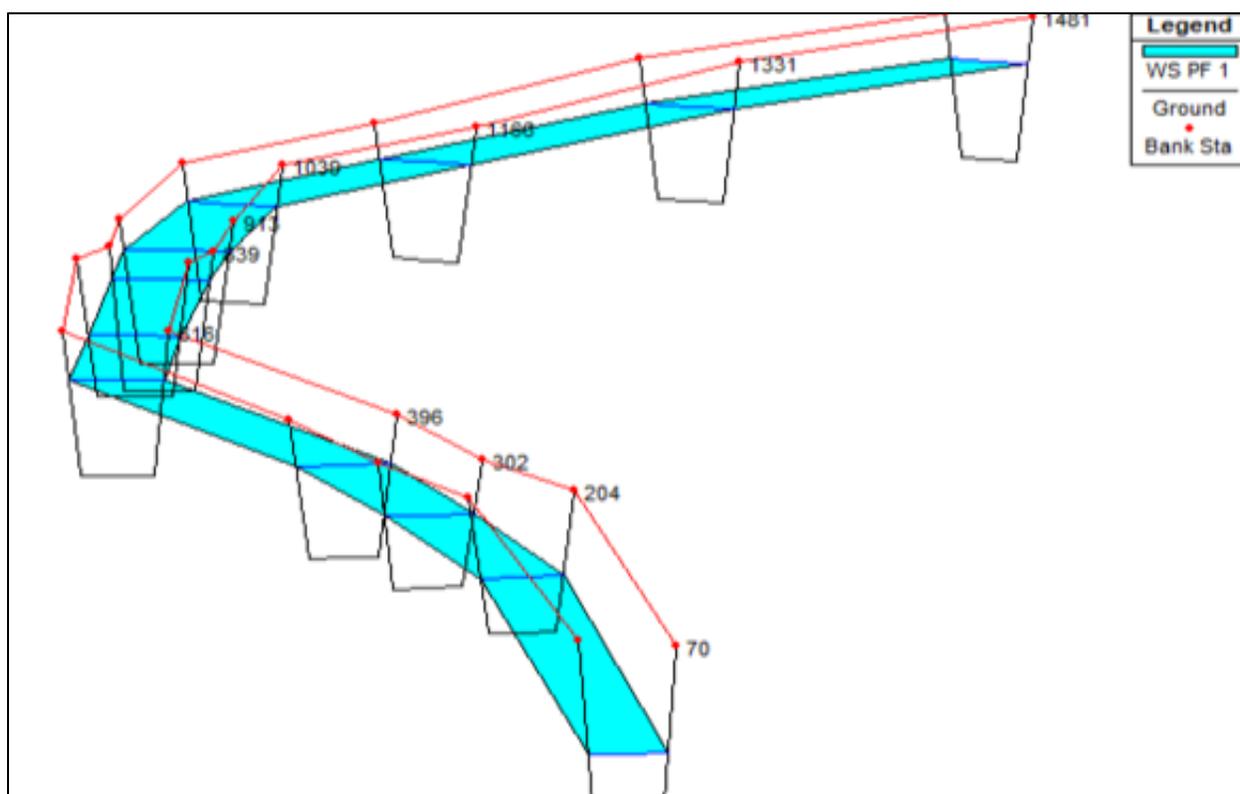
**Tableau 16** : tableau comparatif des diverses options d'aménagement.

variante	Aspect hydraulique	Aspect technique	Aspect économique	réglementaires	résilience	totale
Enrochement	1	1	0	1	1	4
Gabion	1	0	1	0	1	3
Béton armé	1	1	1	1	1	5

En nous appuyant sur les résultats de la comparaison évoquée précédemment, nous avons finalement décidé de construire **un canal en béton armé**. Cette décision vise à rassurer les futurs investisseurs, à préserver l'environnement naturel et à prévenir l'érosion des berges. Elle tiendra également compte des priorités de la ville de Khemis, des caractéristiques locales de l'environnement et de la géomorphologie de la rivière. Dans ce contexte, l'Oued Melah traverse la ville de Khemis. Par conséquent, il est prévu d'aménager cette section de l'Oued **avec un canal trapézoïdal en béton**.

#### V.4.5. Résultats des cartes de l'oued Melah après aménagement :

La figure ci-après illustre la carte de profondeur d'eau générée par le RAS-Mapper. Il est clair que la protection par **un canal trapézoïdal en béton armé** de cours d'eau assure une sécurité maximale pour les biens et les personnes de la ville de Khemis, éliminant ainsi tout risque d'inondation



**Figure V.11** : Vue en 3D du cours d'eau après l'aménagement en Béton armé.

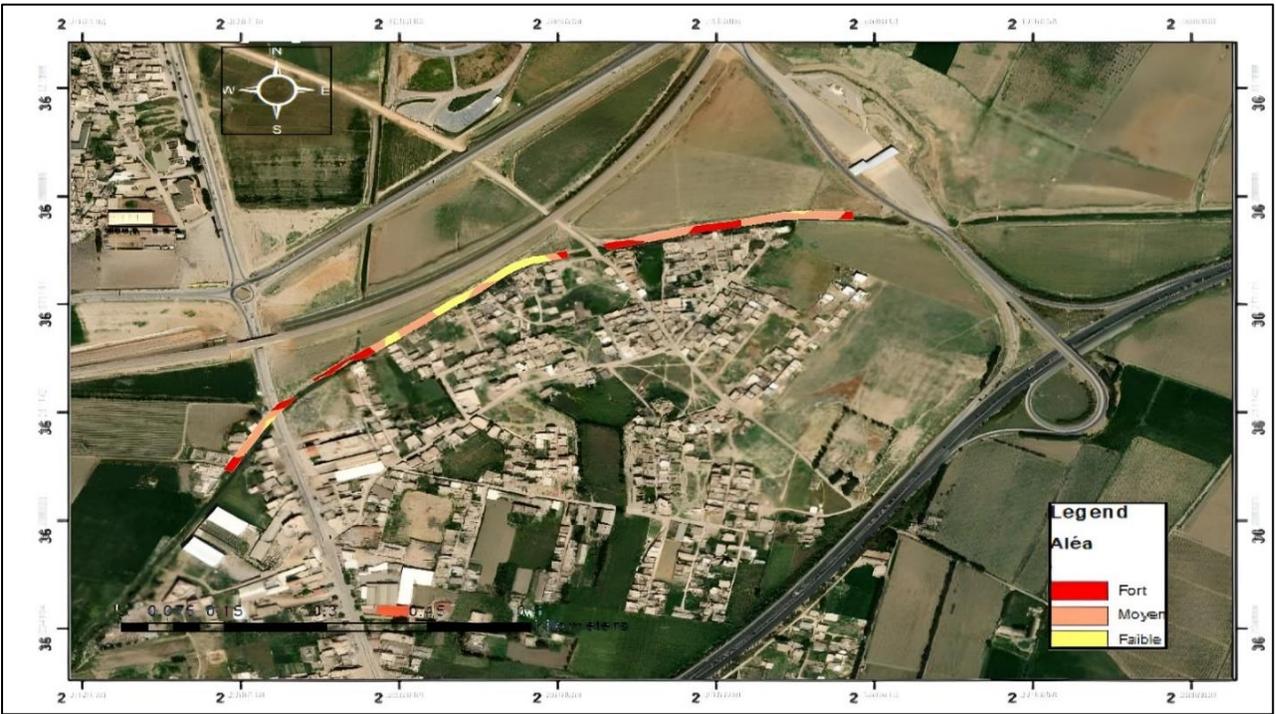


**Figure V.12** : Carte de la profondeur d'eau de l'oued Melah après aménagement pour une période de retour de 100 ans avec un canal trapézoïdal en béton armé.



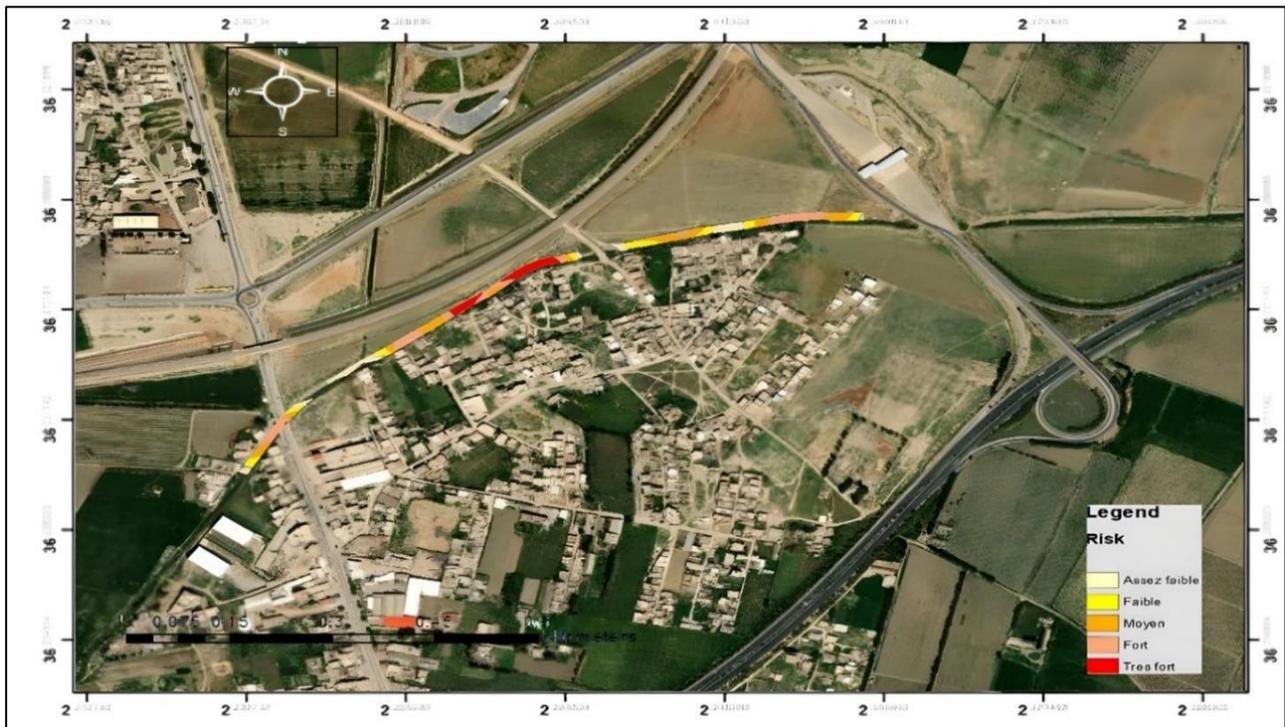
**Figure V.13** : Carte de vitesse oued Melah après aménagement pour une période de retour de 100 ans avec un canal trapézoïdal en béton armé .

La figure ci-après illustre la carte Aléa liés à l'oued Melah (Source : ArcGIS)



**Figure V.14 :** Carte des Aléa de l'Oued Melah après aménagement, pour une période de retour de 100 ans

La figure suivante montre la carte des risques associés à l'oued Melah (Source : ArcGIS).



**Figure V.15:** Carte des risques de l'Oued Melah après aménagement, pour une période de retour de 100 ans

## V.5. Les ouvrages de traversée :

Le cours d'eau étudié est traversé par une routière. Toutefois, en l'absence de données précises sur les dimensions et les hauteurs réelles de ces ouvrages pour simuler les écoulements, nous recommandons d'utiliser des dalots dimensionnés en fonction du débit du cours d'eau en réalité sur terrain elles sont fait des dalots a la section 516 en aval de l'exutoire.

**À noter :** Un revêtement en béton spécifique est suggéré pour éviter l'érosion autour de ces ouvrages.

### V.5.1 Redimensionnement :

Nous effectuons le redimensionnement des structures de franchissement afin d'assurer leur capacité à accueillir le passage de la crue centennale.

La vérification de la capacité des structures peut être effectuée soit à l'aide du logiciel HEC-RAS, soit en appliquant les formules de Delorme, recommandées par la DRCR pour le dimensionnement hydraulique des ouvrages de franchissement (*CID, 2008*). Ces formules se présentent comme suit:

**Pour les dalots :** 
$$Q_{CR} = 1.5 \times L \times H^{3/2} \quad (V.18)$$

**Pour les buses :** 
$$Q_{CR} = 2.8 \times R \left( \frac{H}{R} \right)^{3 \times 0.88} \quad (V.19)$$

Avec :

L : Largeur de l'ouverture du dalot en (m) ;

R : Diamètre de la buse en (m) ;

H : Hauteur sous les dalles pour les dalots ou diamètre intérieur pour les buses en (m)

#### V.5.1.1 Choix de l'ouvrage de franchissement :

La sélection des ouvrages sera guidée par l'analyse du débit passant à travers l'ouvrage hydraulique, des charges statiques et dynamiques appliquées, ainsi que du coût d'investissement et du temps nécessaire à la construction.

**Tableau V.17 : Bénéfices et inconvénients des diverses solutions suggérées.**

Type	Buses		Dalots
	Rigides	Souples	
Forme	Circulaire	Ovale	Rectangulaire
Matériau	BA	Acier	BA
Mise en œuvre	Préfabriquées	Tôles préfabriquées et assemblés	Coulé sur place ou éléments préfabriqués
Emploi	Faible débit	Sous Remblais important	Les plus employés
Avantages	Economique	Supporte des charges importantes	Supporte directement les charges.
			A section égale et pente égale, un dalot est capable d'écouler un débit supérieur à celui d'une buse.
Inconvénients	Petit débit (<10 m <sup>3</sup> /s)	Corrosion	Plus de durée de construction.
	Remblais important (>80 cm)	L'assemblage réalisé par soudure est cher	
		Remblais important (>80 cm)	

Étant donné que les débits devant passer par les ouvrages de franchissement excèdent **15 m<sup>3</sup>/s**, la solution choisie est **l'emploi de dalots**.

### **V.5.2 Les dalots :**

Un dalot est une structure d'ingénierie civile conçue pour permettre à l'eau de s'écouler sous une route, une voie ferrée, un sentier ou toute autre infrastructure. Il s'agit essentiellement d'un petit pont ou d'un tuyau qui facilite le drainage et aide à prévenir les inondations en permettant à l'eau de circuler librement.

### **V.5.3. Les différents types de dalots :**

On peut classer les dalots en quatre catégories, comme indiqué ci-dessous.

#### **1) Dalots en béton préfabriqué :**

Cette catégorie se divise en deux types :

- **Dalots rectangulaires** : Conçus pour des capacités de drainage plus élevées.
- **Dalots circulaires** : Souvent appelés buses, ils sont généralement utilisés pour des débits d'eau modérés.

## 2) Dalots en métal :

Dalots en acier ondulé, spécialement conçus pour des environnements corrosifs où la durabilité est essentielle.

## 3) Dalots en matériaux composites :

Dalots en plastique renforcé de fibre de verre (FRP), offrant à la fois légèreté et résistance à la corrosion, idéaux pour des applications spécifiques.

## 4) Dalots en béton coulé sur place :

Cette catégorie se divise également en deux types :

- **Dalots simples** : Équipés d'une seule ouverture pour le passage de l'eau.
- **Dalots multiples** : Comprenant plusieurs ouvertures parallèles pour gérer des volumes d'eau plus importants.

## V.5.4. Installation des dalots :

L'installation des dalots s'effectue en plusieurs phases :

### 1) Étude et Conception :

- **Analyse du site** : Évaluation des conditions hydrologiques et géologiques existantes.
- **Conception** : Sélection des dimensions et des matériaux appropriés en fonction des débits d'eau et des charges à supporter.

### 2) Préparation du Site :

- **Excavation** : Creuser une tranchée à l'emplacement prévu pour le dalot, en respectant les dimensions requises.
- **Nivellement** : S'assurer que le fond de la tranchée est de niveau et correctement compacté.

### 3) Installation :

- **Pose de la base** : Établissement d'une fondation en béton ou en gravier compacté.
- **Assemblage des segments** : Si le dalot est constitué de segments préfabriqués, il est important de les assembler et de les sceller correctement. Pour un dalot coulé sur place, il est crucial d'installer un coffrage pour le béton.

- **Coulée du béton** : Pour les dalots en béton coulé sur place, il faut verser le béton dans le coffrage et le laisser durcir.

#### 4) Finition et Vérification :

- **Étanchéité** : Vérifier et appliquer des joints d'étanchéité pour prévenir toute fuite.
- **Remblaiement** : Remblayer autour du dalot avec du gravier ou du sable pour garantir sa stabilité.
- **Test et Inspection** : Effectuer des tests sur le dalot afin d'assurer son bon fonctionnement et sa capacité à évacuer l'eau.

#### 5) Aménagement Paysager :

- **Restauration du site** : Réhabiliter la zone environnante du dalot en rétablissant la végétation ou en appliquant les revêtements nécessaire.

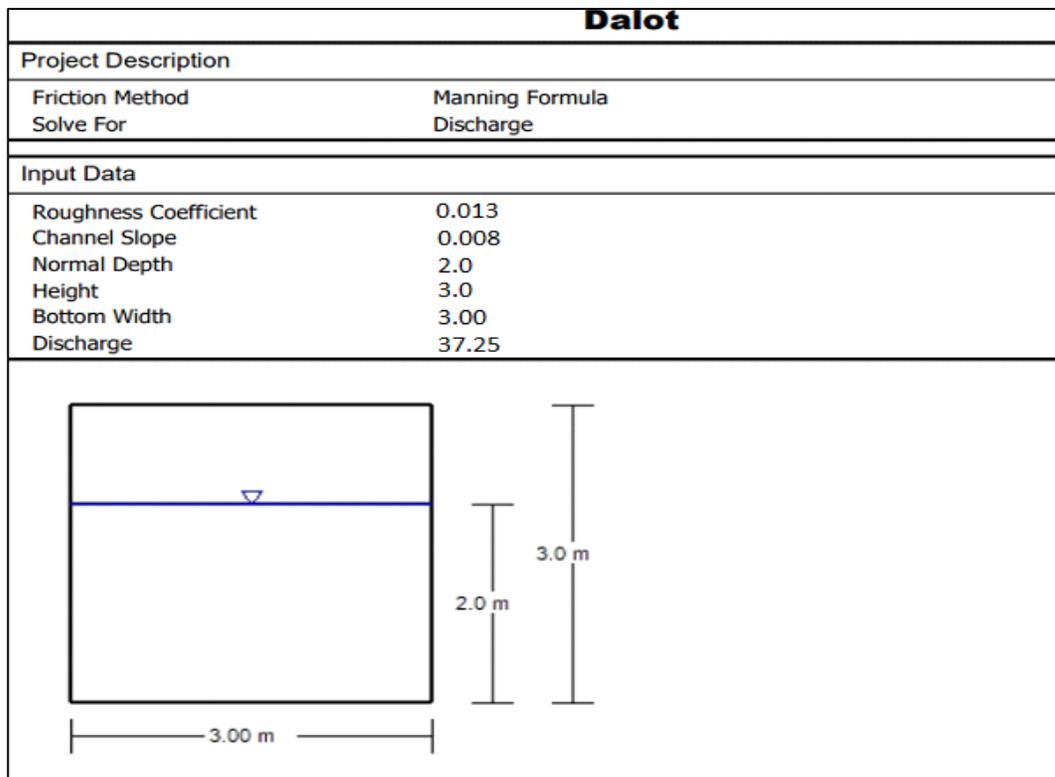
### Les ouvrage de traversé du cours d'eau:

Pour le cours d'eau, on propose le dimensionnement suivant, qui est basé sur les résultats obtenus par le logiciel FLOW MASTER (voir la figure 16) :

- La pente du projet : 0.008
- La profondeur normale : 2 m
- Nombre des dalots (3×3×1.5) : 3
- Débit véhiculé : 111.75 m<sup>3</sup>/s

**Tableau V.18:** Résultats de calcul du nombre des dalots nécessaires

Nombre de dalot	Section (m <sup>2</sup> )	Débit (m <sup>3</sup> /s)
1	9	37.25
2	18	74.5
<b>3</b>	<b>27</b>	<b>111.75</b>



**Figure V.16** : Débit transporté par un seul dalot (données obtenues grâce à FLOW MASTER)

### V.6.Recommandation :

Dans ce cadre, la construction d'un bassin de rétention en aval de la ville constitue une solution pertinente, car elle est essentielle pour prévenir les inondations en régulant efficacement les débits des rivières. En stockant l'eau dans des réservoirs lors de fortes pluies ou de la fonte des neiges, ces barrages diminuent considérablement le risque de crues soudaines en aval. Cette capacité à contrôler les débits permet une gestion sécurisée et prévisible des flux d'eau, protégeant ainsi les zones riveraines des dommages causés par les inondations. De plus, en relâchant l'eau de manière maîtrisée durant les périodes de sécheresse, les barrages de rétention contribuent à maintenir des niveaux d'eau stables dans les cours d'eau. En résumé, ces infrastructures jouent un rôle essentiel dans la gestion intégrée des ressources en eau, offrant une protection efficace contre les inondations tout en favorisant une utilisation durable des ressources hydriques.

## **Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons exploré en détail trois alternatives pour l'aménagement d'un canal : le canal en béton armé, le canal en gabion et le canal en enrochement. Chaque option a été évaluée selon des critères hydrauliques, techniques, environnementaux et économiques, afin de déterminer la solution la plus appropriée pour notre projet.

Nous avons mené une étude hydraulique en utilisant le logiciel Flowmaster pour effectuer les calculs et, en intégrant également HEC-RAS pour la simulation d'écoulement. Ces analyses nous ont permis d'évaluer et de comparer les performances hydrauliques des trois options après leur aménagement. Les résultats obtenus ont clairement montré que le canal en béton armé présente des avantages significatifs grâce à ses excellentes capacités de gestion des écoulements et sa durabilité, tout en offrant une bonne capacité de débit. De plus, cette option s'est révélée être la plus avantageuse sur les plans environnemental et économique, avec des coûts initiaux raisonnables et des besoins d'entretien limités.

Le canal en gabion, bien qu'efficace et offrant une certaine perméabilité favorisant l'infiltration naturelle, engendre des coûts intermédiaires et requiert un entretien plus régulier pour préserver l'intégrité des structures. Et pour l'enrochement, en raison de son coût élevé et de sa perméabilité, n'est pas une option privilégiée.

En complément de ces différentes solutions d'aménagement du canal, nous avons également suggéré l'installation des dalots pour les ouvrages de franchissement, assurant ainsi une continuité hydraulique efficace et sécurisée dans les zones de passage.

En conclusion, l'analyse des différentes options a révélé que le canal en béton armé constitue la solution la plus équilibrée et adaptée à notre projet, répondant de manière optimale aux exigences techniques, hydrauliques, environnementales et économiques. Cette approche intégrée et détaillée garantit une gestion durable et efficace du cours d'eau tout en maintenant une bonne capacité de débit .

# **Chapitre VI : Etude génie civil.**

## Introduction

Dans le domaine du génie civil, il est essentiel d'assurer une grande précision dans les calculs et le dimensionnement des structures. Les problèmes d'interaction entre différents systèmes de protection physique sont particulièrement notables en génie civil et peuvent entraîner des dommages considérables lors d'un séisme. Parmi ces interactions, on peut mentionner:

- **L'interaction fluide-structure, qui se produit entre un fluide et une structure :** Les forces aérodynamiques ( $F_a$ ), résultant de la pression, agissent sur la surface mouillée ( $S_m$ ) d'un solide ( $SS$ ), lequel peut se déplacer ou se déformer sous l'effet du fluide ( $FF$ ), défini par son champ de vitesse et de pression. Ce couplage entre les deux milieux engendre un cycle d'interactions. Le mouvement ou la déformation du solide modifie le champ d'écoulement, ce qui impacte la direction et l'intensité des charges aérodynamiques. La nature de cette interaction peut varier selon les systèmes, et il est parfois possible de se concentrer uniquement sur l'influence du fluide sur le solide (ou inversement). La variation d'un seul paramètre, qu'il s'agisse de  $F_a$ ,  $FF$ ,  $S_m$  ou  $SS$ , peut entraîner une instabilité.
- **Interaction entre la structure et le sol :** De nos jours, on utilise le terme d'interaction sol-structure pour désigner les situations où il est impossible d'évaluer avec précision le comportement d'une structure sans prendre en compte celui du sol qui la supporte et de leur interface. L'objectif d'une analyse intégrant cette interaction, du point de vue de la structure, est d'évaluer l'influence des actions du sol sur celle-ci, en particulier les pressions de contact en fonction des déformations de la structure, afin de réaliser les vérifications nécessaires à son dimensionnement. Il est donc essentiel de garantir que les prévisions concernant le comportement du sol soient en adéquation avec la réponse de la structure, notamment en ce qui concerne les déformations.
  - Interaction simultanée des trois éléments : fluide-structure-sol ; les champs de température et de contrainte interagissent au sein d'un même système.

### VI.1 action et sollicitation:

- Dans le domaine du génie civil, les notions d'action et de sollicitation sont essentielles pour la conception et le dimensionnement des structures. Ces notions assurent que les structures peuvent supporter les diverses forces et contraintes auxquelles elles seront exposées pendant leur utilisation.

## VI.1.1 Actions:

- Les actions, souvent désignées sous le terme de charges ou forces, représentent les influences extérieures qui exercent une pression ou une force sur une structure. Elles se divisent en plusieurs catégories :

- **Les Charges Permanentes** : Également connues sous le nom de charges fixes, les charges permanentes (notées G) sont des charges qui demeurent constantes et ne varient pas au fil du temps. Elles proviennent principalement du poids des matériaux et des éléments structurels permanents, par exemple :

**Poids des structures** : Cela inclut le poids des poutres, des colonnes, des murs, des planchers, etc.

**Matériaux de construction** : Cela concerne le poids des matériaux de finition, tels que les revêtements de sol, les cloisons non amovibles et les revêtements de toiture.

**Équipements fixes** : Cela englobe les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation (HVAC), ainsi que les ascenseurs et les escaliers mécaniques.

- **Les Charges temporaires** : Également appelées charges variables (notées Q), ces charges peuvent fluctuer en intensité, en position et dans le temps. Elles comprennent les charges d'utilisation et les charges climatiques, par exemple :

**Charges d'exploitation** : Charges résultant de l'occupation humaine (personnes), des meubles, des véhicules dans les parkings et des équipements mobiles.

**Charges climatiques** : Cela inclut la neige, le vent, la pluie et les variations de température.

**Charges de construction** : Charges temporaires engendrées lors de la construction ou de la rénovation d'un bâtiment, telles que les échafaudages, les équipements de chantier et les matériaux stockés temporairement.

- **Les Charges Accidentelles** : Les charges accidentelles (notées A) désignent des charges imprévues, généralement de courte durée, qui découlent d'événements exceptionnels ou accidentels. Parmi ces événements, on peut citer :

**Séismes** : Forces engendrées par les mouvements sismiques.

**Impacts** : Chocs causés par des collisions, tels que ceux impliquant des véhicules ou des objets en chute.

**Explosions** : Forces résultant d'explosions, qu'elles soient internes ou externes.

**Incendies** : Charges thermiques et structurelles engendrées par un incendie.

- **Charges Hydrauliques** : Les charges hydrauliques proviennent de la pression exercée par l'eau ou tout autre liquide sur une structure. Leur intensité peut fluctuer en fonction du niveau d'eau et de la dynamique des fluides concernés.

**Pression hydrostatique** : Il s'agit de la pression exercée par l'eau au repos, comme celle qui s'exerce contre les parois d'un réservoir, d'un barrage ou des fondations submergées.

**Pression hydrodynamique** : Cette pression résulte du mouvement de l'eau, par exemple, l'impact des vagues sur une digue ou un quai.

**Inondations** : Ce terme désigne les forces exercées par l'eau lors d'une montée des eaux ou d'une inondation.

**Flottabilité** : Ce sont les forces verticales qu'un liquide exerce sur une structure partiellement ou totalement immergée, qui tendent à la faire flotter.

### VI.1.2 Sollicitations :

Les sollicitations font référence aux efforts (tels que l'effort normal et l'effort tranchant) ainsi qu'aux moments (comme le moment de flexion et le moment de torsion) engendrés par les actions exercées sur les composants d'une construction. En général, ces sollicitations sont déterminées à l'aide d'un modèle élastique linéaire pour la structure. Les méthodes de résistance des matériaux sont appliquées lorsque la configuration des éléments le permet.

$$\gamma_{F3} \left( \gamma_{FG \max} * G_{\max} + \gamma_{FG \min} * G_{\min} + \gamma_{Q1} * Q_1 + \gamma_{FQi} * \sum (\psi_{oi} * Q_i) \right)$$

$\left\{ \begin{array}{l} 1,5 \text{ dans le cas général} \\ \gamma_{Qi} 1,35 \text{ cas de température, charges routières et bâtiments} \\ \text{agricoles à faible densité d'occupation humaine} \\ \psi_{oi}: \text{Coefficient de pondération des valeurs complémentaires} \end{array} \right.$

$\left\{ \begin{array}{l} 0,77 \text{ neige} \\ \text{vent}; 0,6 \text{ variations uniformes de la température.} \end{array} \right.$

## **VI.2. Caractéristiques mécaniques des matériaux :**

Les matériaux choisis pour la construction seront sélectionnés en conformité avec les normes techniques de conception et de calcul des structures en béton armé, notamment le CBA 93, le BAEL 91 et le DTR B.C.2.2, ainsi qu'avec le règlement parasismique algérien RPA 99/2003. Pour garantir le confort, les normes D.T.R 3.2 relatives à la thermique et D.T.R 3.1.1 concernant l'acoustique seront mises en œuvre.

### **VI.2.1 Béton**

Le béton est un matériau composite couramment employé dans le secteur de la construction, constitué de trois éléments principaux : le ciment, les granulats (comme le sable, le gravier ou d'autres agrégats) et l'eau. Lorsque le ciment est mélangé avec de l'eau, il subit une réaction chimique de durcissement qui établit une liaison solide entre les granulats. Bien que le béton ait une faible résistance à la traction, il est capable de supporter des charges de compression élevées. Pour pallier cette faiblesse, des barres d'acier, appelées armatures, sont intégrées dans les zones soumises à des efforts de traction. Ce mélange de béton et d'acier est désigné sous le nom de béton armé. Les déformations différées du béton incluent le retrait et le fluage. Le béton est principalement utilisé dans les projets de génie civil en raison de sa grande résistance à la compression et de sa durabilité sans nécessiter d'entretien.

#### **VI.2.1.1 le retrait :**

Le retrait, ou contraction du béton, est un phénomène naturel qui se manifeste par une diminution des dimensions du béton au fil du temps. Ce phénomène résulte principalement de la perte d'eau durant le processus de durcissement, ce qui entraîne une réduction de son volume. Le retrait du béton peut se produire à différentes étapes du durcissement et se divise en plusieurs catégories en fonction des conditions climatiques :

- $1,5 \times 10^{-4}$  pour les zones très humides.
- $2 \times 10^{-4}$  pour les zones humides.
- $3 \times 10^{-4}$  pour les zones tempérées sèches.
- $4 \times 10^{-4}$  pour les zones sèches et chaudes.
- $5 \times 10^{-4}$  pour les zones très sèches.

### VI.2.1.2 Le fluage :

Le fluage désigne une déformation supplémentaire qu'une éprouvette en béton subit progressivement lorsqu'elle est soumise à une charge constante. Les modules d'élasticité instantanée ( $E_{ij}$ ) et différée ( $E_{vj}$ ) peuvent être calculés à l'aide des formules suivantes :

Deux modules de déformation sont définis selon les normes BAEL91 :

- **Le module de déformation différée :**

Pour les charges de longue durée d'application, il est donné par :

$$E_{vj} = 3700 * (f_{c28})^{1/3} \text{ (module d'élasticité différée)}$$

- **Le module de déformation instantanée :**

Pour les charges d'une durée d'application inférieure à 24h , il est donné par :

$$E_{ij} = 1100 * (f_{c28})^{1/3} \text{ (module d'élasticité instantanée)}$$

Par exemple, pour une résistance du béton  $f_{c28}$  de 25 MPa :

- $E_{ij} = 32164,2 \text{ MPa}$
- $E_{vj} = 10818,9 \text{ MPa}$

### VI.2.2 Les armatures:

Les armatures en acier présentent un comportement comparable tant en traction qu'en compression. Parmi les caractéristiques essentielles des aciers d'armature, on trouve leur résistance très élevée, leur ductilité, leur contrainte élastique et leur module de Young. Les armatures longitudinales ainsi que les éléments principaux en béton armé doivent posséder une adhérence élevée (HA) et une limite élastique  $f_e \leq 500 \text{ MPa}$ .

## VI.3 Contraintes de calcul :

### VI.3.1 Béton :

- **Résistance à la compression ( $f_c$ ) :**

Il s'agit de la résistance maximale du béton face à la compression, exprimée en Mégapascal (MPa). Cette propriété est cruciale pour évaluer la capacité du béton à supporter des charges compressives sans subir de déformations importantes ou de ruptures. La résistance caractéristique à la compression du béton après 28 jours est estimée à ( $f_{c28} = 25$  MPa).

- Pour des résistances  $f_{c28} \leq 40$ MPa :

$$\left\{ \begin{array}{ll} f_{cj} = \frac{j}{4.76 + 0.83j} f_{c28} & \text{si } j < 28 \text{ jours.} \\ f_{cj} = 1,1 f_{c28} & \text{si } j > 28 \text{ jours.} \end{array} \right.$$

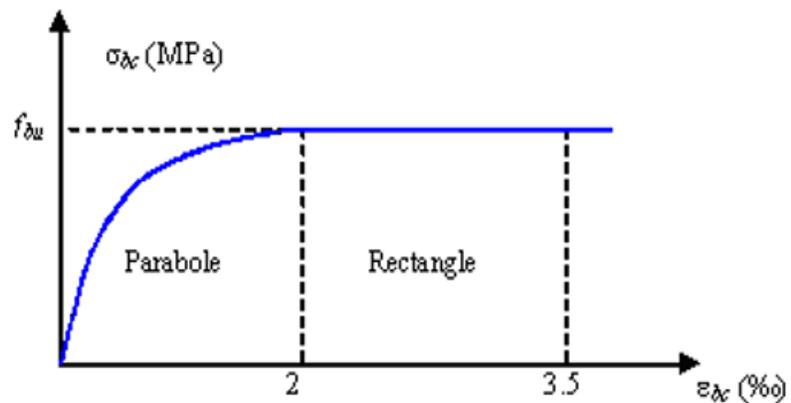
- Pour des résistances  $f_{c28} > 40$ MPa :

$$\left\{ \begin{array}{ll} f_{cj} = \frac{j}{1.40 + 0.95j} f_{c28} & \text{si } j < 28 \text{ jours.} \\ f_{cj} = f_{c28} & \text{si } j > 28 \text{ jours.} \end{array} \right.$$

- **Module d'élasticité (E):** Il s'agit d'une mesure de la rigidité du béton, qui indique sa réaction face aux charges appliquées et à la déformation. Exprimé en MPa, le module d'élasticité est essentiel pour le calcul des déformations élastiques dans les éléments en béton.
- **Contrainte de traction ( $f_t$ ):** Bien que le béton présente une faible résistance à la traction, cette propriété est cruciale pour évaluer sa capacité à supporter les forces de traction, telles que celles générées par les charges de vent ou les variations de température.

-  $\varepsilon_{bc1} = 2 \text{ ‰}$

-  $\varepsilon_{bc2} = \begin{cases} 3,5 \text{ ‰} & \text{si } f_{cj} \leq 40\text{Mpa.} \\ \text{Min } (4,5 ; 0,025f_{cj}) \text{ ‰} & \text{si } f_{cj} > 40\text{Mpa.} \end{cases}$



**Figure VI.1:** Evolution de la résistance du béton à la traction  $f_{tj}$  en fonction de celle à la compression  $f_{cj}$

- **Contrainte limite:**
- **État limite ultime (ELU):**

**Contrainte ultime du béton :** En compression avec flexion (ou induite par la flexion), le diagramme qui peut être utilisé dans tous les cas est le diagramme de calcul dit parabole rectangle. Les déformations du béton sont

**Figure VI.2:** Diagramme parabole-rectangle des Contraintes-Déformations du béton

$f_{bu}$ : Contrainte ultime du béton en compression :

$$f_{bu} = \frac{0.85 f_{cj}}{\theta \gamma_b}$$

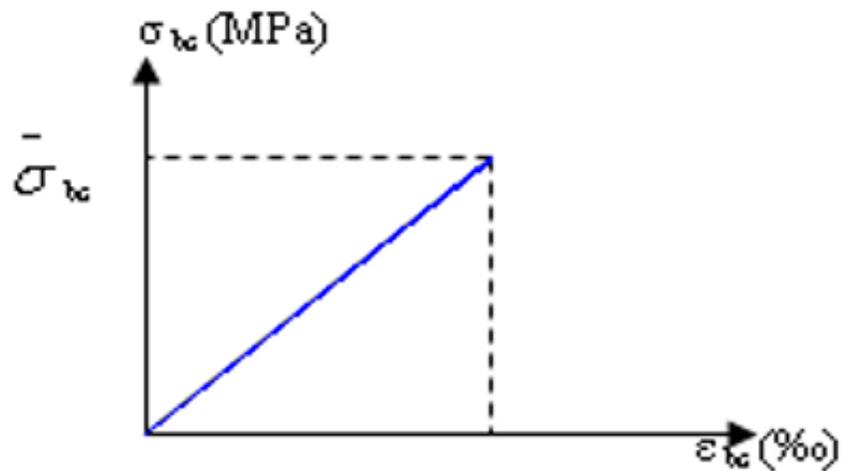
$\gamma_b$ : Coefficient de sécurité du béton, il vaut 1.5 pour les combinaisons normales et 1.15 pour les combinaisons accidentelles.

$\theta$ : coefficient qui dépend de la durée d'application du chargement. Il est fixé à : 1 lorsque la durée probable d'application de la combinaison d'actions considérée est supérieure à 24 h.

**0.9**: Lorsque cette durée est comprise entre 1 h et 24 h.

**0.85**: lorsqu'elle est inférieure à 1 h.

**Etat limite de service (ELS):**



**Figure VI.3:** Diagramme contrainte déformation du béton de calcul à l'ELS

La contrainte limite de service en compression du béton est limitée par :

$$\sigma_{bc} \leq \bar{\sigma}_{bc}$$

Avec:

$$\bar{\sigma}_{bc} = 0.6 f_{c28}.$$

$$\bar{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa}$$

- **Coefficient de sécurité ( $\gamma$ )** : Il constitue un coefficient de sécurité appliqué aux charges de conception afin de prendre en compte les incertitudes liées aux conditions de charge, aux variations des propriétés des matériaux, et d'autres facteurs. Ce coefficient est utilisé pour établir les valeurs limites acceptables des contraintes.

### VI.3.2 Acier :

L'acier est un alliage composé de fer et d'une faible proportion de carbone, dont la fonction est de résister aux efforts de traction, de cisaillement et de torsion.

- **Limite élastique ( $f_y$ )** : Il s'agit de la contrainte maximale que l'acier peut supporter sans subir de déformation permanente. Cette limite est exprimée en Mégapascals (MPa) et détermine la résistance à la traction de l'acier.

- **Module d'élasticité (E)**: À l'instar du béton, le module d'élasticité de l'acier (également en MPa) évalue sa rigidité et sa capacité à résister aux déformations sous l'effet des charges appliquées.

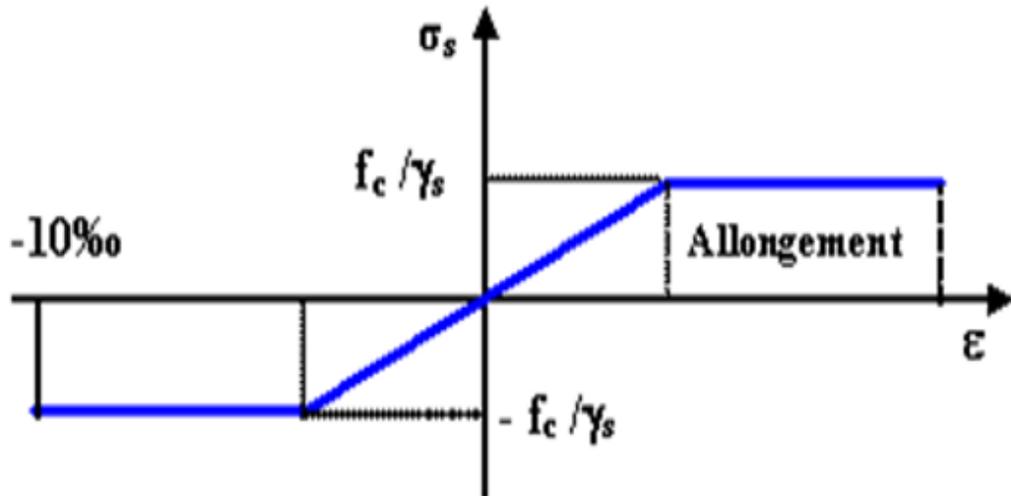
- **Ductilité et résilience** : Ces propriétés sont essentielles pour l'acier en génie civil. La ductilité désigne la capacité de l'acier à se déformer de manière significative avant de se rompre, ce qui est crucial pour absorber l'énergie sismique ou dynamique. La résilience, quant à elle, reflète la capacité de l'acier à absorber et redistribuer l'énergie lorsqu'il est soumis à des charges de choc ou de fatigue.

- **Coefficient de sécurité ( $\gamma$ )**: Comme pour le béton, ce coefficient est appliqué aux charges de conception afin de prendre en compte les incertitudes et les variations des conditions de service.

**Contrainte limite :**

**Etat limite ultime :**

Pour le calcul on utilise le digramme contrainte -déformation de la figure (4).



**Figure VI.4:** diagramme contrainte-déformation d'acier

- $\gamma_s$ : Coefficient de sécurité.
- $\gamma_s = 1$ : cas de situations accidentelles.
- $\gamma_s = 1.15$ : cas de situations durable ou transitoire.

**Etat limite de service :**

On ne limite pas la contrainte de l'acier sauf en état limite d'ouverture des fissures :

- **Fissuration peu nuisible** : pas de limitation.

- Fissuration préjudiciable :  $\sigma_{st} \leq \bar{\sigma}_{st} = \min (2/3 f^e, 110 \sqrt{\eta f_{tj}})$ .
- Fissuration très préjudiciable :  $\sigma_{st} \leq \bar{\sigma}_{bc} = \min (1/2 f^e, 90 \sqrt{\eta f_{tj}})$ .

$\eta$  : Coefficient de fissuration.

$\eta = 1$  pour les ronds lisses (RL).

$\eta = 1.6$  pour les armatures à hautes adhérence (HA).

Avec :

$$\sigma_{st} = f e / \gamma_s$$

## VI.4 Analyse des voiles :

Dans le domaine de la construction, les voiles jouent un rôle essentiel en supportant les charges verticales et en contrant efficacement les forces horizontales grâce à leur grande rigidité. Ils sont fréquemment employés dans les structures en béton armé en raison de leur aptitude à résister aux forces latérales, notamment lors des séismes. Leur solidité et leur rigidité leur permettent de gérer et de réduire les déplacements importants. En absorbant la majorité des contraintes latérales, ils contribuent de manière significative à l'amélioration des performances globales de la structure, ce qui les rend indispensables pour garantir sa sécurité.

### VI.4.1 Fonctionnement d'un voile :

Un voile se comporte comme une poutre fixée à sa base. On distingue deux types de voiles, chacun ayant un mode de fonctionnement spécifique :

- Voile élancée :  $h/l > 1,5$
- Voile courte :  $h/l < 1,5$

De plus, trois modes de rupture permettent de les différencier :

**VI.4.1.1 Défaillance par flexion :** Ce type de défaillance se produit uniquement dans des voiles faiblement renforcés en flexion (avec des armatures verticales), surtout lorsque ces armatures sont dispersées plutôt que concentrées aux extrémités, ce qui peut entraîner la rupture totale des aciers en traction ou leur plasticité.

### VI.4.1.2 Défaillance par flexion associée à l'effort tranchant :

Cette défaillance survient lorsque la flexion (moment M) n'est pas dominante par rapport à l'effet tranchant, ce qui peut provoquer la rupture ou la plasticité des armatures verticales et/ou transversales en flexion.

**VI.4.1.3 Défaillance par compression ou traction du béton :** Les voiles fortement renforcés longitudinalement et transversalement peuvent subir ce type de défaillance, en particulier lorsqu'ils sont soumis à des charges élevées ou normales.

#### **VI.4.2 Conception des voiles et des dalles massives :**

Pour prévenir les types de défaillance évoqués précédemment, la partie verticale du voile doit être dotée d'un nombre suffisant d'armatures verticales, horizontales et transversales. Ces renforts permettent au voile de supporter efficacement toutes les charges qui lui sont appliquées.

#### **VI.4.3 Recommandations selon le RPA99 :**

**Il est nécessaire de respecter certaines conditions établies par le RPA99V2003.**

##### **VI.4.3.1.Ferraillages verticaux (article 7.7.4.1 RPA) :**

Ces armatures sont conçues pour supporter les effets de flexion et doivent être disposées en deux nappes parallèles aux faces des voiles. Les exigences suivantes doivent être respectées :

- Le pourcentage minimum d'armatures dans toute la zone tendue doit être de 20 %.
- Les barres verticales situées aux extrémités doivent être ligaturées par des cadres horizontaux, avec un espacement ne dépassant pas l'épaisseur du voile.
- Les barres du dernier niveau doivent être équipées de crochets à leur partie supérieure, tandis que toutes les autres barres ne nécessitent pas de crochets.
- À chaque extrémité, l'espacement des barres verticales doit être réduit de moitié sur 1/10 de la largeur du voile, et cet espacement ne doit pas excéder 15 cm.

##### **VI.4.3.2.Ferraillages horizontaux (article 7.7.4.2 RPA) :**

Les barres horizontales doivent être dotées de crochets à 135°, d'une longueur de  $10\phi$ .

#### **Règles communes :**

- **Le pourcentage minimal d'armatures  $A_{min}$  :** tant verticales et horizontales, est établi comme suit :

- Pour l'ensemble de la section des voiles : 0,15 %

- En zone courante : 0,10 %

- **L'espacement des barres :** qu'elles soient horizontales ou verticales, ne doit pas dépasser la plus petite des deux valeurs suivantes :

$$St < \min(1,5 a \text{ 30 cm})$$

**-Diamètres des barres:**

$$\emptyset = \frac{a}{10}$$

- $a$ : Épaisseur du voile

**- Longueur de recouvrement:**

- $20\emptyset$  pour les barres situées dans les zones soumises à des efforts de compression résultant de toutes les combinaisons possibles de charges
- $40\emptyset$  pour les barres se trouvant dans les zones où un changement de signe des efforts peut se produire.

Avec :

- $A_v$  cal/face : section d'armature verticale pour une seule face de voile.
- $A_v$  min BAEL : section minimale d'armature verticale requise dans l'ensemble du voile.
- $A_v$  min RPA : section minimale d'armature verticale dans le voile complet.
- $A_v$  adap/face : section d'armature verticale adaptée par face.
- Nbre/face: nombre de barres adaptées par face.
- Nbre/ml : nombre de barres appropriées par mètre linéaire.
- $St$  : espacement entre les barres.
- $A_H$  min : section minimale d'armature horizontale dans le voile complet.
- $A_H$  cal: section d'armature horizontale pour un mètre linéaire.
- $A_H$  adap/ml: adaptation de la section d'armature horizontale pour un mètre linéaire.
- $A_v$  adap/ml : section d'armature utilisée par mètre linéaire.

## VI.5 Etude de stabilité d'un canal :

L'analyse de la stabilité d'un canal trapézoïdal est cruciale en ingénierie hydraulique. Son but est d'assurer la sécurité du canal tout en permettant un transport efficace du débit d'eau, sans risque d'érosion excessive ni de débordement. La stabilité de ce type de canal dépend de divers facteurs, tels que sa forme, le matériau de son revêtement, la vitesse de l'eau et les conditions environnementales. Dans votre situation, la stabilité du canal a été examinée à l'aide de deux approches : la méthode traditionnelle et celle proposée par l'Eurocode 7.

### VI.5.1 Calcul des forces:

- **Les forces motrices :** Poussée des terres, les forces extérieures (surcharges), la force de l'eau.
- **Les forces résistantes :** Poids du canal, poids du terrain mort.

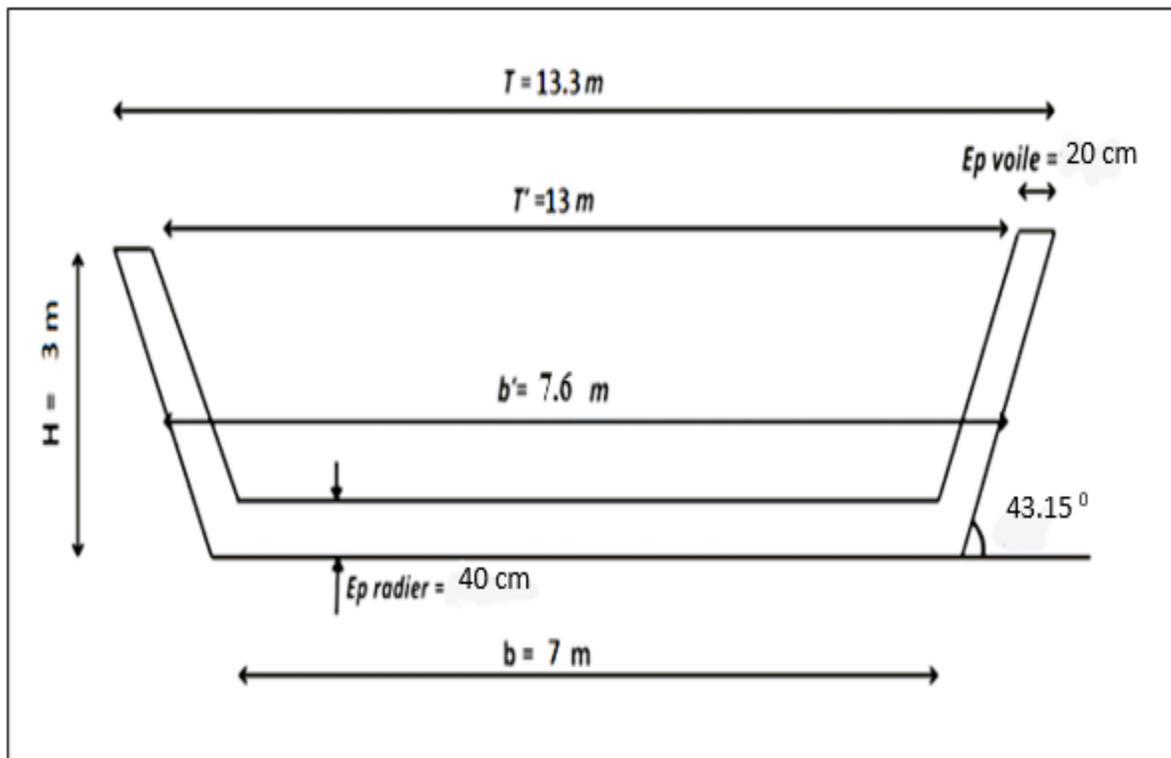


Figure VI.6 : La géométrie du canal.

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

**Tableau VI.1 : Caractéristiques mécaniques.**

Notation	Désignation	Valeur
Poids des terres	$\gamma_t$	20 KN/m <sup>3</sup>
La cohésion	C	0
L'angle de frottement	$\varphi$	30°
La surcharge	S	10 KN/m <sup>3</sup>
Poids du béton	$\gamma_b$	25 KN/m <sup>3</sup>
Poids de l'eau	$\gamma_w$	10 KN/m <sup>3</sup>

• **Déterminations des charges qui agissent sur le canal :**

▪  $P_{\text{radier}} = \gamma_b \times S_{\text{radier}} \times 1$  (VI.1)

▪  $P_{\text{voile}} = \gamma_b \times S_{\text{voile}} \times 1$  (VI.2)

▪  $g_{\text{eau}} = \gamma_w \times h_e$  (VI.3)

▪  $P_{\text{eau1}} = \gamma_w \times V_{\text{eau}}$  (VI.4)

▪  $P_{\text{eau2}} = \frac{1}{2} \times \gamma_w \times l_1^2$  (VI.5)

▪  $P_{\text{terre}} = \frac{1}{2} \times \gamma_t \times Ka \times l_2^2$  (VI.6)

▪  $P_{\text{tx}} = P_t \times \sin(\alpha)$  (VI.7)

▪  $P_{\text{ty}} = P_t \times \cos(\alpha)$  (VI.8)

▪  $P_{\text{ex2}} = P_{e2} \times \sin(\alpha)$  (VI.9)

▪  $P_{\text{ey2}} = P_{e2} \times \cos(\alpha)$  (VI.10)

$$\bullet F_h = S \times Ka \times H \quad (VI.11)$$

Avec:

$$\bullet S_{\text{radier}} = \frac{b'+b}{2} \times ep_{\text{radier}} \quad (VI.12)$$

$$\bullet S_{\text{voile}} = l_1 \times ep_{\text{voile}} \quad (VI.13)$$

$$\bullet h_{\text{eau}} = H - ep_{\text{radier}} \quad (VI.14)$$

$$\bullet l_1 = \sqrt{h_{\text{eau}}^2 + \left(\frac{h_{\text{eau}}}{\text{tang}(\alpha)}\right)^2} \quad (VI.15)$$

$$\bullet l_2 = \sqrt{H^2 + \left(\frac{H}{\text{tang}(\alpha)}\right)^2} \quad (VI.16)$$

$$\bullet Ka = \text{tang}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (VI.17)$$

Le tableau ci-dessous présente les résultats des calculs :

**Tableau VI.2** Résultat des calcul les charges et les surcharges.

Notation	Unités	Valeur
Hauteur d'eau	m	2.600
Longueur de corde interne $l_1$	m	3.8
Longueur de corde externe $l_2$	m	4.380
Ka	/	0,33
Poids radié	KN	73
Poids voile	KN	19
Peau 1	KN	267.8
Peau 2	KN	72.2
Poids des terres	KN	63.30
Poids des terres projection / à l'axe X	KN	43.29
Poids des terres projection / à l'axe Y	KN	46.18
Pe2x / à l'axe X droite	KN	49.37
Pe2y / à l'axe Y droite	KN	52.67
Pe2x / à l'axe X gauche	KN	49.37
Pe2y / à l'axe Y gauche	KN	52.67
Fh due à la surcharge	KN	9.990

- **Déterminations du Moment renversant/o :**

**A'P'E.L.S :**

$$M_{\text{renELS}/0} = F_h \times 1,5 + P_{tx} \times y_1 + P_{ty} \times (x_1 + 7) + Pe_{2x \text{ gauche}} \times (y_2 + 0,4) + P_{\text{voile}}(x' + 0,1) + Pe_{2y \text{ gauche}} \times (x_2 + 0,4)$$

Avec :

$$X_1 = (1/3) \times l_2 \times \cos(43.15) = 0,333 \times l_2 \times \cos(43.15) = 1.065 \text{ m et } Y_1 = 0,333 \times l_2 \times \sin(43.15) = 0.998 \text{ m}$$

$$X_2 = 0,333 \times l_1 \times \cos(43.15) = 0.91 \text{ m et } Y_2 = 0,333 \times l_1 \times \sin(43.15) = 0.857 \text{ m}$$

$$X' = \left(\frac{l_1}{2}\right) \times \cos(43.15) = 1,9 \times \cos(43.15) = 1,38 \text{ m}$$

$$M_{\text{renELS}/0} = 592.79 \text{ KN.m}$$

**A'P'E.L.U :**

$$M_{\text{renELU}/0} = 1,35 \times (P_{\text{voile}}(x'+0,1) + P_{ty} \times (x_1 + 7) + P_{tx} \times (y_1)) + 1,5 \times ((y_2+0,4) Pe_{2x \text{ gauche}} + F_h \times 1,5 + Pe_{2y \text{ gauche}} \times (x_2+0,4))$$

$$M_{\text{renELU}/0} = 818.106 \text{ KN.m}$$

- **Déterminations du Moment stabilisateur/o :**

**A'P'E.L.S :**

$$M_{\text{stabilELS}} = Pe_{2x \text{ droite}} \times (y_2 + 0.4) + Pe_{2y \text{ droite}} \times (x_2 + 7.6) + Pr_{\text{adier}}(7 \times 0,5) + Pe_1(7 \times 0,5) + P_{tx} \times y_1 + P_{ty} \times x_1 + P_{\text{voile}}(x' + 0,1 + 7)$$

$$M_{\text{stabilELS}} = 1953.78 \text{ KN.m}$$

**A'P'E.L.U :**

$$M_{\text{stabilELU}} = 1,35 \times (Pr_{\text{adier}}(7 \times 0,5) + P_{tx} \times y_1 + P_{ty} \times x_1 + P_{\text{voile}}(x' + 0.1 + 7)) + 1,5 (Pe_{2x \text{ droite}} \times (y_2+0.4) + Pe_{2y \text{ droite}} \times (x_2+7.6) + Pe_1(7 \times 0,5))$$

$$M_{\text{stabilELU}} = 2854.32 \text{ KN.m}$$

Le tableau suivant représente le calcul des moments stabilisateurs et des moments de renversement calculé à l'ELU et l'ELS :

**Tableau VI.3 :** Les résultats des moments calculés à l'ELU et l'ELS

<b>L'ELS</b>	Moment stabilisatrice	1953.78 KN.m
	Moment de renversement	592.79 KN.m
<b>L'ELU</b>	Moment stabilisatrice	2854.32 KN.m
	Moment de renversement	818.106 KN.m

### VI.5.2.la stabilité au renversement :

La vérification de la stabilité de notre canal trapézoïdale a été réalisée selon méthodes, la la méthode classique

**a) Vérification de la stabilité au renversement par la méthode classique :**

On doit satisfaire la condition suivante :

$$\frac{\sum \text{Moments stabilisatrices}}{\sum \text{Moments déstabilisatrices}} \geq_{FR} 1.5$$

- **Le moment stabilisant à l'ELS :**

$$M_{stabilELS} / 0 = 1953.78 \text{ KN.m}$$

- **Moment déstabilisant à l'ELS :**

$$M_{renvELS} / 0 = 592.79 \text{ KN.m}$$

$$\frac{M_{stabilELS} / 0}{M_{renvELS} / 0} = 3.29 > 1.5 \Rightarrow \text{D'où la stabilité du canal est}$$

vérifiée contre le renversement.

### VI.5.3. La stabilité au glissement :

- **Vérification de la stabilité au glissement par la méthode classique :**

On doit satisfaire la condition suivante :

$$\frac{\sum f \text{ stabilisatrices}(\text{verticale } T)}{\sum \text{forces déstabilisatrices}(\text{horizontales} = Rh)} > 1.2$$

$$F_y = P_{ey2} \text{ droite} + P_{ey2} \text{ gauche} - 2 \times P_{ty} + P_{e1} + P_{raider} + 2 \times P_{voile}$$

$$F_y = 357.54 \text{ KN}$$

$$R_h = F_h + P_{ex2} \text{ droite} + P_{ex2} \text{ gauche} = 108.73 \text{ KN}$$

$3.28 > 1.2$  D'où la stabilité au glissement est vérifiée.

### VI.5.4. La stabilité au poinçonnement :

La stabilité de notre canal trapézoïdal face au poinçonnement a été vérifiée selon la méthode classique, On doit satisfaire la condition suivante :

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{100 \times B} \left( 1 \pm \frac{6e}{B} \right) \quad (\text{VI.19})$$

Avec  $e = \frac{MG}{N}$  et la largeur du canal en bas.

Et la contrainte admissible du sol est prise égale à  $\sigma_{sol} = 200 \text{ KPa}$ . Car :

Lorsque l'argile est mélangée à du gravier, la contrainte admissible pourrait se situer dans une fourchette intermédiaire, probablement entre 0,2 et 0,35 MPa (2 à 3,5 bars), selon la proportion de gravier et la consistance de l'argile

- **Déterminations des efforts résultants au centre de gravités de la base de la fondation**

A l'ELS :

$$N/G = P_{ey2} \text{ droite} + P_{ey2} \text{ gauche} - 2 \times P_{ty} + P_{e1} + P_{raider} + 2 \times P_{voile} = 389.785 \text{ KN.}$$

$M/G = 0 \text{ KN.m}$  car les moments s'équilibrent par symétrie

$$e = \frac{0}{389.785} = 0 \text{ m}$$

D'où :

$$\sigma_1 = \frac{N}{100 \times B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right) = \frac{389.785}{1 \times 7} \left(1 + \frac{6 \times 0}{7}\right) = 55.67 \text{ KPa.}$$

$$\sigma_2 = \frac{N}{100 \times B} \left(1 - \frac{6e}{B}\right) = \frac{389.785}{1 \times 7} \left(1 - \frac{6 \times 0}{7}\right) = 55.67 \text{ KPa.}$$

Alors que :  $\sigma_{moy} = \frac{3\sigma_1 + \sigma_2}{4} = \frac{3 \times 55.67 + 55.67}{4} = 55.67 \text{ KPa} < 1,5 \times \sigma_{sol} = 300 \text{ KPa.}$

À l'ELU :

$$N_{/G} = 1,35 \times (P_{raider} + 2 \times P_{voile} - 2 \times P_{ty}) + 1,5 \times (P_{ey2 \text{ droite}} + P_{ey2 \text{ gauche}} + P_{e1}) = 597.24 \text{ KN}$$

$M_{/G} = 0 \text{ KN.m}$  car les moments s'équilibrent par symétrie

$$e = \frac{0}{584.777} = 0 \text{ m.}$$

D'où :

$$\sigma_1 = \frac{N}{100 \times B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right) = \frac{597.24}{1 \times 7} \left(1 + \frac{6 \times 0}{7}\right) = 85.32 \text{ KPa.}$$

$$\sigma_2 = \frac{N}{100 \times B} \left(1 - \frac{6e}{B}\right) = \frac{597.24}{1 \times 7} \left(1 - \frac{6 \times 0}{7}\right) = 85.32 \text{ KPa.}$$

Alors que :

$$\sigma_{moy} = \frac{3\sigma_1 + \sigma_2}{4} = \frac{3 \times 85.32 + 85.32}{4} = 85.32 \text{ KPa} < 1,5 \times \sigma_{sol} = 300 \text{ KPa.}$$

Donc la stabilité au poinçonnement est vérifiée selon les deux états limites .

## VI.6. Le ferrailage du canal :

Le ferrailage, également appelé armature, consiste en un ensemble de barres, treillis ou cadres en acier intégrés dans le béton avant son coulage. Ces armatures ont pour but d'absorber les efforts de traction, de compression et de cisaillement que le béton ne peut pas gérer efficacement seul.

### VI.6.1 Rôle du ferrailage:

- **Résistance à la Traction** : Bien que le béton soit résistant à la compression, il est peu performant en traction. Le ferrailage renforce la capacité du béton à résister aux forces de traction.
- **Prévention des Fissures** : Les armatures contribuent à répartir les contraintes, ce qui diminue le risque de fissuration du béton.
- **Stabilité Structurale** : Elles renforcent la stabilité et la durabilité du canal, en particulier dans des conditions d'utilisation intensive ou dans des environnements soumis à des variations climatiques ou géologiques.
- **Distribution des Charges** : Le ferrailage permet une répartition uniforme des charges sur l'ensemble de la structure, ce qui améliore la performance et la sécurité du canal.

### VI.6.2 Ferrailage des voiles :

Déterminations du moment à l'encastrement à vide (sans prise en compte de l'eau) :

À l'ELU :

$$M_{\text{encastrement}} = 1,35 \left( Pt \times \frac{l_1}{3} \right) + 1,5 \times Fh \times \left( \frac{H-ep}{2} \right) = 93.5 \text{ KN.m}$$

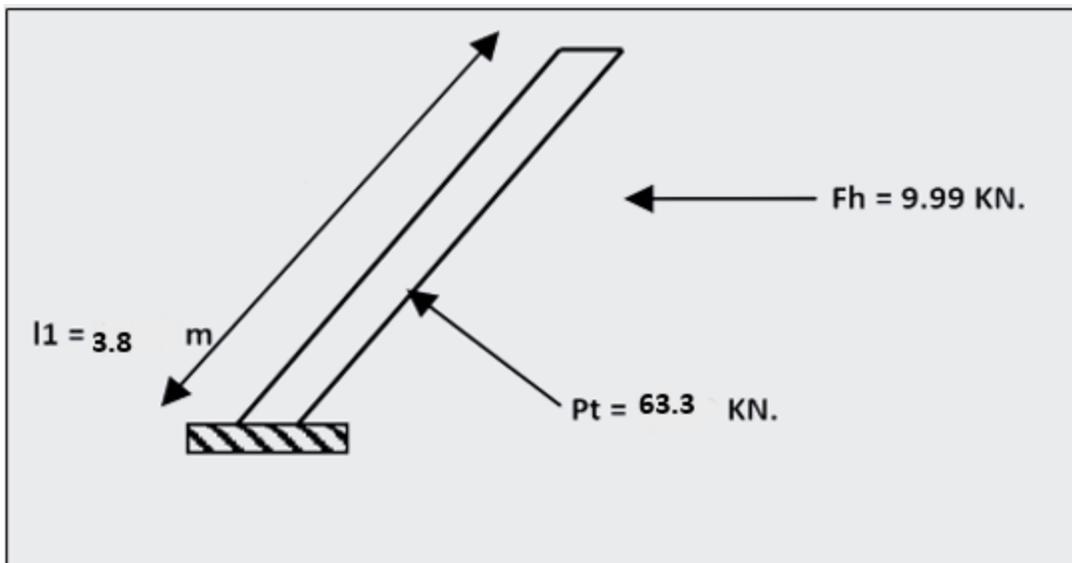
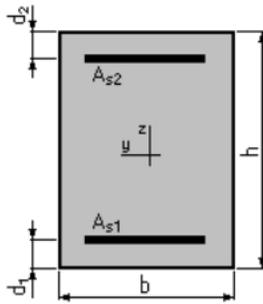


Figure VI.7 : Schéma de coupe longitudinale du voile sans prise en compte de l'eau.

On prend une bande de 1m.



- $b = 100.0$  (cm)
- $h = 20.0$  (cm)
- $d1 = 3.0$  (cm)
- $d2 = 3.0$  (cm)

$$M_e = 93.5 \text{ KN.m} = 9.35 \text{ t.m}$$

$$\sigma_{bc} = \frac{0,85 \times f_{c28}}{\gamma_b} \text{ Alors } \sigma_{bc} = 14.2 \text{ MPa.}$$

$$\mu = \frac{M_e}{b \times d^2 \times \sigma_{bc}} \text{ Alors } \mu = 0.422 > \mu_l = 0.391 \text{ Asc} \neq 0 \text{ pivot B Il y a d'acier comprimé}$$

$$A_s = \frac{M_u}{\beta \times d \times \sigma_s} = \frac{M_u}{0.756 \times 17 \times 3478.26} = 17.9 \text{ cm}^2 \text{ Alors on 6T20 es=15cm}$$

$$A_s = 18.85 \text{ cm}^2 \text{ } A_{\text{rep}} = 18.85/4 = 4.71 \text{ cm}^2 \text{ on choisit 6T12}$$

### VII.6.3 Radier :

On désigne par "infrastructure" la partie inférieure d'un ouvrage qui repose sur un terrain d'assise, recevant ainsi toutes les charges supportées par la structure. Pour concevoir correctement une fondation, il est essentiel de bien connaître l'état des lieux environnants de la construction à réaliser. Il est également crucial de disposer d'informations aussi précises que possible sur les caractéristiques géotechniques des différentes couches du sol. Celles-ci se composent principalement d'une série d'argiles brunes et graveleuses, superposées à un niveau constitué d'amas de galets ou de blocs roulés, issus du remaniement des grès, poudingues et marnes du Miocène supérieur et du Mio-Pliocène. Les caractéristiques du sol doivent être prises en compte pour sélectionner un radier approprié.

Pour un canal mesurant 7 mètres de large, 3 mètres de haut et 1500 mètres de long, avec une épaisseur de radier de 30 cm, il est crucial de sélectionner un type de radier qui assure à la fois stabilité et durabilité. Le choix retenu est le suivant :

#### VII.6.3.1. Radier en béton armé :

**Utilisation :** Le béton armé est particulièrement recommandé sur un sol argileux, surtout lorsqu'il est associé à des graviers. L'argile peut présenter une instabilité sous certaines conditions (rétraction en période sèche, gonflement en période humide), et le béton armé permet de répartir les charges de manière uniforme tout en offrant une résistance élevée.

**Avantages :** Très durable, il offre une protection optimale contre l'érosion et réduit les risques de fissures dans les sols argileux.

**Inconvénients :** Son coût est élevé et il nécessite des fondations appropriées pour prévenir les mouvements du sol.

#### VII.6.3.2 Ferrailage du radier:

$$\sigma_{\text{moy}} = \frac{3\sigma_1 + \sigma_2}{4} = 51.08 \text{KPa} = 0.5108 \text{bars}$$

$$q_u = \sigma_{\text{moy}} \times 100 = 51.07 \text{ kg/cm}$$

$$M_u = (q_u \times l^2) / 8 = 1931084 \text{kg.cm}$$

$$\mu = \frac{M_u}{b \times d^2 \times \sigma_{bc}} \text{ Alors } \mu = 0.204 < \mu_l = 0.391 \text{ pivot A y'a pas d'acier comprimé}$$

$$A_s = \frac{M_u}{\beta \times d \times \sigma_s} = \frac{1931084}{0.884 \times 37 \times 3478.26} = 16.97 \text{ cm}^2 \text{ Alors on 6T20 es=15cm}$$

$$A_s = 18.85 \text{ cm}^2 \quad A_{rep} = 18.85/4 = 4.71 \text{ cm}^2 \text{ on choisit 6T12}$$

### Conclusion :

Dans ce chapitre, nous allons analyser la stabilité du canal en utilisant la méthode est la technique traditionnelle couramment employée dans le domaine de la géotechnique.. Parallèlement à cette analyse de la stabilité, nous proposerons des solutions pour le ferrailage des voiles et du radier. Ces recommandations visent à assurer que ces éléments structuraux disposent de la résistance et de la durabilité nécessaires pour garantir leur performance et leur bon fonctionnement à long terme.

# **Chapitre VII : Organisation de chantier.**

## **Introduction :**

L'aménagement d'un cours d'eau constitue un projet complexe nécessitant une planification minutieuse et une organisation rigoureuse pour garantir le succès des travaux. Dans ce chapitre, nous allons explorer les différentes étapes et les méthodes mises en œuvre pour réaliser ce projet ambitieux.

L'objectif principal est de transformer le cours d'eau en un canal en Béton armé. Les canaux en béton se caractérisent par une durabilité exceptionnelle, leur permettant de supporter des conditions climatiques variées et l'usure, tout en offrant une longévité significative et nécessitant peu d'entretien. Grâce à leur faible rugosité et à leur étanchéité, ils assurent une efficacité hydraulique optimale en réduisant les pertes d'eau. Par ailleurs, leur adaptabilité et leur flexibilité permettent de les concevoir sous différentes formes et dimensions, tout en étant faciles à réparer. Leur robustesse structurelle garantit une stabilité élevée et une sécurité accrue.

L'organisation du chantier est cruciale pour la réussite des travaux. Cela inclut la planification des différentes phases de construction, la gestion des ressources humaines et matérielles, ainsi que le respect des normes de sécurité et environnementales. Dans ce chapitre, nous analyserons en détail les éléments suivants :

- Mise en place du chantier.
- Organisation et phasage des travaux : présentation des différentes phases, de la préparation du site à l'achèvement des travaux.
- Estimation des coûts de réalisation.
- Durée totale et délais prévus pour l'exécution des travaux.

En structurant de manière efficace l'organisation du chantier, notre objectif est d'optimiser les délais d'exécution, de maîtriser les coûts et d'assurer la qualité des ouvrages réalisés. Ce chapitre exposera les éléments essentiels pour appréhender les défis rencontrés ainsi que les solutions mises en œuvre pour réussir l'aménagement du canal en enrochement.

### **VII.1. Les intervenants présents sur le chantier :**

Les principaux acteurs sur le chantier comprennent le maître d'ouvrage, qui a lancé et financé le projet, le maître d'œuvre, responsable de la conception et de la supervision, ainsi que l'entrepreneur, chargé de l'exécution des travaux.

#### **VII.1.1. Le maître d'ouvrage :**

Le maître d'ouvrage désigne la personne, qu'elle soit physique ou morale, pour le compte de laquelle les travaux sont effectués. Il a pour mission de définir les besoins, d'assurer le financement et de procéder à la réception de l'ouvrage. Son rôle peut être résumé de la manière suivante :

- **Identification des besoins** : Définir les objectifs et les spécifications du projet.
- **Financement** : Garantir les fonds nécessaires à l'exécution des travaux.
- **Sélection des intervenants** : Choisir le maître d'œuvre ainsi que les entrepreneurs.
- **Suivi et contrôle** : Assurer le suivi de l'avancement du projet et prendre les décisions appropriées.
- **Réception de l'ouvrage** : Vérifier la conformité des travaux effectués et accepter le produit final.

### VII.1.2. Le maître d'œuvre :

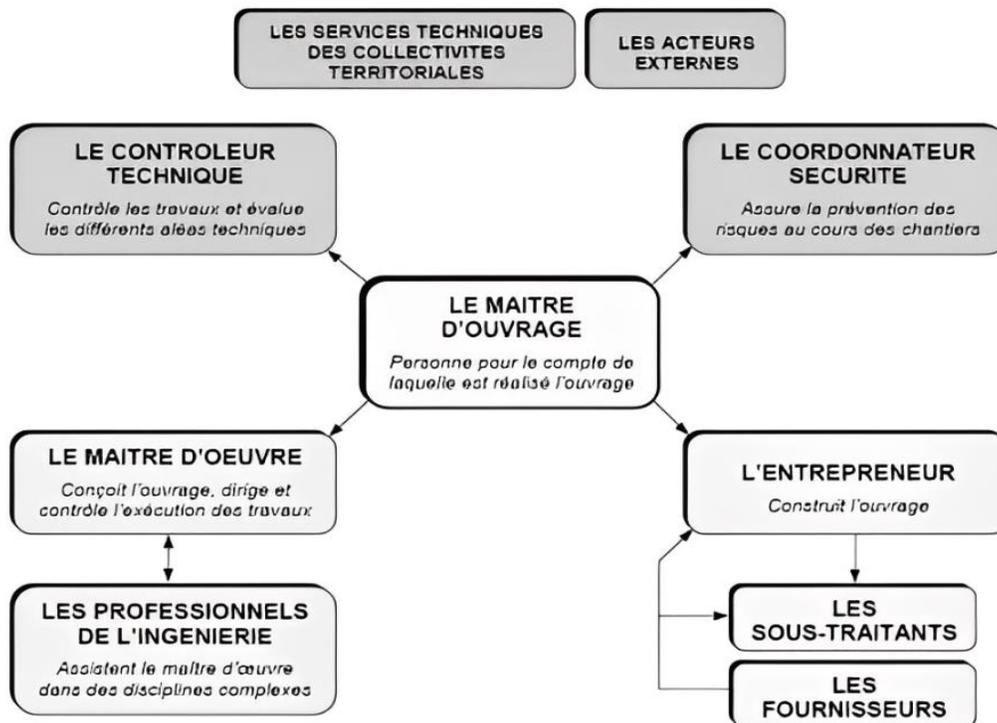
Le maître d'œuvre est la personne physique ou morale désignée par le maître d'ouvrage pour concevoir et diriger les travaux. Sa mission consiste à :

- **Conception** : Développer les plans et les spécifications techniques du projet.
- **Coordination** : Assurer la gestion de la collaboration entre les différents acteurs du projet.
- **Direction des travaux** : Surveiller l'exécution des travaux afin de garantir leur conformité aux plans et aux spécifications.
- **Contrôle technique** : S'assurer de la qualité et de la conformité des travaux effectués.
- **Assistance à la réception** : Accompagner le maître d'ouvrage lors de la réception de l'ouvrage en vérifiant sa conformité et en préparant les documents nécessaires.

### VII.1.3. L'entrepreneur :

L'entrepreneur, qu'il soit une personne physique ou morale, est chargé de réaliser les travaux pour le compte du maître d'ouvrage, sous la supervision du maître d'œuvre. Ses responsabilités incluent :

- **Exécution des travaux** : Effectuer les travaux conformément aux plans et aux spécifications fournies par le maître d'œuvre.
- **Gestion des ressources** : Mobiliser les ressources humaines et matérielles requises pour la réalisation des travaux.
- **Respect des délais** : Garantir que les travaux sont achevés dans les délais prévus.
- **Qualité et sécurité** : Assurer la qualité des travaux tout en respectant les normes de sécurité en vigueur.
- **Rapport et communication** : Maintenir une communication régulière avec le maître d'œuvre et le maître d'ouvrage concernant l'avancement des travaux et les problèmes éventuels rencontrés.



**Figure VII.1 :** Relation entre les personnes du chantier (Ghomari, 2013).

**VII.1.4 L'entreprise :** C'est une entité, qu'elle soit physique ou morale, qui a signé un contrat de travaux avec le maître d'ouvrage et qui a pour mission de :

- Veiller à la qualité des travaux afin de réaliser un ouvrage de premier ordre.
- Gérer les coûts et l'avancement des travaux.
- Mettre en place un planning d'exécution des travaux.
- Respecter les exigences stipulées dans les documents contractuels

## **VII.2 Installation du chantier :**

L'installation du chantier comprend les étapes suivantes :

### **1. Installations pour le personnel :**

Ces installations incluent généralement les dortoirs, vestiaires, réfectoires, sanitaires et bureaux de chantier.

## **2. Installations pour le stockage des matériaux :**

La nature des travaux à réaliser influence également les matériaux nécessaires. Pour notre projet, nous utiliserons les matériaux suivants.

**Remarque :** Il est essentiel de considérer également d'autres matériaux complémentaires lors de l'installation du chantier, tels que les matériaux de remblai, le ciment et l'acier.

## **3. Alimentation en électricité :**

Un groupe électrogène sera mis en place pour fournir l'électricité, rendant ainsi inutile l'utilisation d'un réseau de moyenne tension (SONELGAZ).

## **4. Alimentation en eau potable :**

Un réservoir de stockage sera utilisé pour assurer l'approvisionnement en eau potable, avec un réapprovisionnement quotidien de son volume.

## **5. Alimentation en carburant :**

Les camions-citernes seront responsables de l'approvisionnement en carburant, qui sera stocké dans des réservoirs enterrés dotés d'un système de pompage.

## **6. Installation pour les engins :**

Les engins de chantier doivent être disposés sur un terrain stable, nivelé et clairement signalé afin d'assurer leur sécurité et de faciliter l'accès. Ils doivent être protégés des intempéries et faire l'objet d'un entretien régulier pour garantir leur bon fonctionnement. Un nettoyage fréquent ainsi que des vérifications quotidiennes des niveaux et des conditions sont essentiels pour prévenir les pannes et assurer la sécurité des opérateurs.

## **7. Installations pour la préfabrication :**

Il s'agit généralement de hangars équipés du matériel nécessaire à la fabrication des éléments constitutifs de l'ouvrage, tels que les poutres, les dalots, les dalles, les conduites et les murettes.

### **VII.2.1. Les moyens de chantier :**

Dans le cadre du chantier, les moyens sont présentés comme suit :

#### **VII. 2.1.1. Les ressources humaines :**

Concernant les effectifs nécessaires à la réalisation de l'ouvrage, il est crucial de justifier l'emploi de personnel qualifié pour les études préliminaires et la construction. Il est important de fournir des informations précises sur leurs qualifications, titres et compétences.

#### **VII.2.1.2. Les ressources matérielles :**

Le matériel utilisé est celui couramment employé sur les chantiers de travaux publics.

L'utilisation de machines de grande taille aura un impact significatif sur la réduction des coûts et des délais liés aux travaux de terrassement.

### VII.2.1.3. Les engins utilisés :

Lors de la construction d'un canal en béton armé, divers types d'équipements sont mobilisés pour préparer le site, transporter les matériaux et effectuer les travaux requis. Voici quelques-uns des équipements fréquemment utilisés :

**Tableau VII.1 : Engins utilisés**

<b>Taches</b>	<b>Engins</b>	<b>Actions</b>
<b>Travaux de préparation</b>	Engins	Enlever les obstacles et les Chargeurs herbes
	Dozers	
	Chargeurs	
	Camions	
	Pelles	
<b>Terrassement</b>	Niveleuse	Donner la forme exacte du Dumpers canal
	Dumpers	
	Chargeurs	
	Camions	
	Dozers	
<b>Compactage</b>	Tous types de compacteurs à rouleaux lisses	Consolider les berges del'oued pour éviter l'affaissement
	Compacteurs à pieds de mouton	
<b>Coulage</b>	Bétonneuse	Produire du béton
	Pompe à béton	Couler le béton

### VII.3. Estimation quantitative et budgétaire du projet :

Les montants associés à la variante sélectionnée sont présentés dans le tableau ci-après :

**Tableau VII.2** Estimation de la variante de canal trapézoïdal en béton armé pour le total de l'oued Melah.

Désignations des travaux		Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA/mL)
Terrassement	Déblais	m3	42189	250	10547250
	Remblais	m3	3484	700	2438800
Béton de propreté		m3	1575	8000	12600000
Béton dosé à 350 Kg/m3		m3	4725	32000	151200000
<b>Montant total</b>					<b>176.786.050</b>
<b>Les ouvrages de traversés</b>					
Dalots préfabriqué		3×3×1.5	24	200000	4800000
Béton des talus		m3	40.5	28000	1134000
<b>Montant total pour le projet</b>					<b>182.720.050</b>
<b>Montant total en TVA</b>					<b>217.436.859</b>

### VII.4. Planification du Projet :

La planification d'un projet sur un chantier consiste à chercher constamment les meilleures méthodes pour optimiser l'utilisation de la main-d'œuvre et des ressources, afin d'assurer une exécution efficace des tâches. Les activités suivantes sont incluses dans ce processus :

- **Organisation des postes de travail** : Disposer les espaces de travail de manière optimale pour maximiser l'efficacité et la productivité.
- **Observations en temps réel** : Effectuer des suivis réguliers pour identifier les inefficacités et les opportunités d'amélioration sur le chantier.

- **Analyse des tâches** : Étudier les différentes tâches à accomplir, les diviser en étapes et rechercher les méthodes les plus efficaces pour les réaliser.

- **Chronométrage** : Évaluer le temps nécessaire pour chaque tâche afin de repérer les goulets d'étranglement et optimiser les processus.

- **Définition des objectifs et des responsabilités** : Clarifier les buts du projet et préciser les rôles et missions de chaque membre de l'équipe.

- **Révision et simplification des méthodes** : Optimiser les méthodes de travail pour éliminer les étapes superflues et réduire les temps morts.

- **Maintien de la stabilité des postes de travail** : Assurer des conditions de travail constantes et minimiser les perturbations pour garantir une production régulière et efficace.

#### **VII.4.1. Étapes de Planification :**

La planification des travaux se déroule en plusieurs étapes clés :

- **Collecte des informations** : Réaliser une analyse des données obtenues à travers des études comparatives pour orienter le plan du projet. Cette étape comprend :

- **Identification des exigences** : Déterminer les besoins des parties prenantes et les critères du projet.

- **Études préliminaires** : Mener des recherches et analyses pour obtenir des données pertinentes (études de faisabilité, analyses de risques, etc.).

- **Synthèse des informations** : Regrouper et analyser les données recueillies pour extraire les éléments essentiels à la planification.

- **Décomposition du projet** : Découper le projet en sous-tâches et activités spécifiques pour une gestion efficace, en assignant un responsable à chaque tâche et en identifiant les besoins matériels. Cette étape comprend :

- **Décomposition en tâches** : Fractionner le projet en sous-tâches pour faciliter la gestion.

- **Attribution des responsabilités** : Assigner chaque tâche à un responsable ou une équipe spécifique.

- **Évaluation des ressources** : Identifier les besoins en matériel, main-d'œuvre et temps pour chaque tâche.

- **Relations entre les tâches** : Les tâches peuvent présenter deux types de relations essentielles :

- **Enchaînement logique** : Certaines tâches doivent être complètes avant que d'autres puissent débiter (par exemple, la fondation avant la construction des murs).

- **Enchaînement préférentiel** : Certaines tâches peuvent être réalisées en parallèle ou dans un ordre flexible, selon les préférences ou contraintes du projet (par exemple, peinture intérieure et installation des systèmes électriques si elles ne sont pas incompatibles).

#### VII.4.2. Planning des Travaux :

La planification des travaux est cruciale pour la réussite d'un projet. Voici les différentes configurations de planification :

- **Plan de travail au plus tôt** : Commencer toutes les tâches dès que possible. Ce type de plan est choisi lorsque les ressources sont abondantes et les projets nombreux. Il vise à optimiser l'utilisation des ressources en évitant les interruptions et en accélérant le progrès des travaux.

- **Plan de travail au plus tard** : Débuter les tâches à leur date limite sans dépasser les délais du projet. Ce plan est souvent adopté lorsque les ressources sont limitées, car il minimise l'utilisation des ressources à tout moment, rendant le processus plus économique. Il assure également une gestion efficace des ressources disponibles.

- **Plan de travail intermédiaire** : Commencer les opérations à une date située entre le début le plus tôt et la date limite. Cette approche est choisie lorsque les ressources sont suffisantes et que l'accent est mis sur un seul projet. Elle permet une gestion équilibrée des ressources, évitant les extrêmes de surcharge ou de sous-utilisation, et offre une flexibilité dans la gestion du chantier.

#### VII.5. Techniques de la planification : Il existe deux principales approches de planification

- **Méthodes basées sur le réseau** : Ces approches, telles que la méthode du chemin critique (CPM) et la technique d'évaluation et de revue de programme (PERT), s'appuient sur des réseaux de tâches et d'événements pour modéliser et gérer les projets. Elles se concentrent sur l'identification des séquences critiques de tâches qui influencent la durée totale du projet.

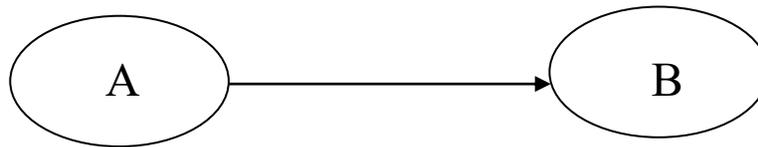
- **Méthodes graphiques** : Ces méthodes, comme le diagramme de Gantt, utilisent des représentations graphiques pour illustrer visuellement les tâches et leur chronologie. Les diagrammes de Gantt sont particulièrement utiles pour suivre l'avancement du projet dans le temps, bien qu'ils fournissent moins d'informations sur les interdépendances entre les tâches par rapport aux méthodes basées sur le réseau.

##### VII.5.1 Méthodes basées sur le réseau :

Le réseau constitue une représentation graphique d'un projet, permettant de mettre en évidence les relations entre les diverses opérations, qu'elles soient séquentielles, parallèles ou convergentes, ainsi que les durées nécessaires à leur réalisation. On peut principalement distinguer deux types de réseaux :

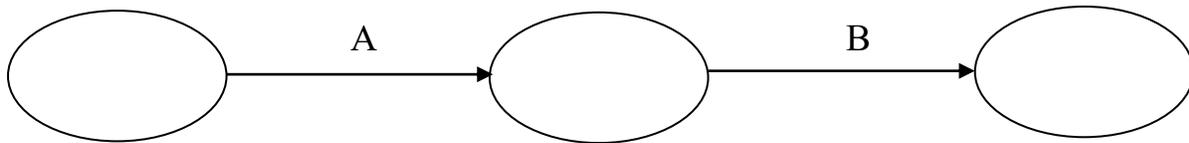
- **Réseau à nœuds** : Dans ce type de réseau, chaque nœud symbolise une opération ou une étape du processus, tandis que les flèches (ou arêtes) illustrent la séquence ou le flux d'informations entre ces opérations. Les flèches peuvent être orientées pour indiquer l'ordre d'exécution des opérations.

Cela facilite la visualisation et la compréhension des interactions entre les différentes étapes d'un processus.



- L'opération (B) ne peut débuter qu'après l'achèvement complet de l'opération (A).

- **Réseau à flèches** : Dans ce type de réseau, chaque opération est illustrée par une flèche, tandis que les nœuds symbolisent l'enchaînement des opérations.



- L'opération A précède l'opération B.

Il convient de souligner que le graphique ne peut être élaboré sans le réseau, qui constitue un outil de calcul essentiel pour obtenir des réponses à des questions précises. Le graphique permet d'interpréter les données issues du réseau et de ses résultats, rendant ainsi ces informations plus claires et accessibles.

### VII.5.2. Construction du réseau :

**Pour concevoir un réseau, il est essentiel de suivre six étapes clés :**

**Création de la liste des tâches** : Cette phase consiste à établir une liste exhaustive de toutes les activités requises pour mener à bien le projet. Chaque tâche doit être décrite de manière précise et inclure des éléments tels que la durée estimée, les ressources nécessaires, les dépendances et les responsabilités associées.

**Identification des tâches préalables** : Après avoir établi la liste des tâches, il est important de déterminer les relations d'interdépendance entre elles. Certaines tâches doivent être achevées avant que d'autres puissent débuter, ce qui permet de définir un ordre logique pour leur réalisation.

- **Élaboration des graphes partiels** : Cette phase consiste à concevoir des graphes partiels, également connus sous le nom de diagrammes de réseau, afin de représenter visuellement les interrelations entre les différentes tâches. Les types de graphes les plus fréquemment utilisés incluent les diagrammes PERT et les diagrammes de Gantt.

- **Consolidation des graphes partiels** : Dans le cas où le projet se divise en plusieurs sous-projets ou domaines de travail distincts, il est possible de regrouper les graphes partiels pour établir un plan global du projet. Cela facilite une meilleure visualisation de la structure générale.

- **Détermination des tâches de début et de fin du projet** : Il est essentiel d'identifier les tâches qui signalent le commencement et la conclusion du projet. La tâche de début est souvent désignée comme "tâche initiale", tandis que celle de fin est appelée "tâche finale". Ces tâches représentent généralement des jalons cruciaux pour le suivi de l'avancement du projet.

### VII.5.3 Différentes méthodes basées sur le réseau :

#### VII.5.3.1 Méthode C.P.M (Critical Path Method) :

Cette méthode vise à diminuer les délais d'exécution d'un projet en suivant trois étapes distinctes

- Première étape** : Déterminer le personnel nécessaire pour accomplir la tâche en question.
- Deuxième étape** : Analyser de manière détaillée le réseau, en précisant les activités heure par heure et jour par jour, selon l'unité de temps choisie.
- Troisième étape** : Ajuster le réseau en fonction des contraintes ou des conditions imposées par l'entreprise (Benlaoukli, 2004).

#### Paramètres de la méthode C.P.M :

Les éléments clés pour la mise en œuvre de cette méthode sont les suivants :

DCP	TR
DFP	DCPP
DFPP	MT

$$\text{Où: DFP} = \text{DCP} + \text{TR}$$

$$\text{DCPP} = \text{DFPP} - \text{TR}$$

**VII.5.3.2 Méthode P.E.R.T (Technique d'Évaluation et de Revue de Programme)** : En d'autres termes, cette méthode permet d'organiser un ensemble de tâches sous forme de réseau, où la séquence et les relations entre ces tâches sont essentielles à l'achèvement d'un produit final.

#### VII.5.3.3. Méthodes graphiques :

**Méthode linéaire (Technique de la ligne d'équilibre)** : Cette approche est particulièrement adaptée à la planification de projets de construction comportant des tâches répétitives, c'est-à-dire lorsque les mêmes activités ou opérations sont effectuées de manière similaire à plusieurs reprises.

Elle s'avère très efficace pour les projets de grande envergure, tels que la construction de bâtiments identiques ou d'infrastructures linéaires comme les routes et les voies ferrées.

**Méthode à barres :** Cette technique implique la création de deux réseaux et d'un diagramme à barres (planning). Elle permet de visualiser les relations entre les tâches et de définir l'ordre dans lequel elles doivent être réalisées. Cela facilite la gestion du projet en offrant une vue d'ensemble des activités et de leur chronologie.

**Sélection de la méthode de calcul :** La méthode de calcul à adopter est principalement déterminée par le type de construction en cours. Dans les cas où les opérations s'effectuent selon une séquence précise, comme c'est le cas ici, il est recommandé de privilégier la méthode PERT (Program Evaluation and Review Technique) (*Benlaoukli, 2004*).

## **VII.6. Méthode de calcul PERT :**

**VII.6.1 Les paramètres de la méthode PERT :** Lors de l'utilisation de la méthode PERT (Program Evaluation and Review Technique), il est crucial de considérer les paramètres suivants :

- **DCP (Date de début au plus tôt) :** C'est la date la plus précoce à laquelle une tâche peut débuter, en tenant compte des dépendances et des contraintes du projet.

- **Tr (Temps de réalisation) :** Il s'agit du temps estimé nécessaire pour compléter une tâche donnée.

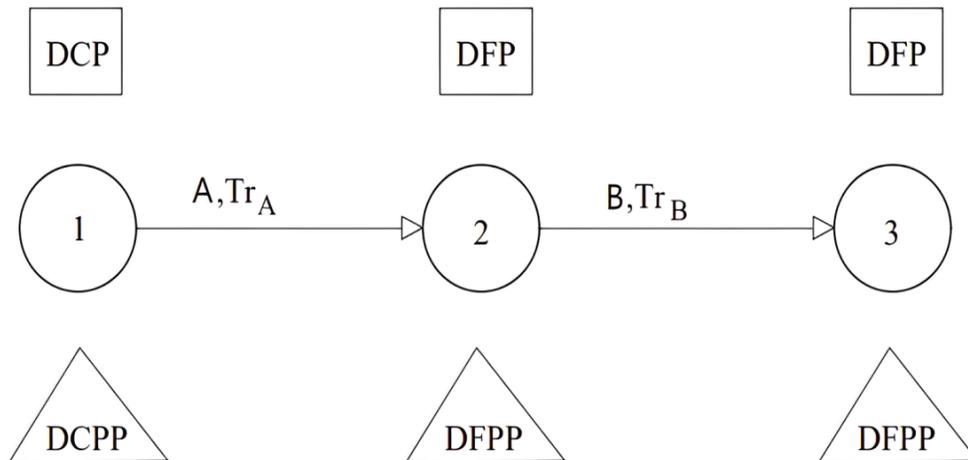
- **DFP (Date de fin au plus tôt) :** C'est la date la plus précoce à laquelle une tâche peut être terminée, en fonction des contraintes du projet.

- **DCPP (Date de début au plus tard) :** C'est la date la plus tardive à laquelle une tâche peut commencer sans compromettre le calendrier global du projet.

- **DFPP (Date de Fin au Plus Tard) :** Il s'agit de la date limite à laquelle une tâche peut être terminée sans perturber le calendrier global du projet.

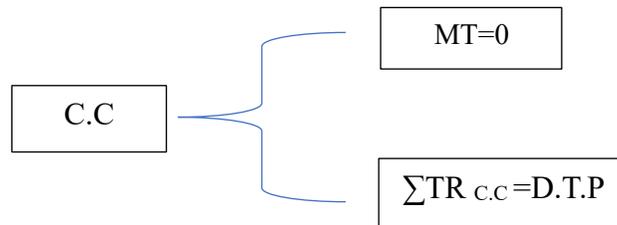
- **MT (Marge Totale) :** La marge totale indique le temps supplémentaire qu'une tâche peut prendre sans impacter le chemin critique du projet. Elle se calcule en soustrayant la date de début au plus tôt (DCP) de la date de début au plus tard (DCPP), ou en soustrayant la date de fin au plus tôt (DFP) de la date de fin au plus tard (DFPP).

$$DFP = DCP + T_r \text{ et } DCP = DFPP - T_r$$



**Figure VII.2 :** Schéma représentatif de la méthode de PERT.

**VII.6.2.Chemin critique (C.C) :** Le chemin critique Pour déterminer un chemin critique, il est nécessaire de s'assurer de deux conditions essentielles :



### VII.7. Diagramme de Gantt :

Le diagramme de Gantt, couramment utilisé en gestion de projet, est un outil particulièrement efficace pour offrir une représentation visuelle de l'avancement des différentes activités ou tâches d'un projet. À gauche du diagramme, une liste de toutes les tâches à réaliser est présentée, tandis que l'en-tête indique les unités de temps les plus pertinentes pour le projet, telles que les jours, les semaines ou les mois. Chaque tâche est représentée par une barre horizontale dont la position et la longueur illustrent la date de début, la durée et la date de fin correspondantes. Ce diagramme permet ainsi de visualiser d'un seul coup d'œil :

- La séquence des tâches et leurs relations d'interdépendance.
- Les dates de début et de fin prévues pour chaque tâche.
- La durée de chaque tâche.
- Les chevauchements ou écarts entre les différentes tâches. L'état d'avancement actuel du projet se mesure en comparant les dates prévues aux dates réelles.

En résumé, le diagramme de Gantt fournit une vue d'ensemble claire de la planification du projet, ce qui simplifie sa gestion et le suivi de son avancement.

La méthode PERT est un outil de planification conçu pour réduire à la fois le temps et les coûts d'exécution d'un projet, tout en optimisant l'efficacité du travail. Pour élaborer le réseau, la première étape consiste à identifier les différentes tâches nécessaires à l'achèvement des travaux et à calculer leur durée d'exécution.

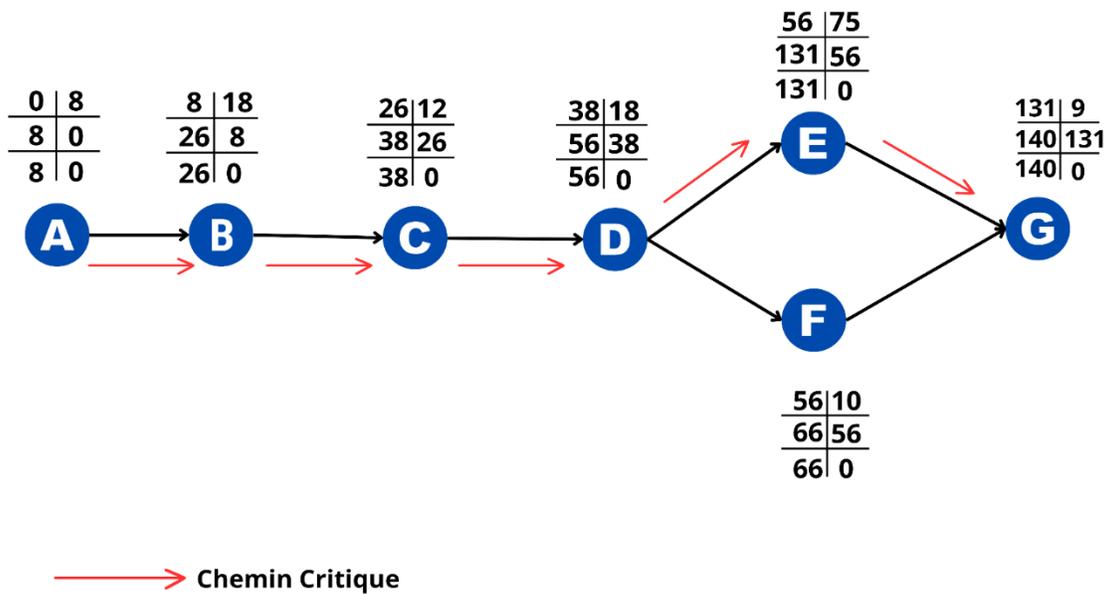
**Tableaux VII.3** Liste des opérations avec leurs durées.

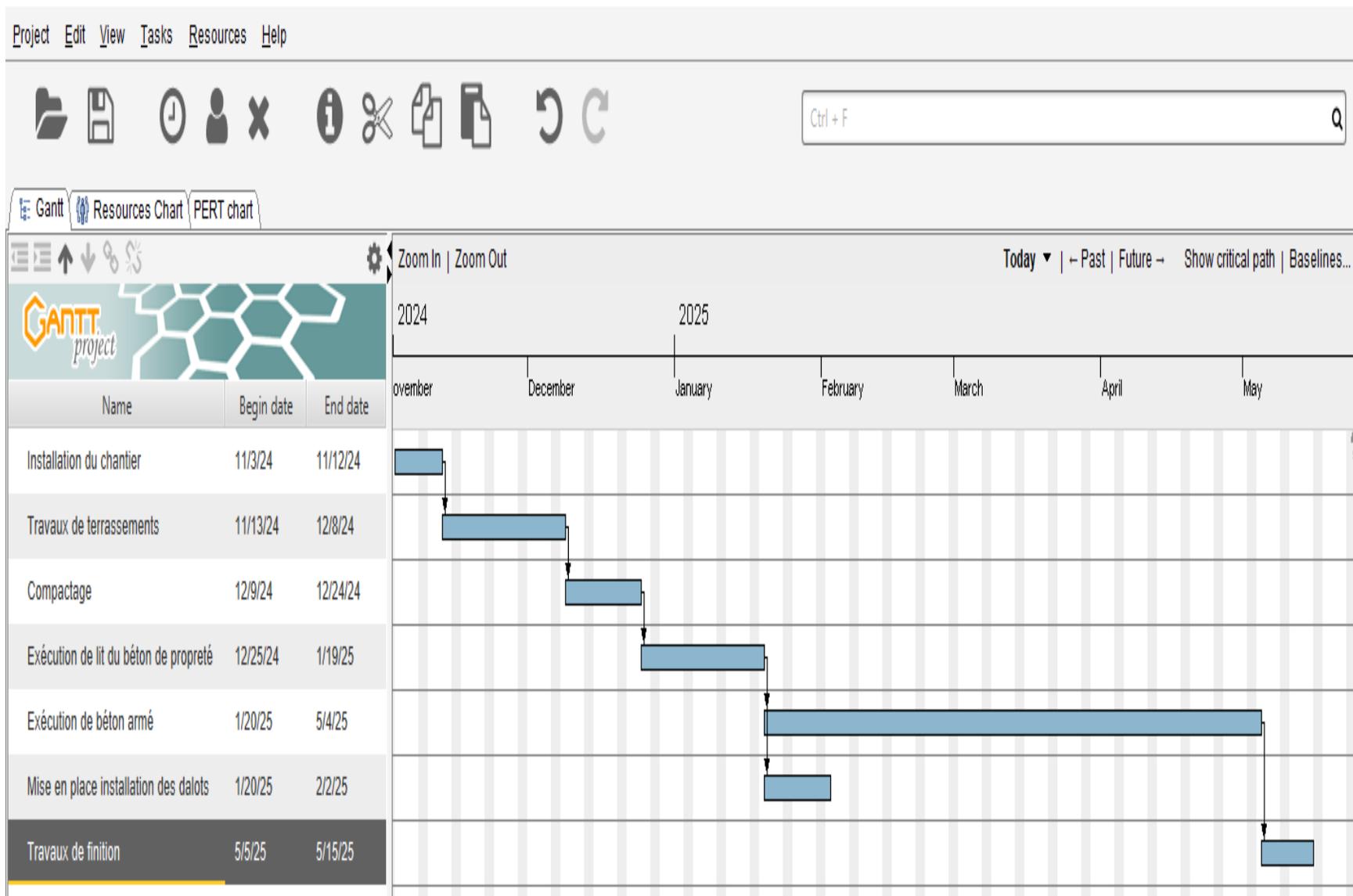
Opération	Code	Temps de réalisation jours
Installation du chantier	A	8
Travaux de terrassements	B	18
Compactage	C	12
Exécution de lit du béton de propreté	D	18
Exécution de béton armé	E	75
Mise en place installation des dalots	F	10
Travaux de finition	G	9

**Tableau VII.4:** Résultats de calcul par la méthode du tableau.

Opération	TR (jours)	DP		DFP		MT
		DCP	DFP	DCPP	DFPP	
<b>A</b>	8	0	8	0	8	0
<b>B</b>	18	8	26	8	26	0
<b>C</b>	12	26	38	26	38	0
<b>D</b>	18	38	56	38	56	0
<b>E</b>	75	56	131	56	131	0
<b>F</b>	10	56	66	56	66	0
<b>G</b>	9	131	140	131	140	0

**Figure VII.3 :** Réseau de planification des tâches par la méthode CPM.





**Figure VII.4:** Le diagramme de GANTT.

## **Conclusion :**

L'organisation du chantier est essentielle pour assurer un déroulement efficace des travaux, ce qui permet de diminuer les coûts et les délais de production. Il convient de souligner qu'en dépit d'une planification rigoureuse sur le terrain, divers imprévus peuvent survenir, tels que des conditions météorologiques défavorables ou des pénuries de matières premières (comme l'acier, le ciment et les produits chimiques). Il est donc évident que la réussite d'un projet dépend d'une gestion efficace du temps et d'une coordination optimale des ressources humaines, techniques et matérielles. Le projet d'aménagement des cours d'eau de la ville de Khemis a un coût total estimé à **217.436.859** DA, avec un délai de construction fixé à 140 jours. Cela souligne l'importance d'une planification soignée pour atteindre l'objectif de livraison dans les délais impartis, tout en respectant le budget initial.

# **CHAPITRE VIII :**

## **Protection et Sécurité du Travail**

## **Introduction :**

Chaque année, environ 2,78 millions de personnes décèdent à la suite d'accidents du travail et de maladies professionnelles, tandis que 374 millions d'autres sont victimes d'accidents non mortels (OIT, 2021). La fréquence des accidents du travail varie selon les secteurs d'activité et les types de postes. Les travailleurs les plus exposés aux risques sont souvent ceux en emploi temporaire, occasionnel ou à temps partiel (MEN, 2022).

Les accidents du travail sont inégalement répartis selon le type de personnel dans tous les secteurs. Les travailleurs les plus à risque sont souvent ceux en emploi temporaire, occasionnel ou à temps partiel (MEN, 2022).

Ces accidents, qui varient en gravité et ont des causes diverses, sont souvent liés à des lacunes dans les systèmes de sécurité et de santé au travail (SST). Les principales faiblesses incluent une législation inadéquate, un contrôle réglementaire insuffisant et un manque de culture de sécurité au niveau national et sur les lieux de travail (MEN, 2022).

Pour assurer la sécurité et le bien-être des travailleurs, une collaboration active entre employeurs et salariés est essentielle. Cela implique de participer à des initiatives de santé et de sécurité qui englobent des domaines tels que la médecine du travail, l'hygiène industrielle, la toxicologie, la formation, la sécurité des machines, l'ergonomie et la psychologie. Cette coopération aide à réduire les accidents et protège les responsables du chantier en cas de non-conformité aux normes en vigueur.

### **VIII.1 Les causes des accidents durant la phase de construction :**

L'analyse des accidents du travail est une étape cruciale pour la prévention, bien qu'elle intervienne après les faits. Elle consiste à identifier les causes des accidents et à mettre en œuvre des mesures correctives pour éviter leur répétition.

#### **VIII.1.1 Facteur matériel :**

Le facteur matériel se réfère aux conditions dangereuses qui peuvent se développer durant le travail. Les causes des accidents d'origine matérielle peuvent provenir de :

- **La profession en général et le poste de travail spécifique:** Les risques peuvent être liés aux caractéristiques générales de la profession ou aux particularités du poste occupé.
- **La nature et la forme des matériaux utilisés :** Les propriétés des matériaux employés dans le chantier peuvent également être à l'origine des accidents.
- **Les outils et machines utilisées:** L'implantation, l'entretien et la gestion des outils et machines jouent un rôle crucial dans la sécurité.
- **Les conditions d'exécution du travail :** L'éclairage, les conditions climatiques et d'autres aspects peuvent influencer les risques.

- **Les conditions d'hygiène et de sécurité** : La ventilation, les mesures de protection et autres aspects d'hygiène contribuent également à la prévention des accidents.

### **VIII.1.2 Facteur humain :**

Contrairement aux conditions dangereuses, qui peuvent être techniquement et pratiquement identifiées, les comportements à risque sur le lieu de travail sont souvent le résultat de facteurs humains. Ces comportements peuvent parfois nécessiter l'intervention de psychologues spécialisés. Les actions à risque peuvent découler de réponses psychologiques difficiles à prévoir, car chaque individu réagit différemment en fonction des circonstances ou de son état émotionnel personnel.

## **VIII.2 Les mesures de prévention contre les accidents du travail**

- **Obligations de l'employeur** : Selon le Code du travail, l'employeur doit mettre en place les moyens de prévention suivants :

1. Actions visant à prévenir les risques professionnels.
2. Initiatives d'information et de formation.
3. Établissement d'une organisation et de moyens appropriés.

- **Responsabilité de l'employeur**: L'employeur doit adapter ces mesures de prévention en fonction de l'évolution de l'entreprise. Le non-respect de ces obligations peut entraîner une responsabilité pénale ou civile.

- **Principes de prévention** : Les 9 principes de prévention sont les suivants :

1. **Éviter les risques** : Supprimer les dangers ou empêcher l'exposition des employés aux risques potentiels.
2. **Évaluer les risques** : Mesurer l'importance des dangers et adopter des mesures préventives adaptées.
3. **Combattre les risques à la source** : Anticiper et éliminer les risques dès la conception des postes de travail, des équipements et des méthodes de production.
4. **Adapter le travail à l'individu**: Prendre en compte les différences individuelles pour minimiser les risques pour la santé des employés.
5. **Considérer l'évolution technique** : Adapter continuellement les mesures de prévention aux changements techniques et organisationnels.

6. **Remplacer le dangereux:** Utiliser des alternatives moins dangereuses ou non dangereuses.
7. **Planifier la prévention:** Intégrer les risques sociaux, environnementaux, et tenir compte des conditions de travail, de la technique et de l'organisation.
8. **Favoriser les protections collectives:** Privilégier les mesures de protection collective plutôt que les mesures individuelles pour une efficacité optimale
9. **Informé et former :** Fournir les bonnes instructions et former les employés sur les risques et les mesures de prévention dès leur arrivée dans l'entreprise, afin de promouvoir une culture de prévention dès le début de leur parcours professionnel.

### VIII.3 Les équipements de protection

#### VIII.3.1 Protection individuelle :

Le port d'équipements de protection individuels est une mesure préventive essentielle pour éviter de nombreux accidents affectant la tête, les mains, les pieds, les yeux, etc.

##### - Pour les yeux :



Lunette de sécurité



Écran facial



Visière-écran

**Figures VIII.1 :** Équipements de protection individuelle des yeux, (Source : SETON).

- **Dangers :** projections de particules métalliques, poussières, projectiles, rayonnements, etc.

- **Protection :** lunettes de protection, masques de soudage, écrans faciaux, visières-écrans.

## - Pour la tête et le cou :

- **Dangers** : impact d'objets tombants ou projetés, chocs à la tête, accrocs des cheveux dans les machines, intempéries ou températures extrêmes.

- **Protection** : casques de sécurité, casquettes antichocs, filets à cheveux, guimpes ou foulards adaptés pour les travaux de soudure.



Casque de sécurité  
soleil



casque de protection



Cache-cou - Pare-soleil

**Figures VIII.2** : Équipements de protection individuelle de la tête et le cou, (Source : SETON et Hansler Smith).

## - Pour les oreilles :

- **Dangers** : bruit, avec des risques accrus liés à l'intensité sonore et à la durée d'exposition.

- **Protection** : bouchons d'oreilles, casques de protection auditive, embouts semi-auraux, tampons auriculaires moulés.



Bouchons d'oreilles  
moulés



Casque antibruit



Tampons auriculaires

**Figures VIII.3 :** Les protections auditives, (Source : SETON et Cotral)

**- Pour les mains et les bras :**

- **Dangers :** éraflures, coupures, perforations, chocs, produits chimiques, chocs électriques, températures extrêmes, rayonnements, immersion prolongée dans l'eau.

- **Protection :** gants adaptés aux risques spécifiques.



Gants anti-coupures



Manchette anti-coupure et chaleur

**Figures VIII.4 :** Équipements de protection individuelle des mains et bras, (Source : SETON).

**- Pour les pieds et les jambes :**

- **Dangers :** conditions humides, froides ou chaudes, accumulation électrostatique, glissades, coupures, perforations, chute d'objets, charges lourdes, éclaboussures de produits chimiques, projections de particules métalliques, véhicules.

- **Protection :** bottes et chaussures de sécurité avec bouts renforcés, semelles résistantes à la pénétration, bottes spéciales (bottes de fonderie, bottes de tronçonneuse).



Chaussure du chantier



Boute du chantier



Boute de sécurité (soudure, fonderie)

**Figures VIII.5 :** Équipements de protection individuelle des pieds, (Source : SETON et Gaston MILLE).

### - Pour les poumons :

- **Dangers :** poussières, gaz, vapeurs, atmosphère pauvre en oxygène.
- **Protection :** équipement de protection respiratoire
  - Certains respirateurs filtrent les contaminants présents dans l'air, allant de simples masques filtrants à des respirateurs à ventilation assistée.
  - Il est crucial que l'équipement de protection respiratoire soit correctement ajusté, notamment pour les respirateurs hermétiques (masque filtrant, demi-masque respiratoire, masque complet).
  - Des appareils fournissant une alimentation indépendante en air respirable (tuyaux d'air frais, air comprimé, appareils respiratoires autonomes) sont également disponibles.



Masque filtrant



Masque anti-poussière

**Figures VIII.6 :** Equipements de protection respiratoire, (Source : Amazon et 3 M).

## - Pour l'ensemble du corps :

- **Dangers** : insolation, projections de particules métalliques, pulvérisations provenant de fuites de pression ou de pistolets pulvérisateurs, poussières contaminées, chocs, usure excessive ou emmêlement des vêtements.

- **Protection** : salopettes conventionnelles ou jetables, combinaisons de chaudière, tabliers.



Salopette du travail



Combinaison de chaudière



Tablier de soudure

**Figures VIII.7** : Equipements de protection corporelle,

(Source : Expondo, BK Safety Wear, Surplus D'Armée Général).

### VIII.3.2 Ordre et organisation sur le chantier :

Maintenir l'ordre sur le chantier est crucial pour la sécurité. Pour cela, il est essentiel de :

- Garder les accès et passages dégagés.
- Stocker les matériaux de manière appropriée pour éviter les risques d'accidents pour les travailleurs.

### VIII.3.3 Blindage

Pour les travaux en tranchée, où les éboulements représentent un danger potentiel, les précautions suivantes sont nécessaires :

- Les tranchées doivent être blindées avant le début des travaux.
- Il est interdit de descendre dans une tranchée non blindée, que ce soit pour la pose de blindages ou l'exécution des travaux.

- Un espace suffisant doit être maintenu entre le bord de la tranchée et les matériaux pour garantir une sécurité adéquate.



**Figures VIII.8** : Système du blindage (Source : Canada-shoring)

### **VIII.3.4 Mesures de prévention contre les incendies**

Il est crucial de désigner un responsable de la protection contre les incendies et de mettre en place un système de gestion et de communication d'urgence. Les mesures essentielles comprennent :

- Installation d'équipements adaptés et vérification régulière des extincteurs.
- Définition des signaux d'alerte, organisation d'exercices d'évacuation et d'extinction.
- Confiance des travaux de soudure à des professionnels qualifiés.
- Stockage approprié des déchets inflammables, éloignement des objets inflammables des zones de travail avec le feu, et transmission rapide des signaux d'alerte sur le chantier (*JICA, 2014*).

## **VIII.4 Travaux de terrassement**

Tout ouvrage repose sur le sol, ce qui rend essentielle une étude approfondie des terrains de soutien. Après reconnaissance, l'implantation de l'ouvrage comprend des fouilles, tranchées, et excavations, appelées "déblais". Les remblais consistent à remplir un espace vide avec de la terre.

### **Risques spécifiques aux projets de terrassement :**

- Circulation des machines.
- Glissements de terrain.
- Rupture de canalisation souterraine.
- Utilisation d'explosifs.
- Chutes de matériel ou de personnel lors de l'excavation.
- Risque de chutes dans des endroits plats ou en hauteur en raison de sols glissants ou encombrés.
- Contact accidentel des machines avec des lignes aériennes sous tension.
- Blessures dues au mouvement des organes ou à la conduite de machines.
- Collisions entre véhicules et engins de chantier ou entre machines.

### **Mesures de prévention :**

#### **a) Machines et outils :**

- Utiliser et entretenir les machines par des personnes qualifiées ayant reçu une formation adéquate.
- Éteindre complètement les machines lors des opérations de nettoyage et d'entretien.
- Respecter la charge maximale d'utilisation affichée sur les équipements de levage.
- Après un impact ou une chute, ne pas réutiliser un outil électrique portable sans inspection par un professionnel qualifié.
- Ne pas utiliser d'outils électriques portatifs en extérieur par temps de pluie.

#### **b) Installations électriques :**

- Seule une personne qualifiée est autorisée à installer, modifier, réparer ou entretenir les systèmes électriques.
- Observer les distances de sécurité appropriées lors de travaux proches de lignes aériennes ou de câbles souterrains.

**c) Premiers secours :**

- En cas de petit accident (coupure, piqûre, etc.), avertir immédiatement le chef de chantier.
- Consulter un professionnel de santé sans délai, même pour une blessure légère, pour éviter les complications.
- Utiliser la trousse de premiers secours disponible sur le chantier.
- Si la plaie s'infecte malgré les traitements, consulter un médecin.

**VIII.5 Plan de sécurité adapté aux travaux de réalisation**

Les travaux de terrassement étant une partie majeure de la construction, un plan de sécurité spécifique pour les travaux de terrassement généraux, de soutènement et de fondations profondes a été élaboré.

**Tableau VIII.1** : Plan de sécurité au travail (*Sedrati, 2018*).

<b>Objectifs visés</b>	<b>Mesures appropriées à envisager</b>
1) Prévenir les risques d'accident Par chutes, chutes et engins de terrassement.	Disposition concernant : <ul style="list-style-type: none"> <li>• La réalisation du chantier de jour comme nuit.</li> <li>• Les zones interdites au public.</li> <li>• Les précautions particulières à prendre en cas de brouillard.</li> <li>• Réglementation de la circulation, signalisation interne aux chantiers, dépôts (panneaux, repérages,).</li> </ul>
2) Limiter les risques d'incidents lors de l'approvisionnement du chantier. Assurer la stabilité, la consolidation et la reprise des éléments stockés.	Repérage des lignes électriques.
3) Prévenir les accidents lors de l'utilisation du matériel : De renversement des engins ; De l'éboulement des terrains.	-Disposition à prendre pour le guidage des camions et des engins notamment lors des manœuvres en marche arrière.
4) Eviter les heurtes entre les engins et renversement des engins.	- Interdiction de dépassement et de stationnement.
5) Assurer la stabilité à la conservation et la reprise aisée des éléments stockés.	- Définition des lieux de stockage des divers matériaux. - Moyens de calage de chargement et de déchargement.
6) Eliminer les surcharges en bordure des fouilles.	- Mode de stockage des déblais et leur mode de déchargement.
7) Prévenir les chutes des objets.	- Examen des câbles soumis à des sollicitations particulières
8) Prévenir des ruptures des organes de levage.	Disposition et consignes particulières concernant l'entretien des matériels, des installations, les engins et les véhicules.
9) Heurts des personnes par les outils.	Les travailleurs qui utilisent la pioche ou la pelle dans leurs activités doivent être tenus à une distance suffisant les uns des autres.

## VIII.6. Signalisation de sécurité

La signalisation de sécurité vise à informer les travailleurs des risques potentiels et des mesures à suivre. Elle peut prendre différentes formes, telles que des panneaux, des couleurs, ou des signaux lumineux et acoustiques, selon la nature du danger (Thomas, 2007).

### VIII.6.1 Description des panneaux de signalisation

La signification des signaux dépend de leur couleur et de leur forme, comme indiqué dans le

**Tableau. VIII.2 :** Signification des couleurs de sécurité (Cartier & Sabater, 2004).

COULEUR FORME			
Rouge	Interdiction (attitudes dangereuses)	/	Matériel et équipement de lutte contre l'incendie (identification et localisation)
Jaune ou jaune orangé	/	Avertissement (attention, précaution)	/
Bleu	Obligation (comportement ou action spécifique)	/	Information ou instruction
Vert	/	/	Signal de sauvetage ou de secours (portes, issues, voies, matériels, postes, locaux) Situation de sécurité (Retour à la normale)

### VIII.6.2 Principes pour une signalisation efficace

- Clarté et concision du message.
- Éviter l'utilisation simultanée de signaux lumineux ou sonores pouvant être confondus.
- Optimiser l'utilisation des couleurs, des symboles et du texte.
- Assurer le placement approprié et accessible des panneaux de sécurité.
- Entretenir régulièrement et remplacer les panneaux endommagés.
- Former les employés à la reconnaissance des signaux de sécurité.

### **VIII.6.3 Implémentation de la signalisation sur le chantier**

Lors de l'installation de la signalisation de sécurité sur le chantier, il est essentiel de :

**- Aux points d'accès :**

- Obligation de porter des bottes de sécurité, un casque de protection, des gants de protection.
- Interdiction d'entrée pour les personnes non autorisées.

**- Près des tableaux électriques :**

- Avertir du danger d'électrocution.

**- Dans les zones de stockage de produits inflammables :**

- Interdiction de fumer ou d'utiliser des flammes nues.

**- Aux endroits à risque de chute d'objets :**

- Avertir du danger de chute d'objets.

**- Sur l'ensemble du chantier :**

- Indiquer les moyens de lutte contre les incendies.
- Signaler les voies et sorties de secours.
- Localiser et signaler les installations du chantier.

**Conclusion :**

- La prévention ne doit pas être considérée comme une mesure corrective, mais comme une approche proactive basée sur des critères défensifs.
- Les avancées techniques et scientifiques permettent de transformer la prévention en une initiative proactive visant à éliminer les risques plutôt qu'à simplement les atténuer.
- La sécurité et la protection doivent être intégrées par chaque employé, ouvrier, et responsable afin d'éviter les tragédies évitables et de garantir que la productivité ne prime pas sur la sécurité

## Conclusion générale :

Les catastrophes naturelles créent nombre de tourments, environ 70 % des crises mondiales associées à des phénomènes hydrométéorologiques. Les inondations, en particulier, sont l'un des principaux risques pour le développement durable, car elles altèrent les actifs des ménages, des collectivités et des entreprises en ravageant les récoltes, les logements, les infrastructures, le matériel et les bâtiments, et entraînent des pertes humaines considérables. Les stratégies de gestion des crues se concentraient principalement sur la diminution des inondations et des dommages qui en découlent. (*Programme associé de gestion des crues (APFM)*)

L'objectif principal de cette recherche était d'élaborer des stratégies efficaces pour prévenir les inondations dans la ville de Khemis, qui est particulièrement vulnérable en raison des risques liés à ses cours d'eau. Nous avons axé notre travail sur l'identification et la mise en place de mesures préventives et de gestion des risques. En examinant la géographie, l'hydrologie et le climat de Khemis, et en utilisant des outils de modélisation avancés, nous avons proposé des recommandations concrètes pour renforcer la résilience de la ville face aux crues.

Cette étude se divise en huit chapitres. Le premier est consacré à une recherche bibliographique, établissant une base théorique en explorant les concepts clés des inondations et en analysant des événements historiques majeurs en Algérie. Le chapitre suivant décrit la zone d'étude en détaillant la localisation géographique, le climat et la géologie de l'aménagement du cours d'eau pour Oued Melah, afin de comprendre les conditions naturelles influençant les inondations.

Une analyse hydrologique, complétée par une évaluation hydromorphologique du bassin versant, a révélé que sa forme allongée et son relief fort entraînent un temps de concentration court, augmentant ainsi le risque de crues. Nous avons estimé le débit de crue en utilisant les données de la station hydrométrique Ababsa 011715, ajustées par une loi statistique. Le débit correspondant à une période de retour de 100 ans, calculé avec la méthode GRADEX, est de 108 m<sup>3</sup>/s.

Nous avons ensuite réalisé une analyse hydraulique détaillée en utilisant l'outil RAS-Mapper intégrer au logiciel HEC-RAS pour générer des profils d'eau le long de l'Oued Melah. Cette modélisation a permis d'évaluer les hauteurs d'eau pour les débits de crue projetés et de cartographier les zones potentiellement inondées. La modélisation a inclus le profil en long de l'oued, ses sections transversales et ses berges, ainsi que les débits d'entrée et les conditions limites nécessaires.

Après avoir identifié les zones à risque, nous avons examiné trois options en termes techniques et économiques pour un aménagement du territoire plus adapté aux risques d'inondation. La solution sélectionnée, économiquement viable, est la construction d'un canal en béton de forme trapézoïdale. Nous avons évalué la stabilité de cette option face aux séismes en utilisant deux méthodes (classique et Eurocode 7) . En outre, nous allons également présenter une proposition de ferrailage pour les voiles ainsi que pour le radier, afin d'assurer une résistance et une durabilité optimales de ces structures.

Le budget estimé pour cette stratégie à Oued Melah est de 217.436.859 **DA** et un délai prévu de 140 jours de construction. Cette structure nécessite un entretien et un suivi systématique pour son bon fonctionnement. Cela inclut des inspections régulières pour détecter les fissures et obstructions, un nettoyage périodique pour éliminer les débris, et des réparations rapides pour traiter les fissures.

Il est essentiel de sensibiliser les habitants aux alertes d'inondation, d'élaborer un plan de gestion des crises et de désigner des zones de refuge pour faciliter les évacuations. Malgré les résultats prometteurs de cette étude, certaines pistes restent à explorer, notamment l'amélioration de l'infiltration des eaux pluviales et la réduction du ruissellement dans le bassin versant. Dans ce contexte, la construction d'un bassin de rétention apparaît comme une solution pertinente. Ce bassin est crucial pour réguler les débits des rivières, prévenir les inondations et protéger les zones riveraines des dommages. En contrôlant les débits de manière efficace, il permet une gestion sécurisée des flux d'eau, réduisant ainsi les impacts des épisodes de pluie extrêmes. Une analyse plus approfondie des avantages et des impacts environnementaux, en collaboration avec les parties prenantes locales et les experts en gestion des ressources en eau, pourrait fournir des solutions supplémentaires pour renforcer la résilience de Khemis face aux inondations.

# References

# Références:

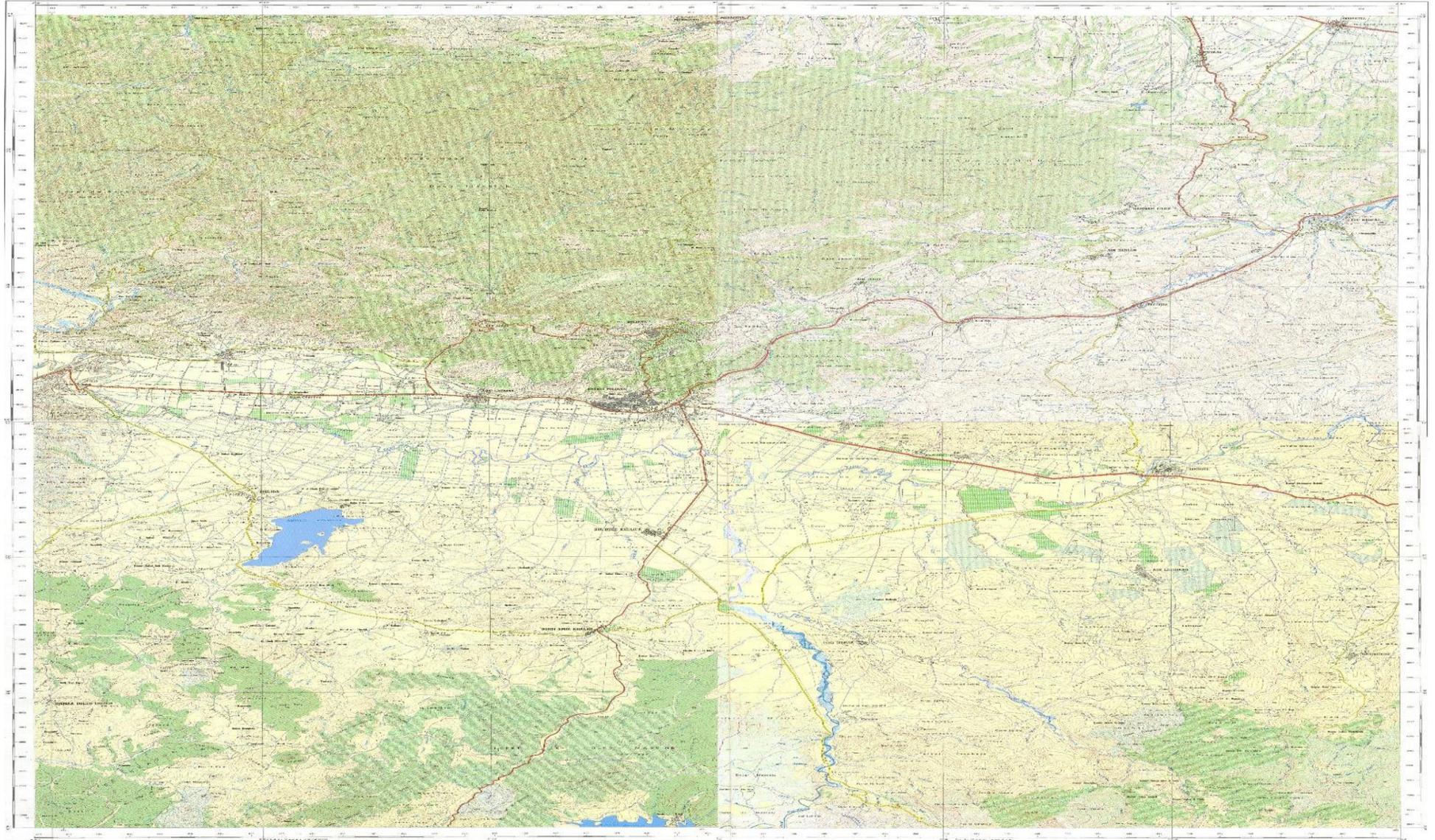
- **BAEL91** (Béton armé aux états limites édition Eyrolles troisième tirage 1997).
- **Benlaoukli, B. (2004)**. Organisation de chantier, la planification des travaux les M.M.O [Working Paper].
- **Blaikie (1994)** Une représentation du risque à l'intersection de l'aléa et de la vulnérabilité : cartographies des inondations lyonnaises
- **Ba 2022** ;Développement urbain durable des villes côtières, risques et gestion intégrée des zones côtières (GIZC) (openedition.org)
- **CID. (2008)**. Guide de conception des routes rurales : Vol. Volume A (conseil ingénierie et développement).
- **Cartier, V., & Sabater, C. (2004)**. La Signalisation De Sante Et De Securite Au Travail (projet Master Prévention des Risques). P.R.N.T., 30.
- **Chocat (1997)** Une représentation du risque à l'intersection de l'aléa et de la vulnérabilité : cartographies des inondations lyonnaises
- **DDT. (2012)**. Plan de prévention des risques naturels liés aux inondations de la Coise. Direction Départementale des Territoires de la Loire.
- **Degoutte, 2012**. Diagnostic, aménagement et gestion des rivières
- **Demoraes et D'Ercole (2009)**(PDF) La vulnérabilité territoriale : une nouvelle approche des risques en milieu urbain (researchgate.net)
- **D'Ercole et Pigeon (1999)** a vulnérabilité, un concept central de l'analyse des risques urbains en lien avec le changement climatique
- **Folmar . 2007** Multiple-methods investigation of recharge at a humid-region fractured rock site, Pennsylvania, USA
- **Guillot, & Durand. (1969)**. La Méthode du gradex pour le calcul de la probabilité des crues à partir des pluies—UNESCO Digital Library.

- **Garavaglia, F. (2011).** Méthode SCHADEX de prédétermination des crues extrêmes : Méthodologie, applications, études de sensibilité.
- **Graguid, T. B. (2011).** Système d'informations et représentations cartographiques pour la gestion des inondations à Cotonou [institut international d'Ingénierie de l'Eau et l'environnement]
- **Guigo, M., Voiron, C., Graillet, D., & Olivier, F. (2002).** Système d'aide à la décision pour la limitation des risques d'inondation dans les agglomérations urbaines méditerranéennes.
- **Gleyze et Reghezza 2007** Une représentation du risque à l'intersection de l'aléa et de la vulnérabilité: cartographies des inondations lyonnaise
- **Griot et Ayrat (2001),** La vulnérabilité, un concept central de l'analyse des risques urbains en lien avec le changement climatique
- **GIEC, 2012.**rapport spécial du GIEC sur le changement climatique et les terres émergées
- **Haziza 2007,**On the Construction of Imputation Classes in Surveys - Haziza - 2007 - International Statistical Review - Wiley Online Library
- **HAMITOUCHE Yasmine (2020) :** Etude d'aménagement hydraulique d'Oued Allala pour la protection de la ville de Ténès contre les inondations (W. CHLEF).
- **Houbib, H. (2012).** Analyse Multicritères des composantes du Milieu à l'aide des techniques de la géomatique pour un aménagement intégré de la vallée d'Oued Mellagou-Bouhmama W. KHENCHELA [Université El Hadj Lakhdar -Batna].
- **IKHLEF Roumaïssa (2023) :** Étude de protection contre les inondations par Modélisation des affluents Cas : du centre de Bordj Mira (W. Béjaïa).
- **Ingénieries –EAT- 1995/Spécial Risques O.Gilard,**Gestion du risque d'inondation et méthode Inondabilité: une perspective socio-économique (hal.science)
- **JICA. (2014).** Consignes pour la gestion de la sécurité des travaux de construction de l'APD japonaise (Institution administrative indépendante Agence japonaise de coopération internationale (JICA)).
- **KADI Karim (2023) :** Protection des communes de Bordj El Kiffan et Bordj El Bahri contre les risques des inondations de l'oued El Hamiz (W. Alger).

- **Lencastre, 2008**, Hydraulique générale.
- **MEN. (2022)**. Document de synthèse : Informations générales pour l'examen des instruments relatifs aux accidents du travail et aux maladies professionnelles (Mécanisme d'examen des normes ; p. 13).
- **(Meschinet de Richemond et Reghezza, 2010). Bourrelier (2006) (Léone, 2007). (Füssel et Klein, 2006), (Peduzzi et al., 2009)**. Une représentation du risque à l'intersection de l'aléa et de la vulnérabilité : cartographies des inondations lyonnaises
- **Madi 2023**, Cartographie des risques d'inondation à l'échelle du bassin fluvial à l'aide de l'indice de potentiel d'inondation
- **OIT. (2021)**. Améliorer la sécurité et la santé au travail dans les petites et moyennes entreprises [manuel du participant]. 84.
- **Propeck-Zimmermann et al. (2009)** Une représentation du risque à l'intersection de l'aléa et de la vulnérabilité : Cartographies des Inondations Lyonnaises
- **Règles parasismique Algériennes/ version 2003[RPA99]**.
- **Sedrati, C. (2018)**. Étude d'une retenue collinaire sur l'oued Charchar, commune de Hadjadj (Mostaganem) [mémoire de fin d'études]. École Nationale Supérieure d'Hydraulique -Arbaoui Abdellah-
- **Toumi, A. (2016)**. Hydraulique à surface libre (cours & exercices). 197.
- **Touaibia Bénina, 2004**. Manuel Pratique d'Hydrologie. Presse Madani frères, Blida, Algérie. 166p.
- **Touaibia, bénina. (2015)**. Manuel pratique d'hydrologie (2ème Edition).
- **Thomas, N. (2007)**. Signalisation de santé et de sécurité au travail Réglementation (p. 68). INRS, Institut National de Recherche et de Sécurité.
- **(Verniers, 1990). Le cours d'eau : rôles écologiques et paysagers**
- **ZEROUAL, Ayoub, ASSANI, Ali.A., MEDDI, M. et al., 2019**. Assessment of climate change in Algeria from 1951 to 2098 using the Köppen–Geiger climate classification scheme. Clim Dyn 52, 227–243 (2019)

# Annexes

**Annexe n°01 : I : Carte topographique de la zone de Khemis Miliana.**



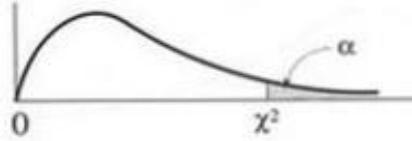
## Annexe n° 02 : Carte du réseau hydroclimatique et de la surveillance de la qualité des eaux.

### CARTE DU RESEAU HYDROCLIMATOLOGIQUE ET DE LA SURVEILLANCE DE LA QUALITE DES EAUX



### Annexe n° 03 : Tableau des valeurs de $\chi^2$ .

Table  $\chi^2$  : points de pourcentage supérieurs de la distribution  $\chi^2$



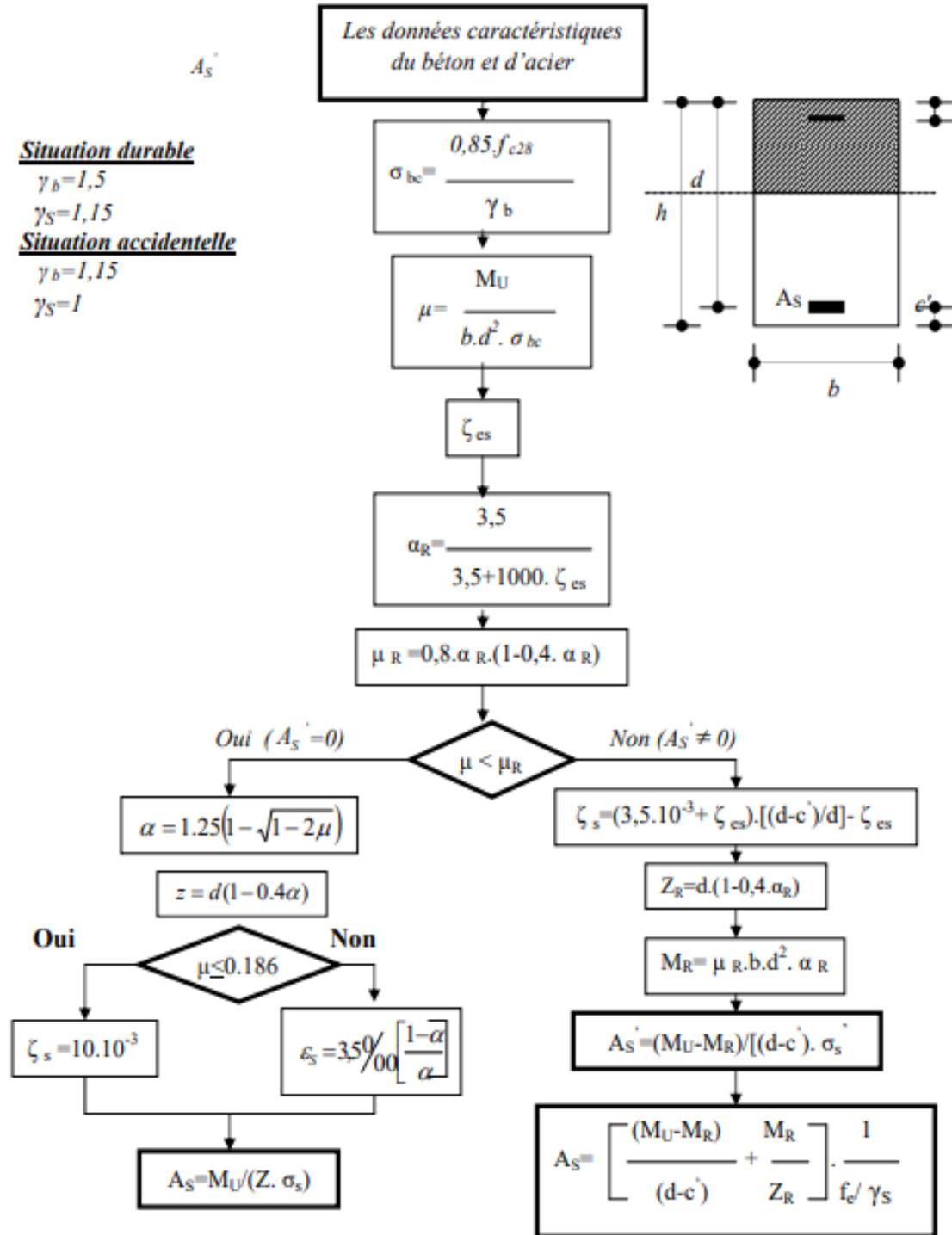
<i>dl</i>	.995	.990	.975	.950	.900	.750	.500	.250	.100	.050	.025	.010	.005
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.10	0.45	1.32	2.71	3.84	5.02	6.63	7.88
2	0.01	0.02	0.05	0.10	0.21	0.58	1.39	2.77	4.61	5.99	7.38	9.21	10.60
3	0.07	0.11	0.22	0.35	0.58	1.21	2.37	4.11	6.25	7.82	9.35	11.35	12.84
4	0.21	0.30	0.48	0.71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

## Annexe n° 04 : Coefficient de rugosité de Manning.

### Valeurs du coefficient n de Manning

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

**Annexe n° 05 : Organigramme -1- Section Rectangulaire A LELU en Flexion Simple.**



**Annexe n° 06 : Tableau des armatures en acier.**

		Nombre de barres									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Diamètre de barre en (cm)	0.6	0.28	0.57	0.85	1.13	1.41	1.70	1.98	2.26	2.54	2.83
	0.8	0.50	1.01	1.51	2.01	2.51	3.02	3.52	4.02	4.52	5.03
	1	0.79	1.57	2.36	3.14	3.93	4.71	5.50	6.28	7.07	7.85
	1.2	1.13	2.26	3.39	4.52	5.65	6.79	7.92	9.05	10.18	11.31
	1.4	1.54	3.08	4.62	6.16	7.70	9.24	10.78	12.32	13.85	15.39
	1.6	2.01	4.02	6.03	8.04	10.05	12.06	14.07	16.08	18.10	20.11
	2	3.14	6.28	9.42	12.57	15.71	18.85	21.99	25.13	28.27	31.42
	2.5	4.91	9.82	14.73	19.63	24.54	29.45	34.36	39.27	44.18	49.09
	3.2	8.04	16.08	24.13	32.17	40.21	48.25	56.30	64.34	72.38	80.42