



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option : AMENAGEMENT ET OUVRAGES HYDROTECHNIQUES

THEME :

**ETUDE DE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS
DES QUARTIERS DE 05 JUILLET ET CHOUHADA
COMMUNE OUM THIOUR (Wilaya d'El Meghaier)**

Présenté par :

OUAGHLANI MOUNIA

Nom et Prénoms

Grade

Qualité

A. HADJ SADOK

Professeur

Président

I.ZAIBAK

M.A.A

Examineur

M.BOUZIANE

M.A.A

Examineur

N. SAIL

M.C.B

Promotrice

Session Novembre 2023

Dédicaces

C'est avec grand plaisir que je dédie ce modeste travail avec sincérité et fierté :

À l'être le plus cher de ma vie, ma mère, qui m'a soutenu et encouragé durant ces années d'études et qui a sacrifié sa vie pour ma réussite.

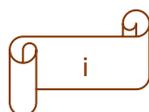
À mon père.

À ma tante, qui a été pour moi comme une deuxième mère. Je la remercie pour tout ce qu'elle a m'a apporté.

À ma grand-mère, qui m'a élevé, ainsi qu'à ma sœur d'amour, Yessmine, et mon frère Abdelmoumen. Merci pour leur indéfectible soutien et leur patience.

Merci à tous mes amis : Nourhane, Houda, Lina, Meriem et Abdelmalek, pour leur aide et leur soutien dans les moments difficiles.

Merci à toute ma famille.



Remerciements

Je remercie dieu le tout puissant de m'avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, je tiens à remercier sincèrement ma Promotrice Dr SAIL Nadhira pour son encadrement, sa précieuse guidance. J'adresse également mes sincères remerciements et mon profond respect aux membres de jury, qui me feront l'honneur de juger ce travail.

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

Ouaghlani Mounia

المخلص:

تتناول هذه الدراسة قضية الحماية من الفيضانات في أم الطيور، في ولاية المغير، من خلال تبني نهج محترف وشامل. تبدأ عملية البحث بتحليل للجيومورفولوجيا والمناخ في مناطق جمع المياه المرتبطة بالمشروع. بعد ذلك، يتم إجراء دراسة هيدرولوجية مفصلة لحساب التدفق الهيدرولوجي والذي هو أساسي لتحديد نظام حماية مثالي لهاته المنطقة. يعتمد العمل نهجاً شاملاً يهدف إلى تعزيز المدينة ضد الفيضانات من خلال اقتراح حلاً متكاملًا للتعامل مع التحديات الحالية والمستقبلية.

في الختام، يتم إجراء تحليل اقتصادي لتقييم تكاليف التنفيذ، مما يضمن حماية فعالة ومستدامة. تمثل هذه الدراسة مساهمة كبيرة في مجال حماية من الفيضانات في أم الطيور، وتقدم توصيات أساسية لاتخاذ القرار لدى المحترفي إدارة مخاطر الفيضانات.

كلمات مفتاحية: الحماية من الفيضانات، المناخ، دراسة هيدرولوجية

Résumé :

Cette étude examine la question de la protection contre les inondations à Oum Thiour, dans l'État El Meghaier, en adoptant une approche professionnelle et globale. Le processus de recherche commence par une analyse géomorphologique et climatique des zones de collecte d'eau liées au projet. Ensuite, une étude hydrologique détaillée est menée pour calculer le débit hydrologique, essentiel pour déterminer un système de protection optimal pour cette zone. Le travail repose sur une approche globale visant à renforcer la ville contre les inondations en proposant une solution intégrée pour faire face aux défis actuels et futurs.

En conclusion, une analyse économique a été effectuée pour évaluer les coûts de mise en œuvre, garantissant une protection efficace et durable. Cette étude constitue une contribution majeure dans le domaine de la protection contre les inondations à Oum Thiour, offrant des propositions clés pour les décideurs dans la gestion professionnelle des risques d'inondation.

Mots-clés : Protection contre les inondations, Climat, Étude hydrologique.

Abstract:

This study examines the issue of flood protection in Oum Thiour, in the state of El Meghaier, by adopting a professional and comprehensive approach. The research process begins with a geomorphological and climatic analysis of the water collection areas related to the project. Subsequently, a detailed hydrological study is conducted to calculate the hydrological flow, essential for determining an optimal protection system for this area. The work relies on a comprehensive approach aimed at fortifying the city against floods by proposing an integrated solution to address current and future challenges.

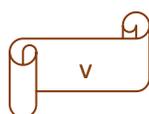
In conclusion, an economic analysis has been carried out to assess implementation costs, ensuring effective and sustainable protection. This study represents a significant contribution in the field of flood protection in Oum Thiour, providing key proposals for decision-makers in professional flood risk management.

Keywords: Flood Protection, Climate, Hydrological Study.

Table des matières :

Introduction Générale	1
CHAPITRE I : PRESENTATION DU SITE	2
I.1 Présentation de la Wilaya d'El Meghaier	3
I.2 Présentation de la zone d'études	3
I.3 Etude climatologique	6
I.3.1 La température	6
I.3.2 Evaporation	7
I.3.3 Vent	7
I.3.4 Humidité station de Biskra (2011-2020)	8
I.3.5 Les données pluviométriques	8
CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE	9
II.1 Cadre Géologie de la région d'étude	10
II.1.1 Quaternaire	10
II.1.2 Tertiaire	10
II.1.3 Secondaire	10
II.2 Hydrogéologie de la région	12
II.2.1 La nappe phréatique	12
II.2.2 Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS)	13
II.2.2.1 Le Complexe Terminal (CT)	13
II.2.2.2 Le Continental intercalaire (CI)	13
II.3 Les exutoires	14
II.3.1 Les foggaras	14
II.3.2 Les puits artésiens	14
II.3.3 Les sebkhas	14
CHAPITRE III : GENERALITES SUR LES INONDATIONS	15
III.1 Le risque d'inondations	16
III.1.1 La crue	16
III.2 Différents types d'inondations	17
III.2.1 Le débordement de cours d'eau	17
III.2.2 Les inondations par ruissellement	18
III.2.3 Les remontées de nappes	18
III.2.4 Les submersions marines	19

III.3	Les facteurs déclenchants d'inondations	20
III.4	Les conséquences des inondations	20
III.5	Historique des inondations catastrophiques en Algérie	21
III.6	Les inondations dans la zone d'étude	24
	CHAPITRE IV : ETUDE HYDROLOGIQUE	25
IV.1	Bassin versant	26
IV.1.1	Définition	26
IV.1.2	Caractéristiques morphologiques du bassin versant	26
IV.1.2.1	Surfaces des bassins versants	27
IV.1.2.2	Périmètre	27
IV.1.2.3	La longueur du thalweg principal	28
IV.1.3	Caractéristiques géométriques	28
IV.1.3.1	Indice de compacité de Gravelius	28
IV.1.3.2	Rectangle équivalent	29
IV.2	Le relief	29
IV.2.1	La courbe hypsométrique	29
IV.2.2	Répartition et Courbe hypsométrique	30
IV.2.3	Les principales caractéristiques altimétriques	32
IV.2.1	La pente moyenne du cours d'eau principal	32
IV.2.2	Dénivelée spécifique D_s	33
IV.3	Caractéristique hydrographique du bassin	33
IV.3.1	Le réseau d'écoulement	33
IV.3.2	Temps de concentration du bassin versant T_c	33
IV.3.3	Vitesse de ruissellement	35
IV.4	Résultats de calcul des caractéristiques du bassin versant	36
IV.5	Analyse statistique des Pluies maximales journalières	36
IV.5.1	Ajustement de la série pluviométrique	37
IV.5.1.1	Ajustement des pluies maximales à la loi de Gumbel	37
IV.5.1.2	Ajustement des pluies maximales journalières à la loi log-normale	38
IV.5.2	Pluie de courte durée et leurs intensités à différentes Fréquences	40
IV.6	Etude des apports liquides	41
IV.6.1	Apports moyens annuels	41
IV.7	Caractéristiques de l'écoulement	42
IV.7.1	Module de l'écoulement (M_e)	42
IV.7.2	Module de l'écoulement relatif ou spécifique (M_0)	42
IV.7.3	Lame d'eau écoulée (L_e)	42
IV.7.4	Coefficient de l'écoulement (C_e)	42



IV.7.5 Coefficient de variation (Cv)	42
IV.8 Evaluation des apports solides	43
IV.9 Etude des crues	44
IV.9.1 Formule de Turazza	44
IV.9.2 Formule de Giandotti	44
IV.9.3 Formule de Mallet-Gautier	44
IV.10 Hydrogramme de crues	45
 CHAPITRE V : DIAGNOSTIC DES COURS D'EAUX ET CALCUL HYDRAULIQUE	
	51
V.1 Généralités	52
V.1.1 Calcul hydraulique	52
V.1.2 Les canaux à ciel ouvert	52
V.1.3 Type Des canaux	52
V.1.4 Dimensionnement des canaux	53
V.1.4.1 Détermination de coefficient de Chézy	53
V.1.4.2 Le choix de la section de meilleure conductivité	54
V.1.5 Calcul de la ligne d'eau	55
V.2 Rappel des données	56
V.2.1 Débit max de crues	56
V.3 Construction du modèle	56
V.3.1 Le logiciel HEC-RAS	57
V.3.1.1 Montage du modèle	57
V.3.1.2 Application d'HEC-RAS	57
V.4 La cartographie du risque d'inondation	61
V.5 Dimensionnement des ouvrages	62
V.6 Etude de conception Des ouvrages	63
V.6.1 Choix de la section type pour les différents canaux de l'aménagement projeté	63
V.6.2 Calcul hydraulique et dimensionnement des sections types des canaux projetés	63
V.6.2.1 Canal A (PK02= 00+325 mL-PK04=00+1330.27 mL)	63
V.6.2.1.1 Les profils en travers	64
V.6.2.1.2 La ligne d'eau de canal A	65
V.6.2.1.3 Redimensionnement d'un ouvrage	65
V.6.3 Canal B (PK 00 ML-PK 125 ML)	67
V.6.3.1 Les profils en travers	68
V.6.3.2 Le linge d'eau de canal B	69
V.6.4 Canal C (PK 00 ML-PK 286ML)	69
V.6.4.1 Les profils en travers	70
V.6.4.2 La ligne d'eau de canal C	71

V.6.5 Canal (B+C) (PK01=00+125ML-PK02=00+665.6ML)	71
V.6.5.1 Les profils en travers	72
V.6.5.2 La ligne d'eau De Canal (B et C)	73
V.7 Estimation du coût de la variante	73
CHAPITRE VI : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT (EIE)	77
VI.1 Textes régissant les études d'impact sur l'environnement	78
VI.2 Une étape de l'évaluation environnemental	78
VI.3 L'impact de l'aménagement par béton des oueds en Algérie	79
VI.4 Impacts de la phase chantier, mesures et suivi	79
VI.5 Actions de réduction et d'atténuation des impacts	79
VI.6 Mesures visant à réduire les impacts environnementaux	80
VI.7 L'impact de La remontée de la nappe phréatique	80
VI.7.1 Conséquences d'une inondation par remontée de la nappe phréatique	80
VI.8 EIE du projet de protection contre les inondations Des Quartiers 5 juillet et CHOUHADA	81
CHAPITRE VII : ORGANISATION DE CHANTIER ET SECURITE DE TRAVAIL	83
VII.1 Rôles et responsabilités des intervenants sur chantier	84
VII.1.1 Le maître de l'ouvrage	84
VII.1.2 Le maître d'œuvre	84
VII.1.3 L'entrepreneur	84
VII.2 Organisation technique et données préparatoires	85
VII.2.1 Travaux préparatoires et installation de l'entreprise	85
VII.2.2 Installations destinées à la réparation des engins	85
VII.2.3 Installation destinée pour la préfabrication	86
VII.3 Travaux de réalisation	86
VII.4 Les moyens de chantier	86
VII.5 Planification	89
VII.5.1 Les étapes de la planification	89
VII.5.2 Techniques de la planification	89
VII.5.3 Différentes méthodes basées sur le réseau (BENLAOUKLI,2004)	90
VII.5.4 Les paramètres de calcul dans la méthode C.P.M	91
VII.5.5 Délai de construction et programme des travaux	91
VII.5.6 Diagramme de Gantt	92

VII.6 Sécurité de travail	95
VII.6.1 Accident de travail	95
VII.6.2 Les causes des accidents du travail et maladies professionnelles	95
VII.6.3 Le système algérien de prévention des risques professionnels	96
VII.6.3.1 La prévention	96
VII.6.3.2 Les étapes de la prévention	97
VII.6.4 Identification et élimination des risques	Error! Bookmark not defined.
VII.6.5 Equipement de protections	98
Conclusion Générale	104

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : Présentation du site

Figure.I.1 : Situation géographique de la région d'étude(centerblog.net).

Figure.I.2 : Plans de situation de la zone d'étude (Google Earth, 2023).

Figure.I.3 : Réseau hydrographique de la zone d'étude (Google Earth, 2023).

Figure.I.4 : Température minimale, moyenne et maximale à Biskra (www.infoclimat.fr).

CHAPITRE II : Cadre géologique

Figure.II.1 : Carte géologique du Sahara oriental 1/1 000 000 extrait de la carte géologique Nord-Ouest de L'Afrique (1976).

Figure.II.2 : Les unités hydrogéologiques de Sahara Algérien (ANRH).

Figure.II.3 : Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO, 1972).

CHAPITRE III : Généralités sur les inondations

Figure.III.1 : Les combinaisons du risque (eaufrance.fr).

Figure.III.2 : Le débordement de cours d'eau (plaine et torrentielles) (eaufrance.fr).

Figure.III.3 : Les inondations par ruissellement (eaufrance.fr).

Figure.III.4 : La remontée de nappes (eaufrance.fr).

Figure.III.5 : Les submersions marines (Eaufrance.fr).

Figure.III.6 : Les inondations D'El Meghaier en 1969 (Journal Officiel Algérie).

Figure.III.7 : Les inondations de Beb-EL-OUED "ALGER 2001(Journal El Moudjahid).

Figure.III.8 : Crue de l'Oued Mzab le 01 octobre 2008 à Ghardaïa (**Source** : journal EL-WATAN).

Figure.III.9 : Les inondations de la wilaya d'el Bayadh (Agence Spatiale Algérienne).

Figure.III.10 : Mise en évidence des effets des inondations dans la région de Tamanrasset à partir de l'imagerie satellitaire (Agence Spatiale Algérienne).

Figure.III.11 : Les dégâts des inondations de Tipasa (journal El Moudjahid).

CHAPITRE IV : Etude Hydrologique

Figure.IV.1 : Schéma de principe d'un bassin versant (SEMEA, 2020).

Figure.IV.2 : Réseau hydrographique des bassins versant (ArcGIS).

Figure.IV.3 : Différents types des BV selon le coefficient de Gravelius K_c (Musy et all,2003).

Figure.IV.4 : Répartition des surfaces et courbe hypsométrique du bassin A.

Figure.IV.5 : Répartition des surfaces et courbe hypsométrique du bassin B.

Figure.IV.6 : Répartition des surfaces et courbe hypsométrique du bassin C.

Figure.IV.7 : Graphe d'ajustement de la série des pluies maximales journalière à la loi de Gumbel.

Figure.IV.8 : Graphe d'ajustement de la série des pluies maximales journalières à la loi log-normale.

Figure.IV.9 : Hydrogrammes des crues probables de BV(A).

Figure.IV.10 : Hydrogrammes des crues probables de BV(B).

Figure.IV.11 : Hydrogrammes des crues probables de BV(C).

CHAPITRE V : Diagnostic des cours d'eaux et calcul hydraulique

Figure.V.1 : Types de canal naturel et canaux artificiels.

Figure.V.2 : Section trapézoïdale.

Figure.V.3 : Schéma de la ligne d'eau.

Figure.V. 4 : Fichier de projection dans RAS Mapper.

Figure.V. 5 : Délimitations des affluents A, B et C.

Figure.V.6 : Les profils en long non aménagés.

Figure.V.7 : Vue en 3D des affluents non aménagés.

Figure.V.8 : Les profils en travers de quelque section de l'affluent A.

Figure.V.9 : Les profils en travers de quelque section de l'affluent B.

Figure.V.10 : Les profils en travers de quelque section de l'affluent C.

Figure.V.11 : Carte des zones inondables des affluents A, B et C.

Figure V.12: Schéma de mur en gabion.

Figure.V.13 : Des tronçons de profil en traves de canal A trapézoïdale en béton armé.

Figure.V.14 : Schéma de canal trapézoïdale à ciel ouvert en béton.

Figure.V.15 : La ligne d'eau de canal A.

Figure.V.16 : L'état actuel de l'ouvrage.

Figure.V.17 : Schéma de l'ouvrage proposé.

Figure.V.18 : Résultat de simulation de l'ouvrage.

Figure.V.19 : Démonstration de la proposition de canal A.

Figure.V.20 : Des tronçons de profil en traves de canal B rectangulaire à ciel ouvert.

Figure.V.21 : Schéma de canal rectangulaire à ciel ouvert en béton.

Figure.V.22 : La ligne d'eau de canal B.

Figure.V.23 : Des tronçons de profil en traves de canal C rectangulaire.

Figure.V.24 : Schéma de canal C rectangulaire à ciel ouvert en béton.

Figure.V.25 : La Ligne d'eau de canal C.

Figure.V.26 : Schéma de confluence des deux canaux B et C.

Figure.V.27 : Des tronçons de profil en traves de canal B+C rectangulaire.

Figure. 28 : Schéma de canal rectangulaire fermé en béton.

Figure.V.29 : La ligne d'eau de canal (B et C).

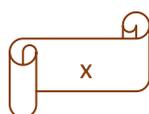


Figure.V.30 : Démonstration de la proposition de canal B et C.

CHAPITRES VI : Etude d'impact sur l'environnement (EIE)

Figure.VI .1 : Le phénomène de remontée de la nappe phréatique (B. Remini,2006).

CHAPITRES VII : Organisation de chantier et sécurité de travail

Figure. VII.1 : Relation entre les personnes du chantier.

Figure.VII.2 : Planification des taches par la méthode CPM.

Figure.VII.3 : Chronogramme du projet par le logiciel GANTT Project.

Figure. VII .4 : Les équipements de protection.

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I : Présentation du site

Tableau I.1: Coordonnées géographiques de la station météorologique de la ville de Biskra (ONM, 2020).

Tableau.I.2 : Récapitulation Répartition mensuelle des températures moyennes et extrêmes station de Biskra (1991-2020).

Tableau I.3 : La fréquence moyenne interannuelle des vents des différentes directions (ANRH) (2011-2020).

CHAPITRE II : Etude géologique

Tableau.II.1 : Colonne chronostratigraphique synthétique du Sahara septentrional (WEC, 2007).

CHAPITRE IV : Etude hydrologique

Tableau. IV.1: Récapitulatif des valeurs des surfaces des bassins versants.

Tableau. IV.2: Récapitulatif des valeurs des périmètres des bassins versants.

Tableau.IV.3 : Récapitulatif des valeurs de La longueur des bassins versants.

Tableau. IV.4 : Récapitulatif des valeurs d'indice de compacité de Gravelius des bassins versants.

Tableau.IV.5 : Paramètres morphométries du bassin versant.

Tableau.IV.6 : Répartition des surfaces et courbe hypsométrique du bassin A.

Tableau.IV.7 : Répartition des surfaces et courbe hypsométrique du bassin B.

Tableau.IV.8 : Répartition des surfaces et courbe hypsométrique du bassin C.

Tableau.IV.9 : Récapitulatif des valeurs des altitudes caractéristiques des bassins versants.

Tableau. IV.10: Classification ORSTOM du relief à partir de l'indice de pente global.

Tableau. IV.11: Récapitulatif des valeurs de l'indice de pente globale.

Tableau. IV.12 : Récapitulatif des valeurs de la pente des bassins versants.

Tableau.IV.13 : Récapitulatif des valeurs de la pente moyenne des bassins versants.

Tableau. IV.14 : Récapitulatif des valeurs de dénivelée spécifique.

Tableau.IV.15 : Récapitulatif des valeurs de densité de drainage des bassins versants.

Tableau.IV.16 : Récapitulatif des valeurs de la formule de GIANDOTTI.

Tableau. IV.17 : Récapitulatif des valeurs de la formule de TURAZZA.

Tableau.IV.18 : Récapitulatif des valeurs de la formule de VENTURA.

Tableau.IV.19 : Récapitulatif des valeurs de la formule de SOKOLOVSKY.

Tableau.IV.20 : Récapitulatif des valeurs du temps de concentration des bassins versants.

Tableau. IV. 21 : Récapitulatif des valeurs de vitesse de ruissellement des bassins versants.

Tableau.IV.22 : Récapitulatif des caractéristiques du bassin versant.

Tableau.IV.23 : Pluie maximales journalière prise de site la Nasa (1981-2020).

Tableau.IV.24 : Caractéristique de la série de donnée avec $N = 40$ ans.

Tableau. IV. 25 : Résultats d’ajustement à la loi Gumbel.

Tableau. IV.26 : Résultats d’ajustement à la loi Log-normale.

Tableau. IV.27 : Résultats de test d’adéquation khi 2 des lois d’ajustement.

Tableau.IV.28 : Pluies de courtes durées au temps de concentration pour différentes périodes de retour.

Tableau. IV.29 : Intensité de courtes durées au temps de concentration pour différentes périodes de retour.

Tableau. IV.30 : Récapitulatif des formules apports moyens annuels.

Tableau.IV.31 : Valeur de module de l’écoulement.

TABLEAU.IV.32 : Valeur de module de l’écoulement relatif ou spécifique.

Tableau. IV.33 : Récapitulatif de la lame d'eau écoulée.

Tableau.IV.34 : Récapitulatif de coefficient de l’écoulement.

Tableau. IV.35: Récapitulatif des formules empiriques.

Tableau. IV.36: Récapitulatif de taux d’abrasion.

Tableau. IV.37 : Récapitulatif de coefficient de ruissellement.

Tableau. IV.38: Récapitulatif des valeurs des débit de crue (m^3/s) pour les bassins versant par différentes méthodes de calcul.

Tableau. IV.39: Récapitulatif des valeurs des débit de crue choisies.

Tableau. IV.40 : Coefficient de forme de l’hydrogramme de crue.

Tableau. IV.41 : Caractéristiques de l’hydrogramme de crue du bassin versant BV(A).

Tableau. IV.42 : Caractéristiques de l’hydrogramme de crue du bassin versant BV(B).

Tableau. IV .43 : Caractéristiques de l’hydrogramme de crue du bassin versant BV(C).

Tableau. IV.44 : Calcul de l’hydrogramme de crue pour le bassin versant (A).

Tableau. IV.45: Calcul de l’hydrogramme de crue pour le bassin versant (B).

Tableau. IV.46: Calcul de l’hydrogramme de crue pour le bassin versant (C).

Tableau. IV.47 : Récapitulation des valeurs de débit de crue.

Chapitre V : Diagnostique des cours d’eaux et calcul hydraulique

Tableau.V.1 : Crues de projet pour différentes périodes de retour.

Tableau.V.2 : Paramètres de calcul du canal A trapézoïdale en béton.

Tableau. V.3 : Paramètres de calcul du canal B rectangulaire en béton.

Tableau. V.4 : Paramètres de calcul du canal C rectangulaire en béton.

Tableau V.5: Paramètres de calcul du canal (B+C) rectangulaire fermé en béton.

Tableau.V.6 : Estimation du coût du mur.

Tableau.V.7 : Estimation du coût du canal A.

Tableau.V.8 : Estimation du coût du canal B.

Tableau.V.9 : Estimation du coût du canal C.

Tableau.V.10 : Estimation du coût du canal B+C.

Tableau.V.11 : Coût total du projet.

CHAPITRES VII : Organisation de chantier et sécurité de travail

Tableau.VII.1 : Les engins utilisés.

Tableau.VII.2 : Etapes de réalisation du projet.

Tableau.VII.3 : Liste des travaux impliquant des risques spéciaux.

Liste des planches

- **Planche N°1** : PLAN D'IMPLANTATION D'AXES ET AMENAGEMENT CANAL A
- **Planche N°2** : PLAN D'IMPLANTATION D'AXES ET AMENAGEMENT CANAL B+C
- **Planche N°3** : PROFIL EN LONG CANAL A
- **Planche N°4** : PROFIL EN LONG CANAL B+C

Liste des abréviations

ANRH : Agence National des Ressources Hydriques ;

BV : Bassin Versant ;

ONM : Office National Météorologique ;

MNT : Modèle Numérique de Terrain ;

O.R.S.T.O.M : Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer ;

UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization;

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

PK : Point Kilométrique ;

DCP : Date de commencement au plus tôt ;

DCPP : Date de commencement au plus tard. **DFP** : date de finition au plus tôt ;

Dd : Densité de drainage Km/Km² ;

DFPP : Date de finition au plus tard ;

Outils de travail

ARC-GIS

ArcGIS est un système d'information géographique (SIG) développé par Esri (Environmental Systems Research Institute, Inc.). Il permet de créer, gérer, analyser et visualiser des données géospatiales, telles que des cartes, des couches d'informations et des données géographiques, pour prendre des décisions basées sur la localisation. C'est un outil puissant pour la cartographie, l'analyse spatiale et la gestion des ressources géographiques.

Arc GIS est composée de trois parties (Applications ou logiciels) essentiels :

- Arc Map : Permet d'éditer les fichiers en format géodatabase
- Arc Catalog : Permet la gestion des données c'est –à-dire d'obtenir le maximum d'information sur l'objet édité. Il d'agit d'un système de gestions de bases de données (SGBD).
- Arc ToolBox : Composée d'un ensemble d'outils de transformation des données.

HYFRAN

Le logiciel HYFRAN-PLUS permet d'ajuster un nombre important de distributions statistiques à une série de données qui vérifient les hypothèses d'indépendance, d'homogénéité et de stationnarité (cf. Publications sur le SAD). Un Système d'Aide à la Décision (SAD) a été développé pour permettre de choisir la classe de distributions la plus adéquate pour estimer le quantile de période de retour élevée. HYFRAN a été développé par l'équipe du Pr. Bernard Bobée titulaire de la chaire en hydrologie statistique (1992-2004).

HEC-RAS

HEC-RAS est un logiciel de simulation d'écoulements dans les cours d'eau et les canaux, tout en prenant en compte les structures telles que les ponts. Il permet de simuler avec précision les changements progressifs du débit de l'eau dans des situations en évolution, tout en calculant les niveaux d'eau de manière dynamique en prenant en compte les divers obstacles présents le long du cours d'eau.

HEC-RAS trouve ses applications en hydraulique surface libre, maritime ou fluviale :

- Etude de l'impact de la construction d'ouvrages (ponts, seuils, épis)
- Ruptures de barrages ;
- Etudes d'inondation ;
- Transport de traceurs chimiques ou de polluants.

Introduction Générale

Les inondations représentent une menace significative à l'échelle nationale, européenne et mondiale. Elles se classent au premier rang des catastrophes naturelles dans le monde, engendrant environ 20 000 décès annuellement. Certaines inondations sont liées à des phénomènes récurrents tels que la mousson, tandis que d'autres résultent de circonstances exceptionnelles, telles que les cyclones, les typhons ou les tempêtes violentes.

Il est largement reconnu que le changement climatique joue un rôle central dans l'augmentation des catastrophes naturelles à travers la planète. Lorsque ces événements surviennent dans des environnements qui sont déjà vulnérables sur les plans physique, social et économique, les risques de perturbations et leurs impacts peuvent être considérables.

Les inondations au Sahara, bien que rares en raison du climat désertique, peuvent causer des dégâts significatifs lorsqu'elles se produisent. Les fortes précipitations occasionnelles dans cette région peuvent entraîner des inondations soudaines, car les sols secs et peu perméables ne peuvent pas absorber rapidement l'eau, en partie en raison de la topographie plate de la région. Ces dommages peuvent inclure la destruction de biens et d'infrastructures, ainsi que des perturbations graves pour les communautés locales. Par conséquent, malgré la rareté de ces événements, la préparation et la gestion des inondations sont essentielles pour atténuer leurs effets dévastateurs dans cette région aride.

Dans le cadre de l'étude de protection contre les inondations de la ville Oum Thiour, nous avons effectué une étude approfondie sur les conditions climatiques, géologiques et hydrologique de la zone d'étude. Sur la base des résultats obtenus, nous avons tenté de proposer des solutions au problème des inondations dans cette région. Une étude technico-économique a été jugée indispensable pour évaluer le coût et le délai de réalisation de projet.

A large decorative border in the shape of a scroll, drawn in a light orange color. It frames the central text. The scroll starts at the top right, goes left, then down, then right, and finally up to the top left, with small loops at each corner.

CHAPITRE I : Présentation du site

Introduction

L'étude de prévention des inondations se base sur une vaste base de données contenant les caractéristiques de chaque site du projet. Ces informations sont essentielles pour mener à bien toute étude de prévention des inondations.

Le but de ce chapitre est d'acquérir une quantité maximale d'informations sur notre zone d'étude et de comprendre les problèmes qui se posent, afin de concevoir des solutions qui seront abordées dans les chapitres à venir.

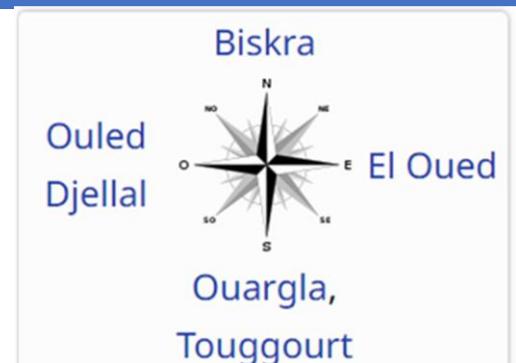
I.1 Présentation de la Wilaya d'El Meghaier

La Wilaya d'El'Meghaier créée en 2019 et officialisée en 2021. Elle était rattachée administrativement à la wilaya d'El oued dont elle est distant d'environ 165 km direction Nord

– Ouest, Elle est délimitée :

- Au nord par la wilaya de Biskra .
 - À l'est par la wilaya d'El Oued .
 - À l'ouest par la wilaya d'Ouled Djellal .
 - Au sud par la wilaya de Touggourt et d'Ouargla (Wikipédia)
- ✓ El'Meghaier est appelée la région du Bas-Sahara caractérisée par une faible altitude au Sud-est du pays,
- ✓ L'altitude est proche de 70 m, sa superficie est de 2 116 km² avec une population de 11 754 habitants avec une densité de 6 habitants par km²

Wilayas limitrophes de la wilaya d'El



I.2 Présentation de la zone d'études

Oum Thiour est l'une des communes de la wilaya de El'Meghaier, Elle se situe au Nord-ouest de la wilaya, limitée au nord par Ouled Djellal et Still, au sud par le chef-lieu de la wilaya de El'Meghaier., à l'ouest par Besbes et à l'est par Hamraia.

La zone d'étude (5 JUILLET et CHOUHADA) est située à Nord-Ouest de la ville de Oum Thiour, elle a une superficie d'environ 85 ha et actuellement est en cours de construction.

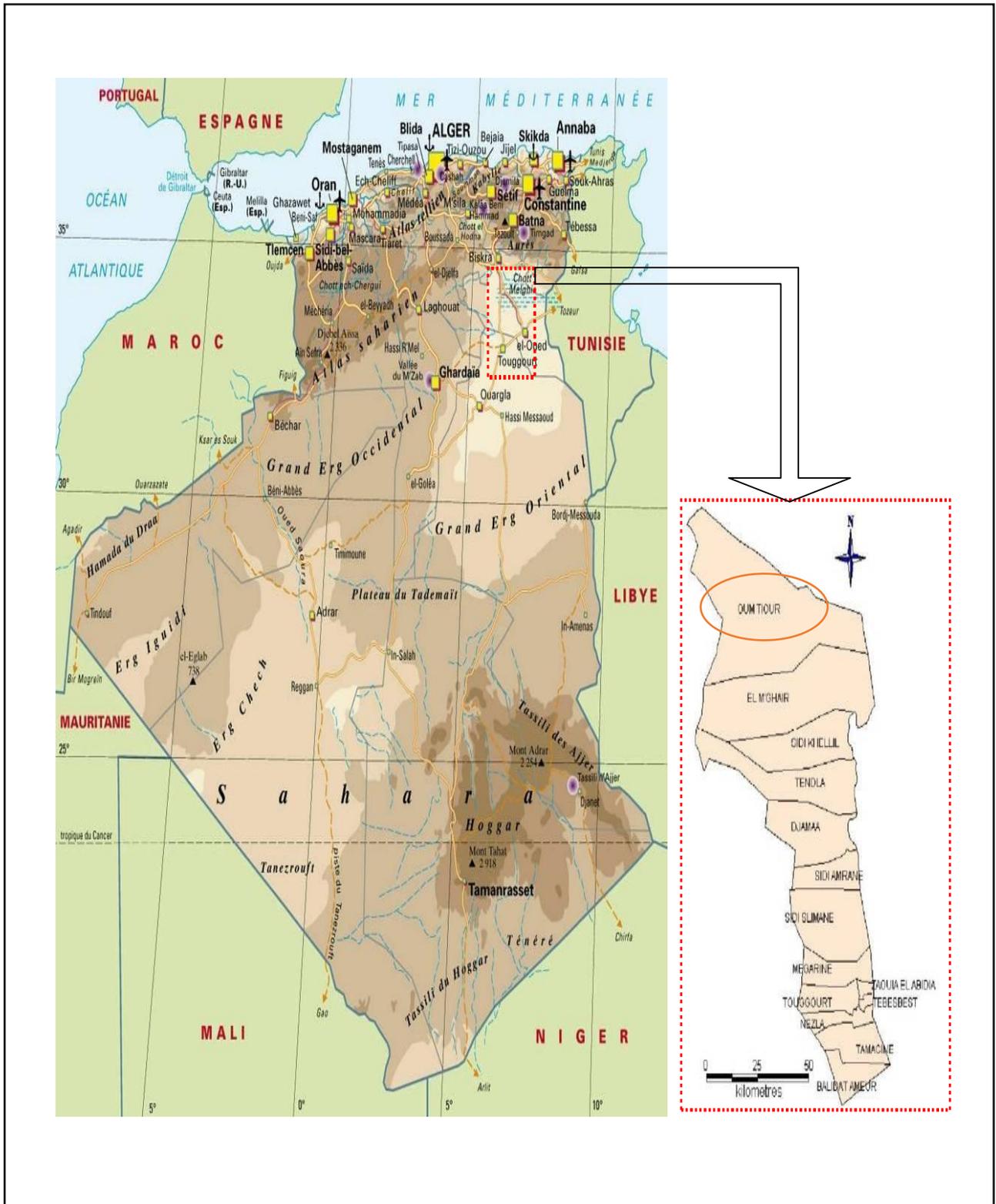


Figure I.1: Situation géographique de la région d'étude(centerblog.net).

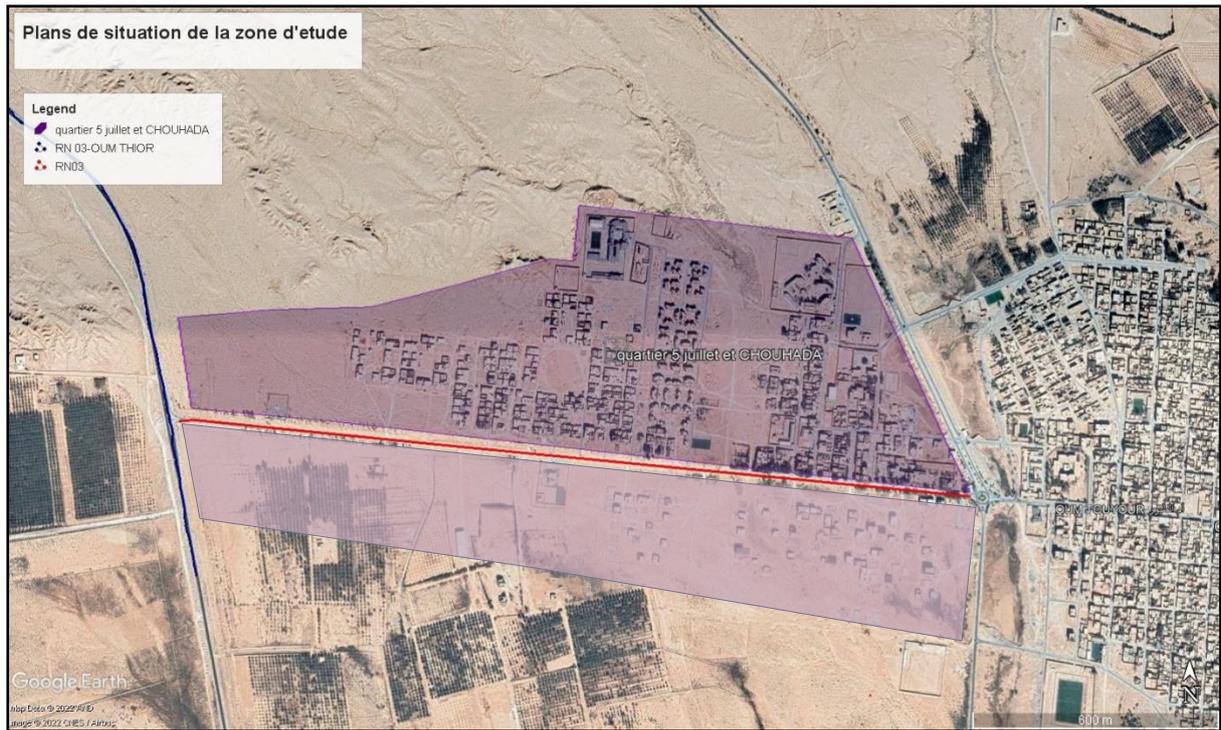


Figure I.2: Plan de situation de la zone d'étude (Google Earth, 2023).

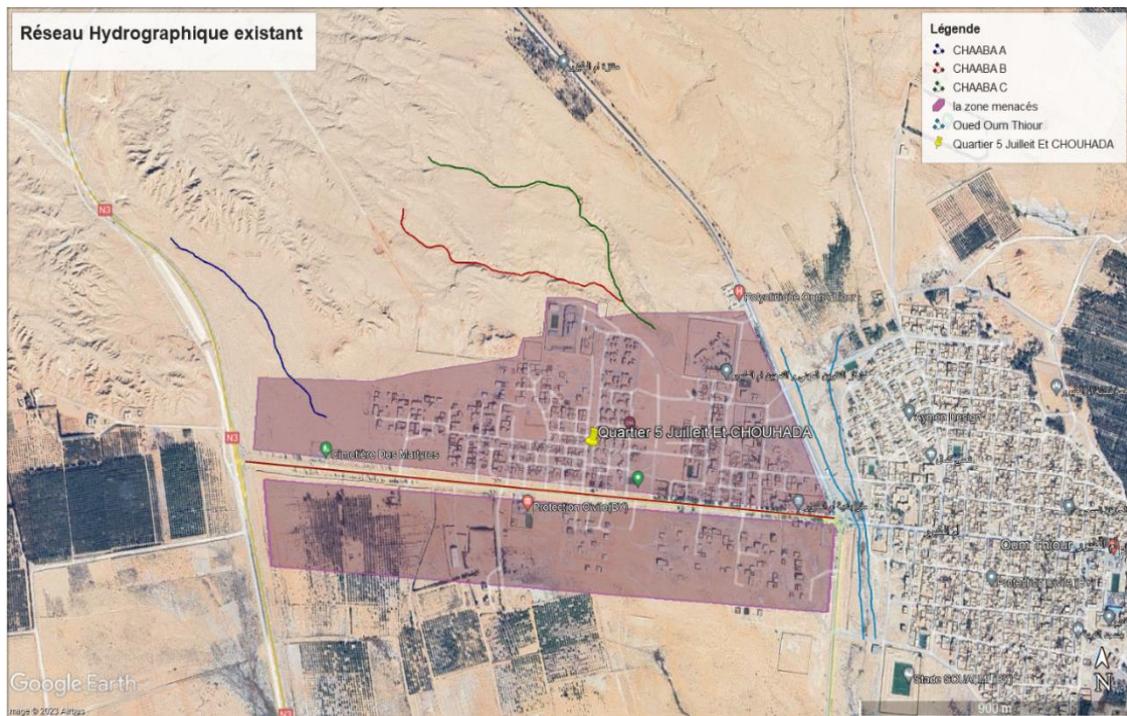


Figure I.3: Réseau hydrographique de la zone d'étude (Google Earth, 2023).

I.3 Etude climatologique

Les facteurs climatiques jouent un rôle important dans le comportement hydrologique des cours d'eau alimentant un bassin versant, Cependant, aucune station météorologique ou pluviométrique n'est envisagée dans ces bassins. Alors, nous sommes obligés de baser sur les données climatiques des stations les plus proches, pour cela on utilise des stations disponibles dans la région :

Les données pluviométriques, la température, l'humidité, le vent, etc...) ont été observées par l'Office National de la Météorologie (O.N.M.), et enregistrées aux stations de Biskra situé à l'Aéroport de la wilaya.

Tableau I.1: Coordonnées géographiques de la station météorologique de la ville de Biskra (ONM, 2020).

Station	Code A.N.R.H	Altitude (m)	Longitude	Latitude
Biskra	061416	120	5°73'E	34°80'N

I.3.1 La température :

Le climat du Sahara algérien se caractérise par une intense sécheresse avec un taux humidité très faible. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 25 °C, avec des étés chauds et des hivers rigoureux. Les températures extrêmes sont de plus de 50 °C en été. Les pluies se caractérisent par leurs grandes variabilités interannuelles. Dans le Sahara septentrional, elles sont fines alors qu'elles sont diluviennes au centre. Ces différentes caractéristiques climatiques se répercutent sur l'hydrographie saharienne. Ainsi l'écoulement des oueds est temporaire et se perd dans les dépressions fermées. Lorsque les vallées n'ont pas d'écoulement superficiel, elles ont souvent un écoulement souterrain, lequel prend beaucoup d'importance vue la rareté des eaux superficielles

Tableau.I.2 : Récapitulation de la répartition mensuelle des températures moyennes et extrémales station de Biskra (1991-2020) (www.infoclimat.fr).

	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août
Température Moyennes (C°)	29,1	23,7	17,2	13,1	12,2	13,8	17,3	21,1	26,2	31,2	34,4	33,9
Température Maximale (C°)	35,6	30,1	22,8	18,2	17,2	19,2	23,1	27,0	32,4	37,6	41,0	40,2
Température Minimale(C°)	23,5	18,2	12,3	8,4	7,2	8,3	11,6	15,2	20,0	24,8	28,0	27,8

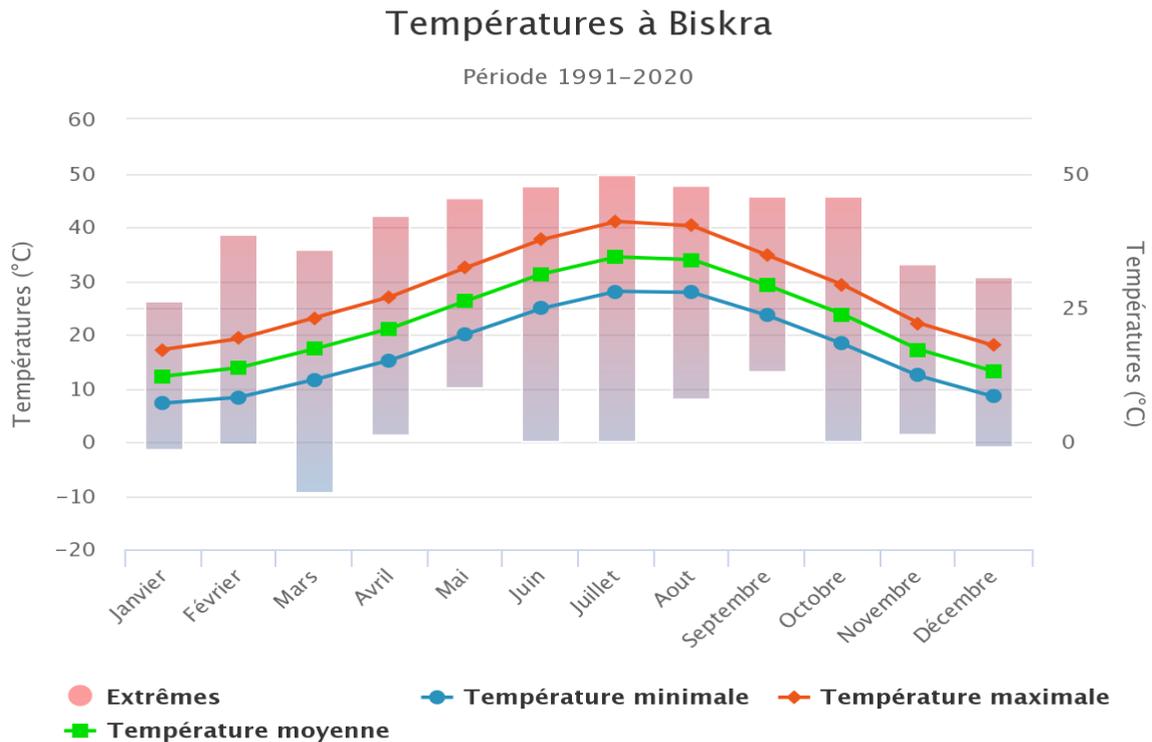


Figure I.4: température minimale, moyenne et maximale à Biskra(www.infoclimat.fr).

I.3.2 Evaporation :

Est un paramètre étroitement lié à la température, les quantités d'eaux évaporées sont aussi relativement importants.

L'évaporation est mesurée par évaporomètre de « Piche » est l'appareil le plus fréquemment utilisé dans les stations du réseau O.N.M en Algérie, ce qui est le cas de la station de Biskra (2011-2020)

- ✓ L'évaporation moyenne mensuelle=272.27mm.
- ✓ L'évaporation moyenne maximale=450.90mm.
- ✓ L'évaporation moyenne minimale=123.0mm.

Cette différence de l'évaporation démontre que le phénomène de cette dernière doit être régié par d'autres facteurs que la température, tel que la vitesse de vent, le taux d'humidité, le taux d'ensoleillement et le couvert végétal.

I.3.3 Vent :

Les caractéristiques du régime des vents sont basées sur les données recueillies à la station météorologique de Biskra, où les observations sont les plus détaillées.

Les vents sont fréquents et répartis sur toute l'année Dans la région de Biskra, les vents sont fréquents durant toute l'année. En hiver, on enregistre la prédominance des vents froids et humides venant des hauts plateaux et du nord-ouest, les vents issus du sud sont les plus secs et froids (Benbouza, 1994).

Tableau I .3 : La fréquence moyenne interannuelle des vents des différentes directions (ANRH) (2011-2020).

Direction	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Calme
Fréquence %	11.4	6.5	2	0.5	5.6	24.7	14.8	4.4	30.1

- La vitesse maximale moyenne du vent est de 29 m/s, pendant les rafales la vitesse peut atteindre 58 m/s.

I.3.4 Humidité station de Biskra (2011-2020) :

La valeur moyenne mensuelle de l'humidité relative de l'air varie de 64% à 58% pendant la saison froide et de 50% à 51% pendant la période chaude de l'année.

Donc, le climat dans la région étudiée est relativement sec pendant octobre-mai et très sec pendant la période du juin au septembre.

I.3.5 Les données pluviométriques :

En raison de la faiblesse et de l'irrégularité des précipitations, nous avons opté pour une précision accrue en utilisant les données pluviométriques spécifiques à la zone d'étude, extraites de site la NASA. La pluie moyenne annuelle est de 115,04 mm (1981-2020).

Conclusion

Dans cette partie de notre travail nous avons tenté de présenter les données fondamentales relatives à notre région et qui serviront de base robuste pour lancer l'étude de notre projet.

A decorative border in a light orange color, shaped like a scroll. It starts with a small scroll at the top right, goes down, then left, then down again, and finally left to a scroll at the bottom left.

CHAPITRE II : Cadre géologique

Introduction

L'étude géologique a pour objectif d'identifier les formations géologiques au niveau régional ainsi que dans les bassins versants sous examen, afin de mieux comprendre les processus hydrologiques. Cette information joue un rôle essentiel dans la planification d'aménagements visant à réduire le transport de sédiments. De plus, elle permet d'évaluer la stabilité des structures envisagées dans ces aménagements.

II.1 Cadre Géologie de la région d'étude

Notre région d'étude fait partie de la plateforme saharienne, qui est constituée d'un bouclier précambrien dit "bouclier Africain", formé de roches éruptives et métamorphiques où se sont déposés plusieurs milliers de mètres de terrains sédimentaires allant du Cambrien au Quaternaire (Cornet, 1964). Il n'affleure que dans le Sahara Central (Massif du Hoggar) et le Sahara Occidental (Massif des Eglab ; UNESCO, 1972).

Le gisement géologique est constitué de couches datant de l'ère secondaire et tertiaire.

Les formations géologiques de la zone d'étude seront décrites du plus récent au plus ancien.

II.1.1 Quaternaire :

Essentiellement sableux, à la base des couches d'argile et d'évaporites semi-perméables le séparent de la pliocène supérieure. Cette formation quaternaire renferme une nappe phréatique alimentée principalement par percolation des eaux en excès lors des périodes d'irrigation et en faible quantité par la précipitation.

II.1.2 Tertiaire :

- ❑ **Mio-pliocène** : subdivisé en deux séries stratigraphiques :
 - **Mio-pliocène supérieur** : de formation sablo gréseuse ; renferme la première nappe (CT1).
 - **Mio-pliocène inférieure** : sable de la deuxième nappe (CT2).
- ❑ **Eocène inférieur** : Calcaire de la troisième nappe (CT3) ces différents aquifères sont séparés par des niveaux imperméables à dominance argileuse.

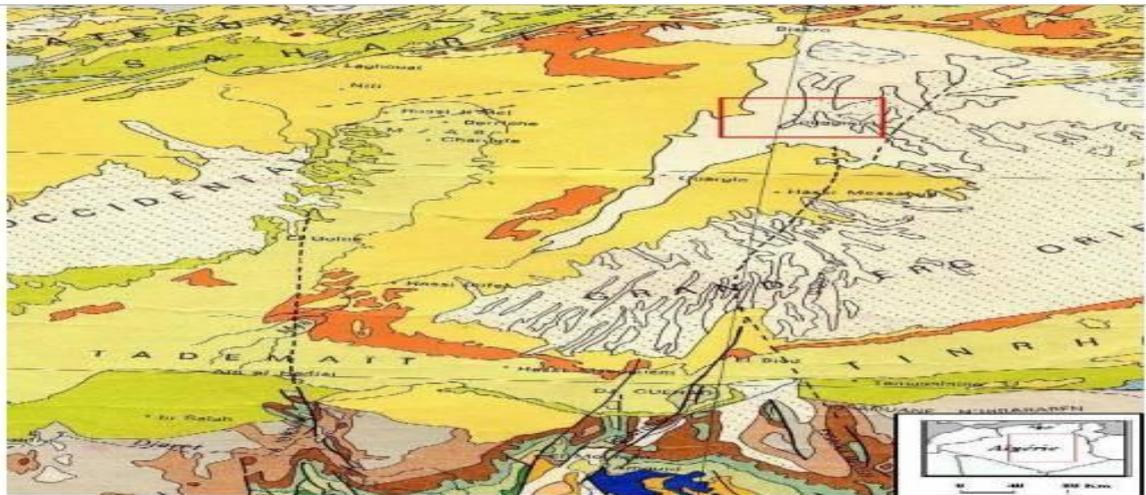
II.1.3 Secondaire :

- ❑ **Sénonien** : Constitué de calcaires blanc et une alternance de calcaire, de marne et des couches de gypse.
- ❑ **Turonien** : Représenté par un dépôt marin, calcaire-marneux, l'épaisseur du turonien reste à peu près constante.
- ❑ **Cénomaniens** : Il est composé essentiellement de dépôts lagunaires marneux où prédominance des couches d'anhydrite et parfois même du sel.
- ❑ **Albien** : Se présente comme une série très épaisse formée d'une alternance de couches gréseuses avec des passées d'argiles schisteuses.

Tableau.II.1 : Colonne chronostratigraphique synthétique du Sahara septentrional (WEC, 2007).

Chronostratigraphie			Lithologie	Epaisseur (m)	
Tertiaire	Mio-Pliocène			150	
	Eocène			0-150	
Secondaire	Crétacé supérieur	Sénonien	[Lithologie synthétique]	100	440
		Anhydritique		220	
		Salifère		120	
		Turonien		80	
		Cénomannien		120	
		Vraconien		0-70	
	Crétacé inférieur	Albien	300		
		Aptien	25		
		Barrémien	280		
		Néocomien	200		

- [Sables] Sables
- [Sel massif] Sel massif
- [Calcaires et calcaires dolomitiques] Calcaires et calcaires dolomitiques
- [Marnes et argiles] Marnes et argiles
- [Anhydrite et gypse] Anhydrite et gypse
- [Sables à niveaux argileux] Sables à niveaux argileux
- [Discordance] Discordance



- Légende**
- QUATERNAIRE CÉNOZOÏQUE**
- [Orange] QUATERNAIRE
 - [Jaune clair] Sables, loess.
 - [Jaune] Dunes.
 - [Jaune foncé] Néogène + Oligocène.
 - [Orange foncé] Eocène.
- MESOZOÏQUE**
- [Vert clair] Crétacé indifférencié.
 - [Vert moyen] Crétacé supérieur et moyen.
 - [Vert foncé] Crétacé inférieur.
 - [Bleu clair] Jurassique indifférencié.
 - [Bleu foncé] Jurassique supérieur et moyen.
 - [Bleu très foncé] Jurassique inférieur.
 - [Rouge] Trias ou Permo-Trias.
- PALEOZOÏQUE**
- [Gris foncé] Carbonifère indifférencié.
 - [Gris moyen] Carbonifère supérieur et Permien.
 - [Gris clair] Carbonifère inférieur.
 - [Orange foncé] Dévonien indifférencié.
 - [Orange moyen] Dévonien supérieur et moyen.
 - [Orange clair] Dévonien inférieur.
 - [Vert clair] Silurien.
 - [Vert foncé] Ordovicien.
 - [Bleu foncé] Cambrien.
 - [Jaune clair] Primaire indifférencié.
 - [Ligne noire] Champ de dykes.
 - [Ligne ondulée] Contour, limite d'affleurement.
 - [Ligne pointillée] Faille, décrochement.
 - [Ligne avec triangles] Front de chevauchement.

Figure. II.1: Carte géologique du Sahara oriental 1/1 000 000 extrait de la carte Géologique Nord-Ouest de L'Afrique (1976).

II.2 Hydrogéologie de la région

La zone étudiée appartient au Bas Sahara. Cet environnement socio-économique se situe dans un contexte climatique de type désertique hyper aride.

Les précipitations sont très faibles et irrégulières ne jouent qu'un rôle limité dans la recharge des nappes, L'agriculture est la principale activité dans ce territoire.

Le rôle de la géologie est primordial en hydrogéologie, il permet la description lithologique et stratigraphique des formations et d'identifier celles susceptibles d'être aquifères.

L'écoulement d'un cours d'eau est commandé par les caractéristiques de son bassin :

- ✓ Relief géologie,
- ✓ Lithologie,
- ✓ Le climat.

Le Sahara algérien est subdivisé en quatre unités hydrogéologiques (**Figure II.2**) qui sont :

- 01)- L'unité de Saoura-Tindouf ;
- 02)- L'unité du Chott Melghir ;
- 03)- L'unité du Sahara septentrional ;
- 04)-L'unité du Hoggar-Tassili.

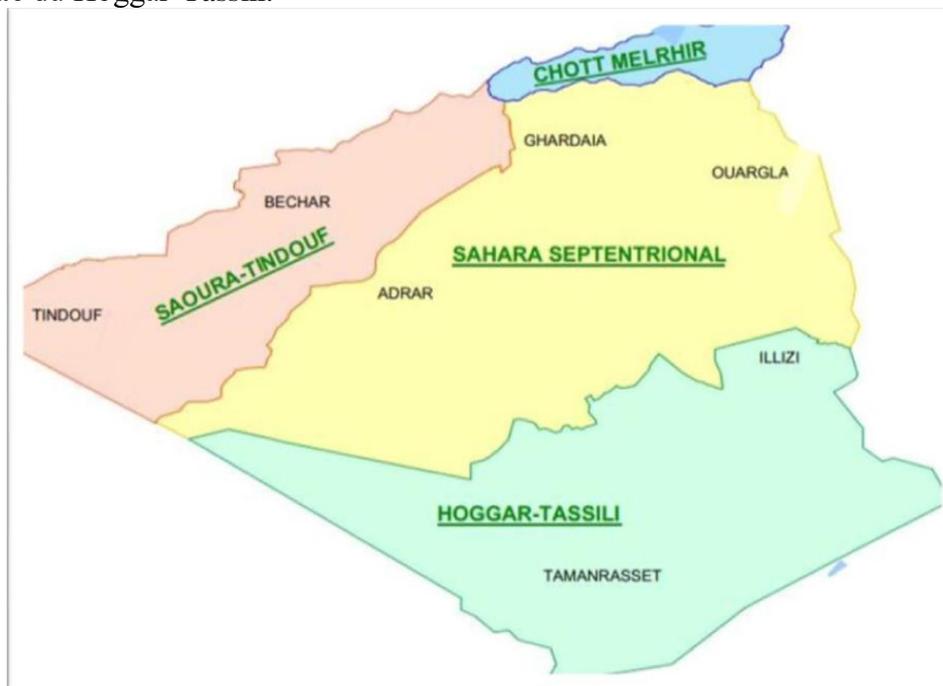


Figure II.2: Les unités hydrogéologiques de Sahara algérien (ANRH).

- La région d'El Meghaier est représentée par deux systèmes aquifères, à savoir : le Complexe Terminal et le Continental Intercalaire. Ces deux systèmes sont surmontés par une nappe libre appelée nappe phréatique.

II.2.1 La nappe phréatique :

La nappe phréatique, également appelée nappe aquifère, est une couche souterraine d'eau saturée située dans le sol ou la roche poreuse. Elle constitue une importante source d'eau douce et vitale qui peut être extraite pour divers usages, tels que l'approvisionnement en eau potable, l'irrigation agricole et d'autres besoins, elle est accessible généralement par le puits ou par le forage.

II.2.2 Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) :

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional « SASS » est l'un des plus grands systèmes aquifères du monde, situé principalement sous les déserts du Sahara en Afrique du Nord, Il s'étend sur une vaste zone dont les limites sont situées en Algérie, Tunisie et Libye, Ce bassin englobe une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux grandes nappes appelés le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT). Au cours des trente dernières années, Le SASS occupe une superficie de plus de 700 000 km² en Algérie. Les usages sont l'agriculture, pour l'irrigation des oasis, l'alimentation en eau des villes et les industries, notamment pétrole et tourisme.

Elle occupe une superficie de plus de 700 000 km² en Algérie.

L'exploitation par forages est passée de 0,6 à 2,5 milliards de m³/an (OSS, 2008).

II.2.2.1 Le Complexe Terminal (CT) :

Cette nappe a été désignée sous le nom de complexe terminal, car elle est contenue dans les divers horizons perméables du crétacé supérieur et du tertiaire, essentiellement : le sénonien supérieur carbonaté, l'éocène inférieur carbonaté, le mio-pliocène sableux. Ces couches aquifères sont en plus ou moins en étroite relation, ont été groupées en un seul réservoir qui intègre également les formations carbonatées du turonien dans les zones de bordures.

Dans le bassin occidental, la nappe du complexe terminal étant en liaison directe sous une grande partie de l'erg avec celle du continental intercalaire a été intégrée à celle-ci. Dans le bassin oriental par contre, les deux systèmes aquifères sont nettement distincts.

II.2.2.2 Le Continental intercalaire (CI) :

Cette nappe est surmontée par celle du complexe terminal qui se présente sous forme d'une nappe libre. On définit l'aquifère du continental intercalaire comme étant les formations continentales du crétacé inférieur, comprises entre l'Albien et le Néocomien, et qui sont constituées de sables, de grès avec intercalations d'argiles.

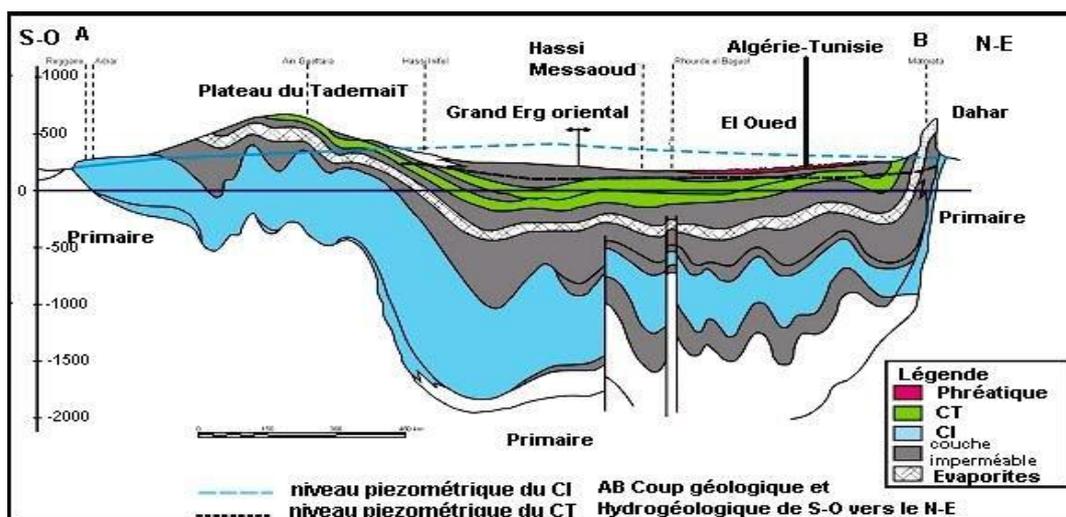


Figure II.3 : Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO, 1972).

II.3 Les exutoires

Ils sont constitués par :

II.3.1 Les foggaras :

Sont de longues galeries de drainage qui fonctionnent avec un faible dénivelé, exploitant la topographie locale pour diriger l'écoulement de l'eau naturellement vers des points bas, comme c'est le cas dans la région occidentale du bassin.

II.3.2 Les puits artésiens :

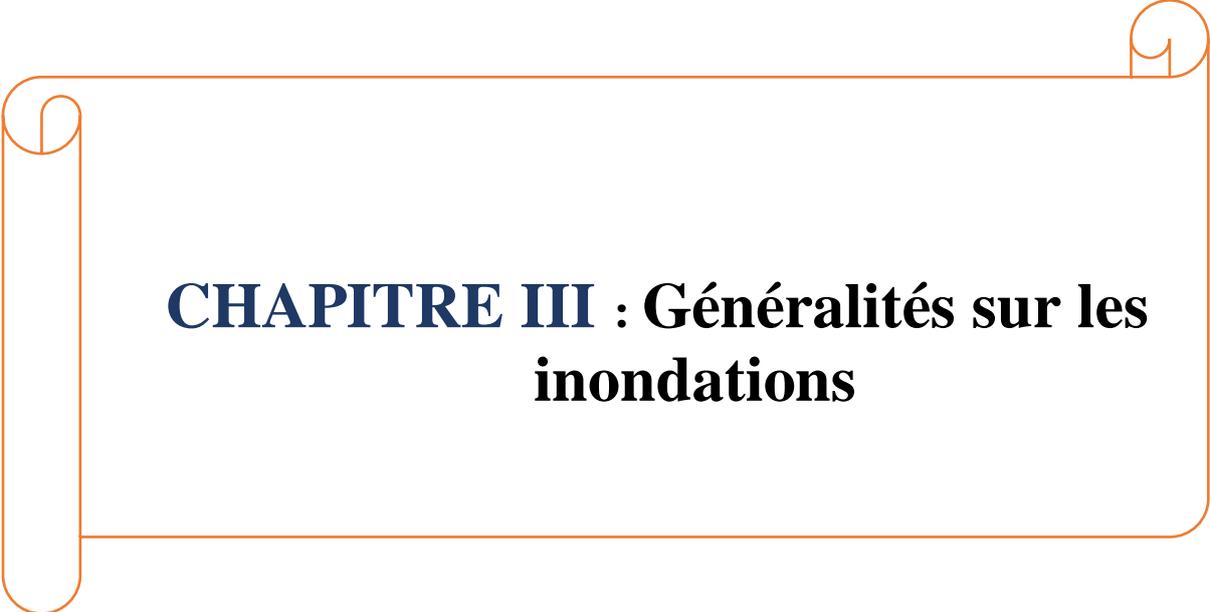
Sont des structures de forage utilisées pour extraire l'eau souterraine. Ce qui les distingue des puits conventionnels, c'est qu'ils exploitent une source d'eau sous pression, généralement confinée dans une couche aquifère entre deux formations géologiques imperméables.

II.3.3 Les sebkhas :

Sont vastes étendues humides et salines, surfaces évaporantes dont le débit total n'est pas négligeable.

Conclusion

- La région étudiée se trouve dans le bas Sahara et couvre des ensembles géologiques divers qui ont été complètement aplanis dès le début de l'Ère secondaire. Actuellement, elle présente une structure semblable à une grande plaque rigide et stable.
- Dans le Sahara algérien, il n'y a pas d'étude hydrogéologique spécifique pour chaque région. On distingue deux systèmes aquifères clairement définis :
 - ❑ Le Continental Intercalaire (CI), un aquifère profond composé de sable gréseux ou gréseux argileux et Le Complexe Terminal (CT), un bassin composé de trois nappes superposées.
- Ces systèmes renferment d'importantes réserves d'eau, faisant du Sahara algérien une région considérée comme très riche en ressources hydriques.



**CHAPITRE III : Généralités sur les
inondations**

Introduction

L'eau c'est la vie, cependant il peut se transformer en une force dangereuse lorsqu'il dépasse ses frontières naturelles à cause de dérèglement climatique, L'Algérie est l'un des pays où les inondations se produisent fréquemment. Où les précipitations se distinguent par leur intensité accrue, telles que les inondations, les tempêtes peuvent avoir des conséquences graves sur les écosystèmes, les communautés humaines et l'ensemble de la planète (facteurs topographique, géologique, Hydrologie et météorologie...).

De nombreuses régions du pays sont fréquemment exposées à ces catastrophes naturelles, et leurs effets sont souvent amplifiés par d'autres facteurs qui agissent pour aggraver les conséquences des crues. Ces événements tragiques, qui entraînent souvent des pertes humaines et matérielles considérables, ne sont pas toujours le résultat de conditions météorologiques exceptionnelles. Ils surviennent fréquemment dans de nombreuses régions en raison des précipitations saisonnières normales, sans présenter de caractère exceptionnel.

III.1 Le risque d'inondations

Les risques sont généralement définis comme une combinaison de deux éléments essentiels : tout d'abord, *l'aléa*, qui représente la probabilité d'occurrence d'un phénomène naturel donné, et ensuite, *les enjeux spécifiques*, qui font référence à la présence des personnes, d'installations ou d'activités susceptibles d'être affectées par ce phénomène. La prévention des risques repose donc sur deux principaux axes d'intervention : d'une part la réduction de l'aléa, et d'autre part, la réduction des enjeux associés.

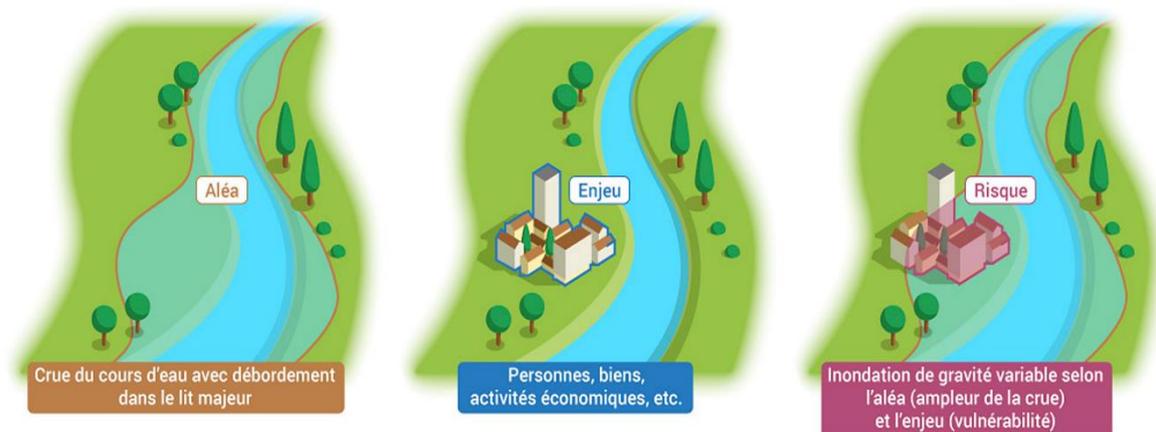


Figure.III.1 : Les combinaisons du risque (eaufrance.fr)

III.1.1 La crue :

C'est l'élévation du niveau d'un cours d'eau, résultant de la fonte des neiges ou des glaces ou de pluies abondantes, Elle est caractérisée par quatre paramètres :

- ✓ Le débit ;
- ✓ La hauteur d'eau ;
- ✓ La vitesse d'écoulement ;
- ✓ La durée.

Les inondations et les submersions marines représentent les risques naturels qui touchent le plus grand nombre de personnes en Algérie. Ces phénomènes saisonniers ont leur origine dans des précipitations soutenues et prolongées, mais peuvent également résulter de l'élévation du niveau de la mer ou de la saturation des eaux souterraines. Il est important de noter que ces risques naturels peuvent être considérablement exacerbés par les actions humaines et les aménagements réalisés dans les zones concernées.

III.2 Différents types d'inondations

Il existe plusieurs types d'inondations, notamment :

III.2.1 Le débordement de cours d'eau :

Les inondations par débordement de cours d'eau découlent de deux phénomènes :

- Les crues lentes de plaine.
- Les crues rapides et torrentielles.

✓ Les crues lentes de plaine :

Lorsque qu'un fleuve ou une rivière s'échappe lentement de son lit habituel et submerge progressivement son lit intermédiaire, voire son lit majeur, on évoque une inondation causée par une "crue lente en plaine".

Les zones touchées se situent dans la vallée de la rivière ou du fleuve, ce phénomène est souvent lié à des pluies répétées, prolongées ou intenses.

✓ Les crues rapides et torrentielles :

Les inondations torrentielles se manifestent principalement dans les régions montagneuses ou à relief prononcé, et elles se produisent à la suite de fortes précipitations ou lors de la fonte des neiges.

Elles se distinguent par une augmentation très rapide du niveau de l'eau, une nette accélération du courant du cours d'eau, et le déplacement de matériaux solides tels que des sédiments, des galets, des rochers, des morceaux de bois mort, et divers débris appelés embâcles.

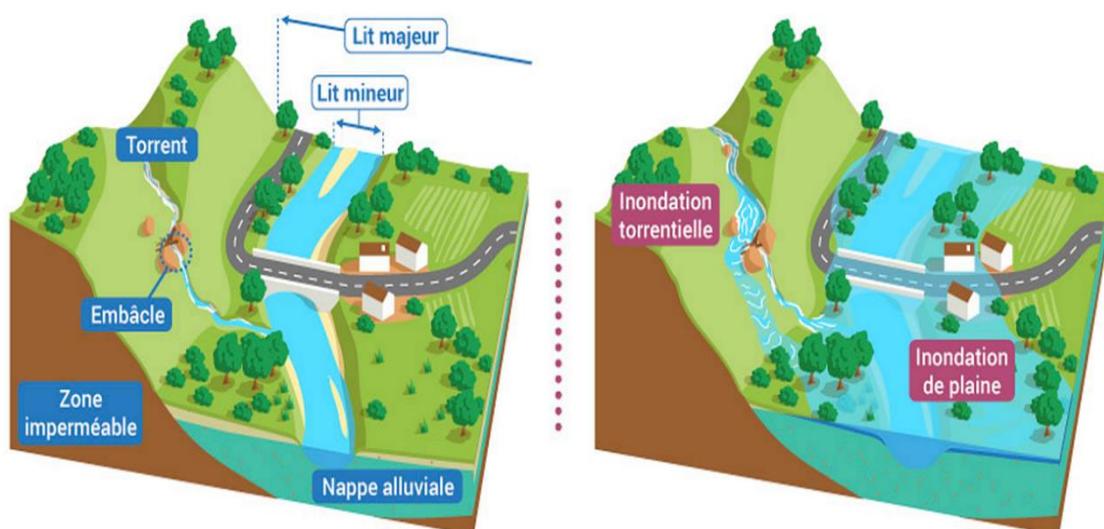


Figure. III .2 : Le débordement de cours d'eau (plaine et torrentielles) (eaufrance.fr).

III.2.2 Les inondations par ruissellement :

L'inondation par ruissellement survient lorsque les eaux de pluie ne peuvent plus être s'infiltrer dans le sol ou ne le sont pas du tout.

Ces inondations sont étroitement liées à l'intensité des précipitations et à la localisation des cellules orageuses. De plus, elles sont influencées par la quantité de pluie hivernale : après un hiver particulièrement pluvieux, le sol, déjà saturé en eau, a une capacité de rétention réduite.

Les dommages principalement observés comprennent l'envahissement et la souillure des routes et des habitations, parfois même leur destruction, ainsi que l'obstruction des canalisations, des fossés et des bassins de rétention des eaux pluviales, ce qui peut accentuer le risque d'inondation.

En général, l'expansion des surfaces imperméables constitue à la fois une cause et un facteur qui aggrave le phénomène de ruissellement.

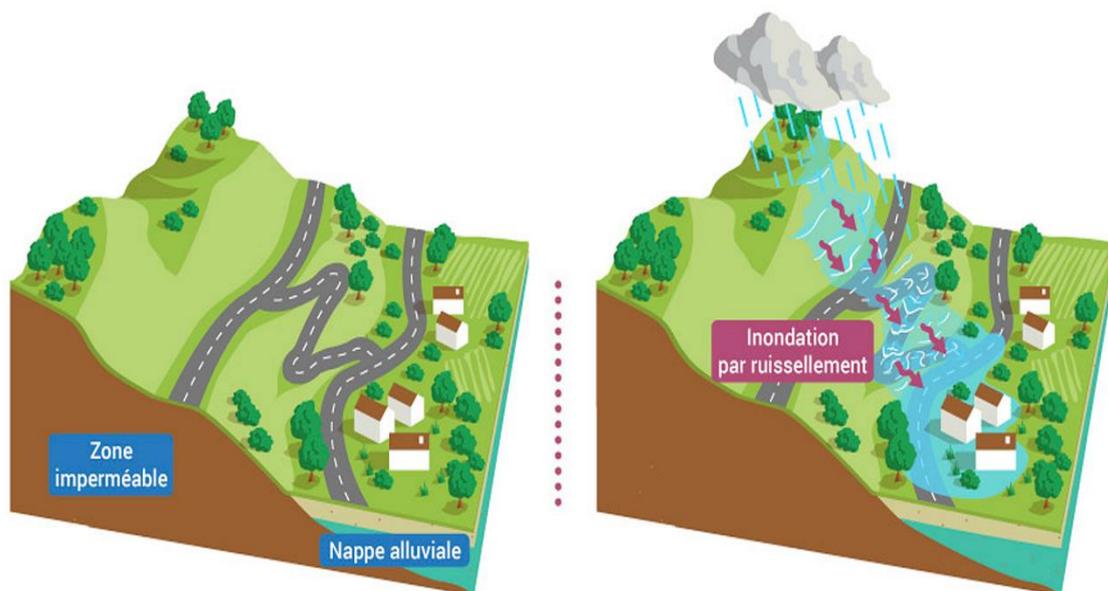


Figure.III.3 : Les inondations par ruissellement (eaufrance.fr).

III.2.3 Les remontées de nappes :

L'inondation par remontée de nappes se produit lorsque le niveau de la nappe phréatique s'élève jusqu'à atteindre la surface du sol, entraînant ainsi l'inondation.

La recharge des nappes se produit principalement pendant la saison hivernale, car c'est une période favorable à l'infiltration d'une plus grande quantité d'eau de pluie dans le sol.

Elles reçoivent leur approvisionnement grâce à l'infiltration d'une portion de l'eau de pluie qui pénètre dans le sol.

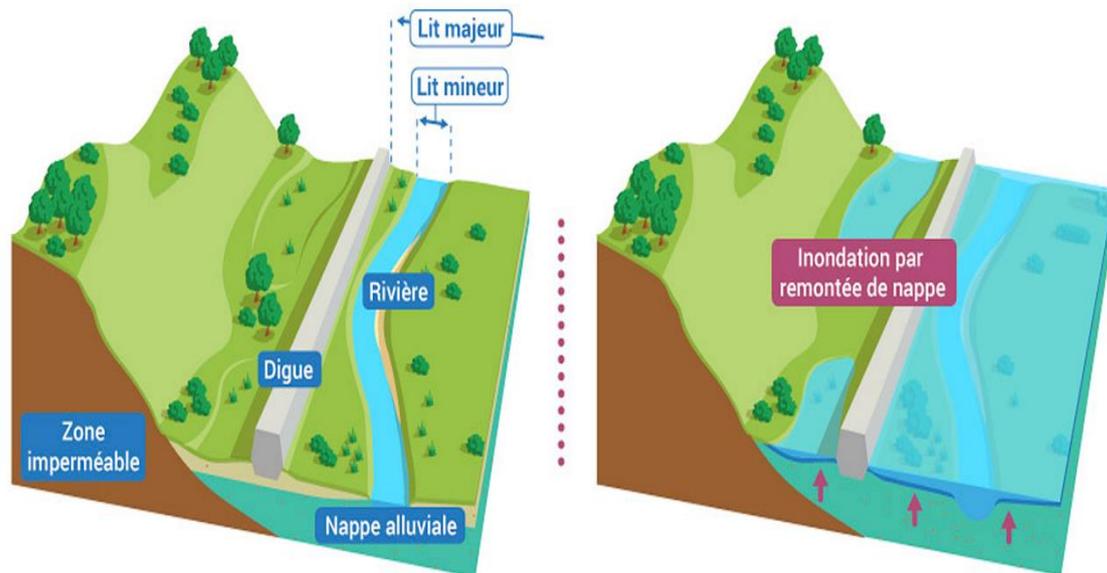


Figure.III.4 : La remontée de nappes (eaufrance.fr).

III.2.4 Les submersions marines :

Les submersions marines correspondent à des inondations soudaines et de courte durée, survenant sur la zone côtière en raison de conditions météorologiques et océaniques adverses. Ces événements se déroulent généralement sur une période allant de quelques heures à quelques jours.

Il existe trois modes distincts de submersion marine :

- ❑ **La submersion par débordement** se produit lorsque le niveau de la mer dépasse la hauteur des ouvrages ou du terrain naturel.
- ❑ **La submersion par franchissements** de paquets de mer liés aux vagues survient lorsque, suite au déferlement de la houle, les vagues dépassent la cote de crête des ouvrages ou du terrain naturel. Ces franchissements peuvent entraîner, sur les plages galetées notamment, d'importantes projections de galets en arrière-plage, avec des conséquences destructrices significatives.
- ❑ **La submersion due à la rupture du système de protection**, qui peut résulter de la défaillance d'un ouvrage de protection ou de la formation de faille dans le cordon littoral, se produit suite à l'impact de la houle, lorsque les terrains situés en arrière sont positionnés plus bas que le niveau de la mer. Cette rupture du système de protection peut avoir diverses origines, parmi lesquelles un entretien insuffisant des ouvrages de protection, une érosion chronique sévère, des phénomènes de surverse, des déséquilibres dans le transport des sédiments le long du littoral, et d'autres facteurs similaires.

Les submersions marines se produisent en présence de conditions météorologiques et marégraphiques particulières.

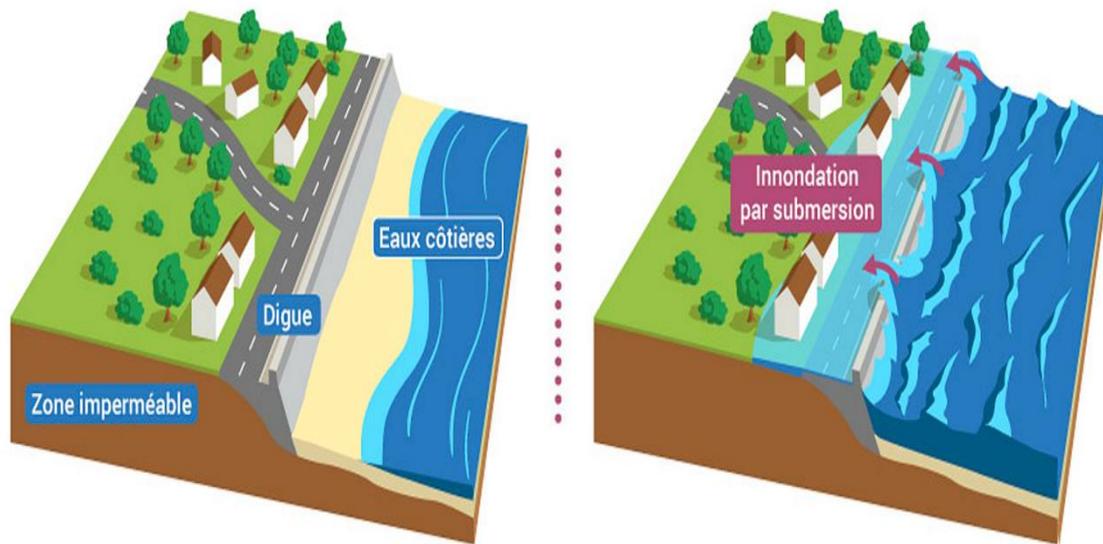


Figure.III.5 : Les submersions marines (eaufrance.fr).

III.3 Les facteurs déclenchants d'inondations

Les inondations peuvent être déclenchées par divers facteurs, voici quelques-uns des facteurs déclenchants les plus courants.

- a. Facteurs naturels : elles consistent aux Changement climatique (Précipitations intenses, Température, Crues de rivières, Débordement de barrages ou de digues, conditions météorologiques et marégraphiques...).
- b. Facteurs humains : elles correspondent aux mauvaises gestions des bassins versants et aussi la mauvaise construction d'ouvrages hydrauliques, comportements individuels (le rejet de déchets dans les canaux, les rivières ou les égouts pluviaux) et aussi le réchauffement climatique (la principale cause c'est les activités humaines).

Pour conclure :

Le risque d'inondation peut être défini comme (la résultante de deux éléments) : d'une part, l'eau qui a la capacité de quitter son cours d'écoulement habituel, et d'autre part, l'être humain qui choisit de s'établir dans les zones alluviales en y érigeant une variété de constructions, d'infrastructures et en y menant diverses activités qui peut causer des dégâts et pertes humaines et matérielles.

III.4 Les conséquences des inondations

Les inondations peuvent entraîner de nombreuses conséquences qui affectent à la fois les individus et les communautés. Voici quelques-unes des conséquences courantes engendrées par les inondations :

- Perte de vies humaines et Blessures physiques.
- Dommages aux biens qui causent Pertes financières et impacts économiques.

- La malnutrition peut causer des Problèmes de santé à long terme.
- Dégradation de l'environnement et Perte de récoltes.
- Contaminations des eaux. Et Pertes animales.

III.5 Historique des inondations catastrophiques en Algérie

❑ 08 Octobre 1969 :

Forte chute de pluie se sont abattues sur la ville de El Meghaier.

Dégâts :

- ✓ Mort de 19 Personne et plusieurs blessés et sinistrés.
- ✓ Des cultures de maraîchages détruites.



Figure.III.6 : Les inondations D'El Meghaier en 1969 (Journal).

❑ 01 Septembre 1989 :

Fortes chutes de pluies à la wilaya de BISKRA accompagnées de grêles et d'un vent d'une rare violence provoquant le débordement des oueds El Arab, El Mellah et El Kheddra.

Dégâts :

- ✓ 02 morts et 35 blessés.
- ✓ 400 palmiers, des serres et de cultures de maraîchages détruites.

❑ 11 Novembre 2001 :

Pluies diluviennes s'abattent sur Alger et inonde la région de Bab El Oued.

Dégâts :

- ✓ 733 morts et 30000 sinistrés.
- ✓ Dégâts matériels importants.



Figure.III.7 : Les inondations de Beb-EL-OUED “ALGER 2001 (Journal El Moudjahid).

❑ **01 Octobre 2008** :

Pluies violentes localisées à Ghardaïa faisant dangereusement monter le niveau de l'eau dans les cours d'eau.

Dégâts :

- ✓ Plus de 33 morts, 84 blessés et près de 600 habitations détruites.



Figure.III.8 : Crue de l'Oued Mzab le 01 octobre 2008 à Ghardaia (journal El-WATAN).

❑ **01-02 Octobre 2011 :**

De fortes inondations frappent la ville d'El Bayadh par débordement de l'Oued Deffa.

Dégâts :

- ✓ 13 morts, 400 familles sinistrées et des dégâts matériels importants.



Vue globale de la zone inondée (en rouge) détectée sur les images multispectrales d'Alsar-2A prises après les inondations

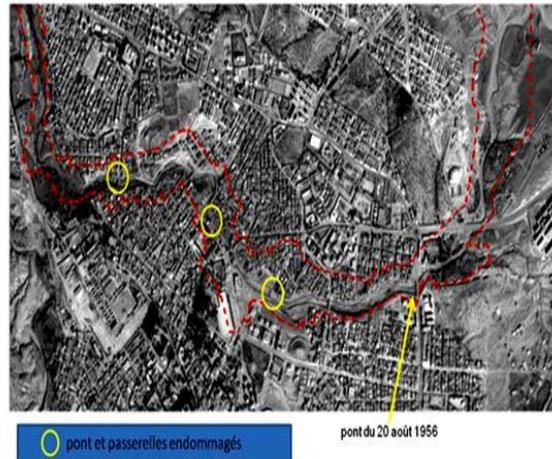


Figure.III.9 : les inondations de la wilaya d'el Bayadh (Agence Spatiale Algérienne).

❑ **15 Septembre 2015 :**

Forte chute de pluie se sont abattues sur la ville de Tamanrasset provoquant des crues d'Oued Amsel.

Dégâts :

- ✓ Des pertes humaines importantes 12 victimes.
- ✓ Des pertes matérielles considérables (source : Algérie 360°).

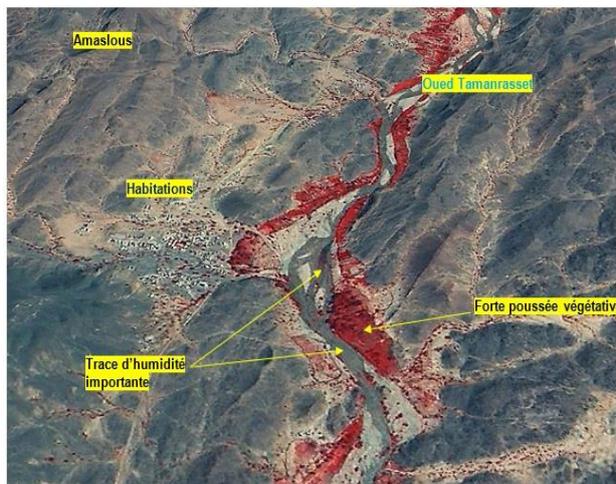


Figure.III.10 : Mise en évidence des effets des inondations dans la région de Tamanrasset à partir de l'imagerie satellitaire (Agence Spatiale Algérienne).

❑ 25 -27 Mai 2023 :

Pluies torrentielle survenues après une longue période de sécheresse dans plusieurs communes à la ville de Tipasa les plus gravement touchées sont : Bousmail, Bouharoun, Koléa, Fouka.

Dégâts :

- ✓ Morts, plus de 122 familles dont les habitations ont été détruites.
- ✓ Des dégâts matériels considérables et l'érosion du sol.



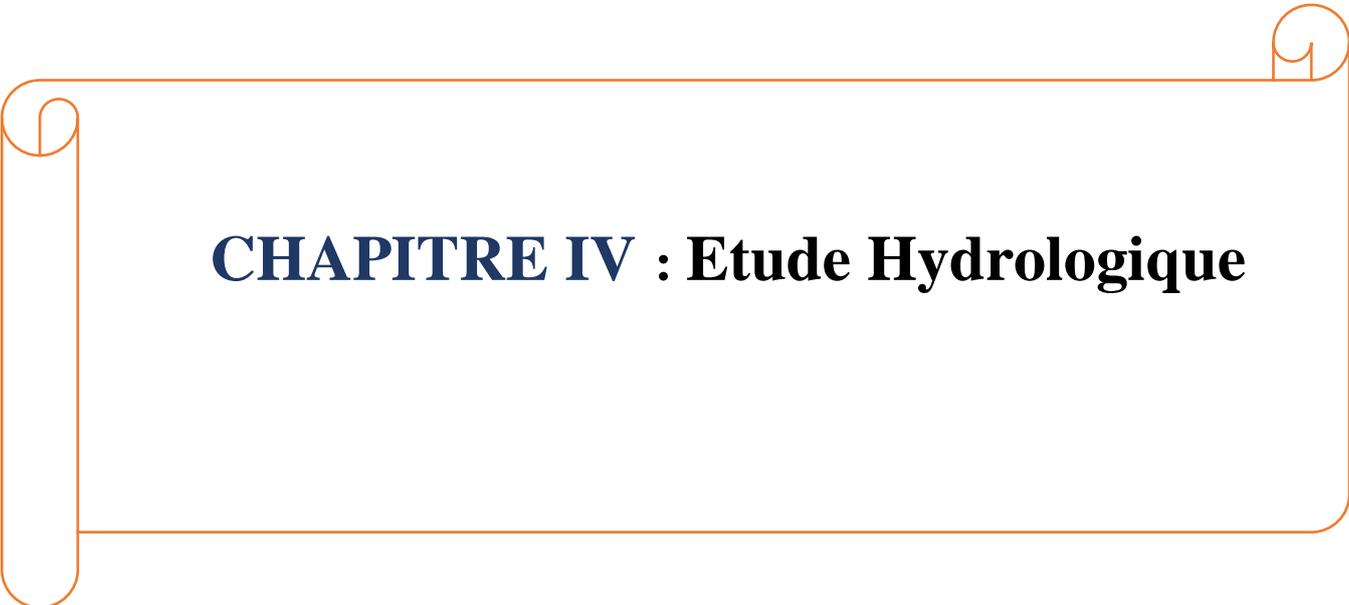
Figure.III.11 : Les dégâts des inondations de Tipasa (journal El Moudjahid).

III.6 Les inondations dans la zone d'étude

La région d'Oum Thiour dispose d'un réseau hydrographique bien développé, mais l'épandage au milieu des habitants crée un grave problème d'inondation tant pour les résidents que pour les palmiers lors de fortes précipitations, et pour résoudre cette situation, il est impératif de trouver une solution.

Conclusion

- Une crue est un niveau inhabituel observé dans un cours d'eau, son intensité varie spatialement et temporairement. Les conséquences qu'elle engendre en milieu naturel sont moindres tant qu'en milieu urbain, on ne peut jamais prévoir quelle ampleur peuvent atteindre les dégâts humains et matériels entraînés par les inondations qui se produisent.
- Cette problématique est particulièrement complexe à gérer. La protection des agglomérations de ce type de catastrophe nécessite l'implication de plusieurs disciplines afin de déterminer les divers paramètres contribuant dans leur formation ainsi que les solutions appropriées.



CHAPITRE IV : Etude Hydrologique

Introduction

L'hydrologie est une branche des sciences naturelles qui se fonde sur l'examen du cycle de l'eau et ses caractéristiques. Elle se consacre à l'analyse des océans, des cours d'eau et des réserves souterraines, y compris les nappes phréatiques. Un bilan hydrologique revêt une importance cruciale dans la gestion des ressources hydriques et dans l'optimisation de la consommation de chaque acteur concerné.

Ainsi, une analyse hydrologique approfondie s'avère fondamentale lors de la planification et de la construction d'une infrastructure hydrotechnique. Ce chapitre poursuit donc l'objectif de caractériser les paramètres hydrologiques prédominants de la zone d'étude, après avoir délimité les Trois bassins versants de la ville de Oum Thiour et déterminer ces caractéristiques en utilisant le logiciel ArcGIS. Estimer les périodes de retours et déterminer les débits de crue nécessaire pour la conception de l'aménagement des oueds qui serviront à la protection de la zone contre les inondations.

IV.1 Bassin versant

IV.1.1 Définition :

Un bassin versant est une cuvette naturelle, délimitée par une ligne de crêtes, à l'intérieur de laquelle les eaux alimentent un même exutoire, qui peut être une confluence ou un estuaire.

Dans un bassin versant, l'eau circule par :

- Ruissellement sur le sol.
- Infiltration dans le sol.
- Écoulement dans les cours d'eau.
- Évaporation dans l'atmosphère.

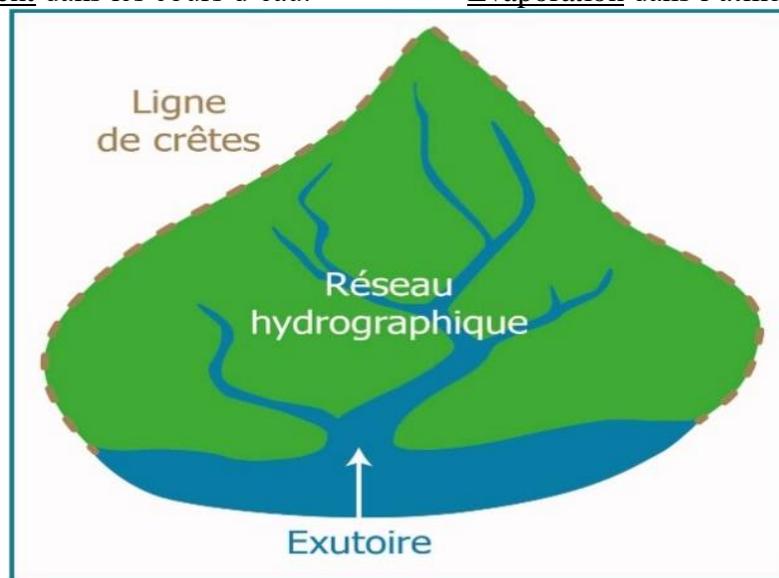


Figure. IV.1: Schéma de principe d'un bassin versant (SEMEA, 2020).

IV.1.2 Caractéristiques morphologiques du bassin versant :

Les caractéristiques morphométriques du bassin versant de la commune de Oum Thiour (Figure IV.2) ont été obtenus grâce à un MNT (Model Numérique Terrain).

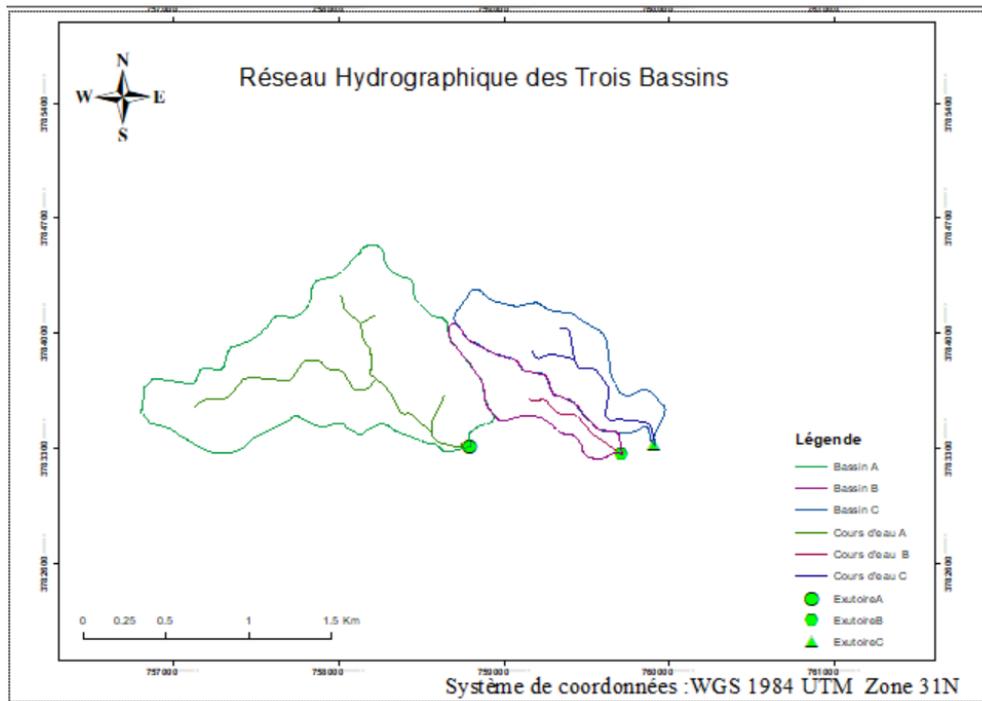


Figure.IV.2 : Réseau hydrographique des bassins versant.

Les bassins de Oum Thiour s'étendent sur :

IV.1.2.1 Surfaces des bassins versants :

La topographie du terrain représente le facteur de première importance, car elle exerce un contrôle significatif sur divers aspects des phénomènes hydrologiques tels que les apports, les quantités de précipitations ou les infiltrations.

Les surfaces des bassins étudiés est estimée à :

Tableau. IV.1: Récapitulatif des valeurs de surfaces des bassins versants.

Bassin versant	Superficie (km ²)
BV (A)	1.417
BV(B)	0.25
BV(C)	0.47

IV.1.2.2 Périmètre :

Le périmètre correspond à la frontière externe du bassin. Chaque bassin réagit de manière distincte aux précipitations qui le touchent. Ces propriétés hydrologiques dépendent, d'une part, du climat auquel il est soumis, et d'autre part, de ses caractéristiques propres en termes de milieu physique.

Les périmètres des bassins étudiés est estimée à :

Tableau. IV.2: Récapitulatif des valeurs de périmètres des bassins versants.

Bassin versant	Périmètre (km)
BV(A)	6.13
BV(B)	3.17
BV(C)	3.73

IV.1.2.3 La longueur du thalweg principal :

La longueur d'un bassin versant est la distance curviligne mesurée le long du cours d'eau principal depuis l'exutoire jusqu'à un point représentant la projection du centre de gravité du bassin sur un plan (déterminer en utilisant le logiciel ArcGIS).

Tableau.IV.3 : Récapitulatif des valeurs de La longueur des bassins versants.

Bassin versant	Longueur (km)
BV(A)	2.35
BV(B)	1.36
BV(C)	1.58

IV.1.3 Caractéristiques géométriques :

IV.1.3.1 Indice de compacité de Gravelius :

Indice de Gravelius « K_c » Appelé aussi indice de forme. Cet indice caractérise la forme du bassin et exprime l'allongement des bassins versant.

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

Avec :

A : Superficie du bassin (Km²) ;

P : Périmètre du bassin (Km) ;

K_c : Indice de compacité de Gravelius.

Pour :

$K_c < 1.25$ Bassin compact

$1.25 < K_c < 1.5$ Bassin de forme moyenne

$K_c > 1.5$ Bassin allongé

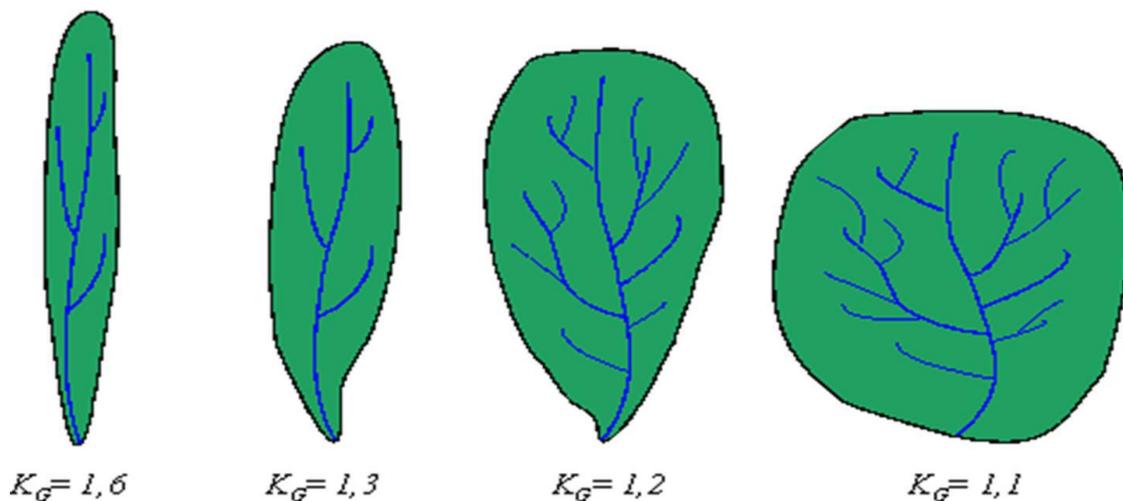


Figure. IV.3 : Différents types des BV selon le coefficient de Gravelius K_c (Musy et al, 2003).

Tableau. IV.4 : Récapitulatif des valeurs d'Indice de compacité de Gravelius des bassins versants.

Bassin versant	K_c	Observations
BV(A)	1.44	Allongé
BV(B)	1.77	Allongé
BV(C)	1.52	Allongé

IV.1.3.2 Rectangle équivalent :

Le rectangle équivalent ou rectangle de Gravelius, est une en vertu de laquelle on assimile le bassin à un rectangle ayant le même indice de compacité et la même hypsométrie que le bassin étudié. Ce dernier permet de comparer les bassins versants entre eux du point de vue de l'écoulement.

$$L, l = k_c \frac{\sqrt{A}}{1.128} \left\{ 1 \pm \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{k_c} \right)^2} \right\}$$

Avec « L » : la longueur et « l » : la largeur en (km)

Les résultats des paramètres morphométriques du bassin versant de la région d'étude sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau.IV.5 : Paramètres morphométriques du bassin versant.

Bassin Versant (A)	Surface (km^2)	Périmètre (km)	k_c	L (Km)	l (Km)
	1.417	6.131	1.44	2.464	0.575
Bassin Versant (B)	Surface (km^2)	Périmètre (km)	k_c	L (Km)	l (Km)
	0.25	3.17	1.77	1.389	0.179
Bassin versant (C)	Surface (km^2)	Périmètre (km)	k_c	L (Km)	l (Km)
	0.47	3.73	1.52	1.543	0.304

IV.2 Le relief

Le relief exerce une influence significative sur la configuration de l'hydrogramme de crue. Une pente abrupte induit un écoulement plus rapide, réduisant ainsi le temps de concentration et entraînant une montée de la crue plus rapide. L'importance de l'étude du relief se manifeste à travers la représentation altimétrique du terrain sous forme d'une courbe connue sous le nom de "courbe hypsométrique".

IV.2.1 La courbe hypsométrique :

La courbe hypsométrique est directement liée au relief. Elle constitue une représentation graphique de la répartition altimétrique du terrain, ce qui signifie qu'elle offre une visualisation des variations d'altitude sur une région donnée. Ainsi, la courbe hypsométrique permet de caractériser le relief en montrant comment les différentes altitudes sont réparties dans une zone, ce qui est essentiel pour comprendre les caractéristiques topographiques et l'influence du relief sur des phénomènes tels que les crues.

IV.2.2 Répartition et Courbe hypsométrique :

La répartition des surfaces élémentaires et leurs cumule en fonction des altitudes ont été obtenues avec logiciel ArcGIS. Les résultats obtenus sont donnés dans les tableaux suivants.

Tableau.IV.6 : Répartition des surfaces du bassin A.

Altitude(m)	Hi (m)	Surfaces partielles (Km2)	Surfaces partielles (%)	Surfaces Cumulées (%)
24-40	32.0	0.080	5.641	5.64
40-45	42.5	0.518	36.649	42.29
45-50	47.5	0.366	25.864	68.15
50-55	52.5	0.173	12.216	80.37
55-59	57.0	0.278	19.630	100

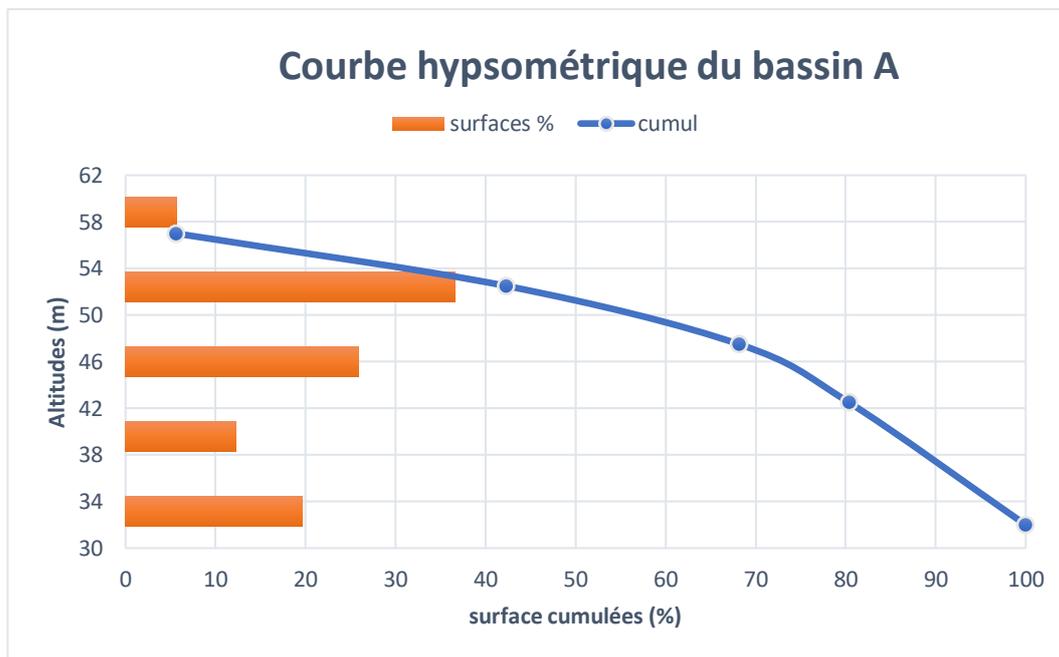


Figure.IV.4 : Répartition des surfaces et courbe hypsométrique du bassin A.

Tableau.IV.7 : Répartition des surfaces bassin B.

Altitude(m)	Hi (m)	Surfaces partielles (Km2)	Surfaces partielles (%)	Surfaces Cumulées (%)
21-30	25.5	0.009	3.70	3.70
30-40	32.5	0.034	13.74	17.44
40-45	37.5	0.055	22.32	39.76
45-50	45.0	0.074	30.51	70.27
50-54	52.0	0.073	29.73	100.78

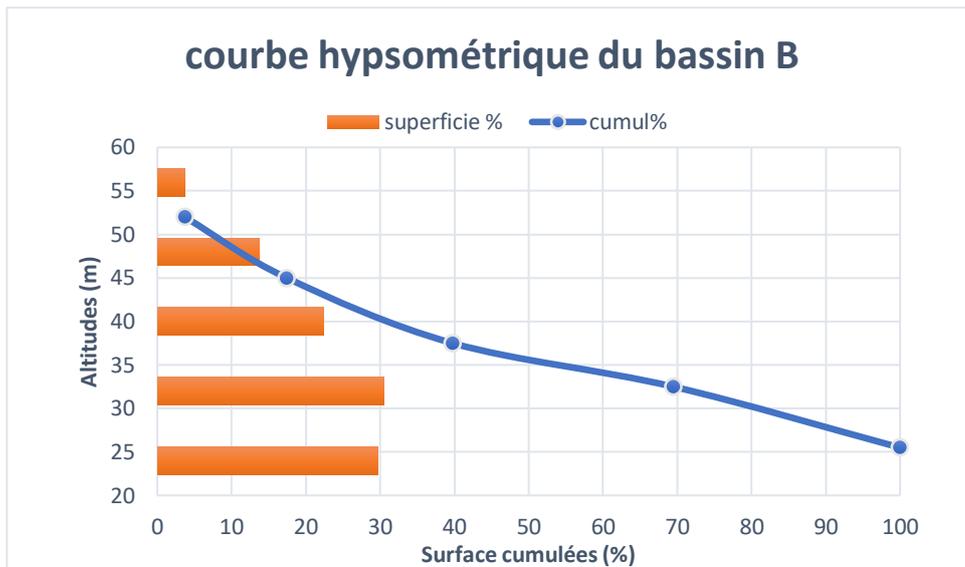


Figure. IV.5 : Répartition des surfaces et courbe hypsométrique du bassin B.

Tableau.IV.8 : Répartition des surfaces du bassin C.

Altitude(m)	Hi (m)	Surfaces partielles (Km2)	Surfaces partielles (%)	Surfaces Cumulées (%)
21-30	25.5	0.01	2.60	2.60
30-40	35.0	0.04	9.54	12.13
40-45	42.5	0.05	10.13	22.26
45-50	47.5	0.16	33.52	55.78
50-54	52.0	0.21	44.22	100.00

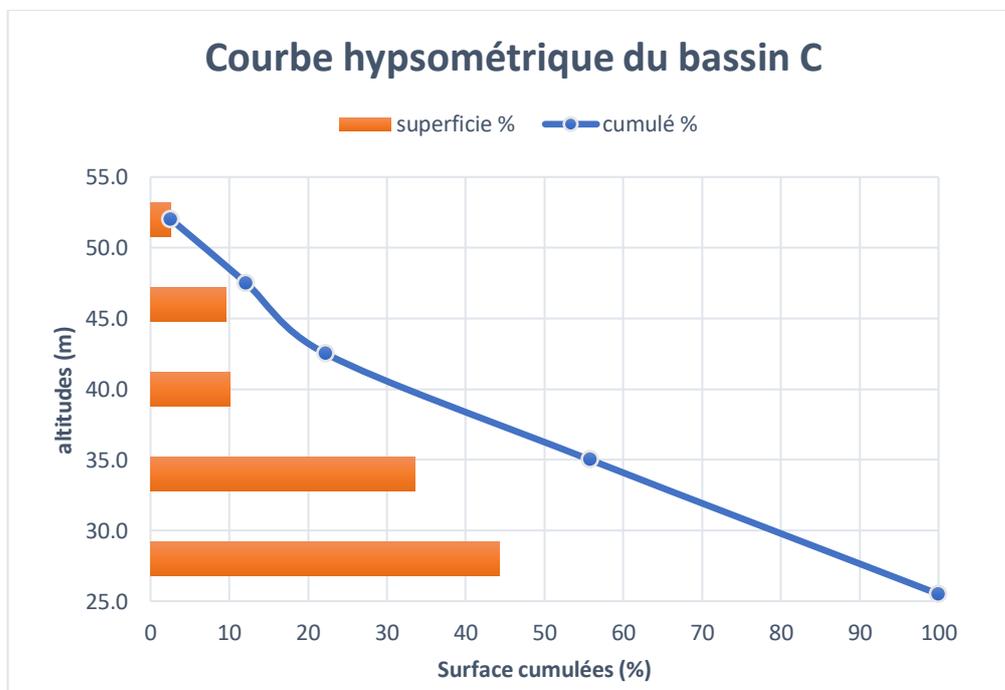


Figure. IV.6: Répartition des surfaces et courbe hypsométrique du bassin C.

IV.2.3 Les principales caractéristiques altimétriques :

Correspondent à L'altitude moyenne (H_{moy}) : est calculée par la formule

$$H_{moy} = \frac{\sum S_i \times H_i}{S} \quad \text{Avec} \quad H_i = \frac{H_{n-1} + H_n}{2}$$

H_i : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau consécutives $n-1$ et n en (m).

S_i : Surface partielle comprise entre deux courbes de niveau consécutives $n-1$ et n en (km^2).

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

Tableau.IV.9 : Récapitulatif des valeurs des altitudes caractéristiques des bassins versants.

Altitude	H_{min}	H_{max}	H_{moy}	$H_{50\%}$	$H_{95\%}$	$H_{5\%}$
BV(A)	32	59	46.10	51.25	34.75	57
BV (B)	25.5	54	33.92	36	27.25	52
BV(C)	25.5	54	33.30	36.75	27.20	51.25

IV.2.1 La pente moyenne du cours d'eau principal :

☐ **Indice de pente globale I_g**

$$I_g = \frac{D}{L} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L}$$

Avec :

- L'altitude médiane « $H_{5\%}$ » : C'est la projection du point qui correspond à 5% de la surface cumulée sur la courbe hypsométrique.
- L'altitude médiane « $H_{95\%}$ » : C'est la projection du point qui correspond à 95% de la surface cumulée sur la courbe hypsométrique.
- L'altitude médiane « $H_{50\%}$ » : C'est la projection du point qui correspond à 50% de la surface cumulée sur la courbe hypsométrique.

Tableau. IV.10: Classification ORSTOM du relief à partir de l'indice de pente global.

	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	$0.1 < I_g$

Tableau. IV.11: Récapitulatif des valeurs de l'indice de pente globale.

Bassin versant	I_g	Observation
BV _A	0.0094	Relief assez faible
BV _B	0.0181	Relief modéré
BV _C	0.0152	Relief modéré

☐ **La pente du bassin versant**

$$I_{BV} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}$$

Avec :

- ✓ L : Longueur de talwegs (km) ;
- ✓ H_{max} et H_{min} : Hauteur maximale et minimale (m).

Tableau.IV.12 : Récapitulatif des valeurs de la pente des bassins versants.

I_{BVA}	0.0115
I_{BVB}	0.0209
I_{BVC}	0.183

☐ **Indice de pente moyenne**

$$I_{pm} = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{L_r}$$

- ✓ H_{\min} et H_{\max} : Altitude minimale et maximale (m).
- ✓ L_r : Longueur du rectangle équivalent (km).

Tableau.IV.13 : Récapitulatif des valeurs de la pente moyenne des bassins versants.

I_{pm} (BV A)	0.0109
I_{pm} (BV B)	0.0205
I_{pm} (BV C)	0.0185

IV.2.2 Dénivelée spécifique D_s :

La dénivelée spécifique « D_s » permet d'utiliser la classification de l'O.R.S.T.O.M. qui permet de définir les différents types de relief des bassins versants quelque soient leurs superficies. La dénivelée spécifique est définie comme suit est données par la formule suivante :

$$D_s = I_g * \sqrt{S_{bv}}$$

Tableau. IV.14 : Récapitulatif des valeurs de dénivelée spécifique.

Bassin versant	D_s
BV _A	11.21
BV _B	9.09
BV _C	10.43

IV.3 Caractéristique hydrographique du bassin

IV.3.1 Le réseau d'écoulement :

Densité de drainage (D_d) : $D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{S}$

Tableau. IV.15: Récapitulatif des valeurs de densité de drainage des bassins versants.

D_d (bassin A)	1.66
D_d (bassin B)	5.44
D_d (bassin c)	3.36

IV.3.2 Temps de concentration du bassin versant T_c :

C'est le temps que met la particule d'eau la plus éloignée pour arriver à l'exutoire.

- ❖ Formule de GIANDOTTI

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5 L_{CP}}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

Avec :

S : surface du bassin versant(km^2) ;
 L_{CP} : Longueur du cours d'eau principale (km) ;
 t_c : temps de concentration exprimé en heure (h) ;
 H_{moy} : altitude moyenne (m) ;
 H_{min} : altitude minimale (m).

Tableau.IV.16 : Récapitulatif des valeurs de la Formule de GIANDOTTI.

$t_c(bassin A)$	2.76
$t_c(bassin B)$	1.80
$t_c(bassin C)$	2.36

❖ Formule de TURAZZA

$$t_c = 0.108 \frac{\sqrt[3]{S * L}}{\sqrt{I}}$$

Avec :

t_c : Temps de concentration (h) ;
 S : Surface du bassin versant (Km^2) ;
 L : Longueur du cours d'eau principal (Km) ;
 I : Pente moyenne du cours d'eau (m/m).

Tableau. IV.17 : Récapitulatif des valeurs de la Formule de TURAZZA.

$t_c(bassin A)$	1.50
$t_c(bassin B)$	0.52
$t_c(bassin C)$	0.72

❖ Formule de VENTURA

$$t_c = 0,1272 * \frac{\sqrt[2]{S}}{\sqrt{I}}$$

Avec :

t_c = Temps de concentration (h) ;
 I : Pente du bassin versant (m/m) ;
 S : Surface du bassin versant (Km^2).

Tableau.IV.18 : Récapitulatif des valeurs de la Formule de VENTURA.

$t_c(BV A)$	1.41
$t_c(BV B)$	0.44
$t_c(BV C)$	0.65

❖ Formule de SOKOLOVSKY

$$t_c = 4 \times \left[\frac{(S * L)^{0.333}}{\sqrt{I}} \right]^{0.75}$$

t_c : Temps de concentration (h) ;

L : Longueur du thalweg principal (Km) ;
 S : Superficie du bassin versant (km²) ;
 I : Pente du bassin versant (m/km).

Tableau.IV.19 : Récapitulatif des valeurs de la Formule de SOKOLOVSKY.

$t_c(BV A)$	2.15
$t_c(BV B)$	0.97
$t_c(BV C)$	1.25

Tableau.IV.20 : Récapitulatif des valeurs du temps de concentration des bassins versants.

	$t_c(BVA)$ (h)	$t_c(BV B)$ (h)	$t_c(BV C)$ (h)
Formule de GIANDOTTI	2.76	1.80	2.36
Formule de TURAZZA	1.50	0.52	0.72
Formule de VENTURA	1.41	0.44	0.65
Formule de SOKOLOVSKY	2.15	0.97	1.25

Donc : on prend la valeur qui est estimée par la Formule de VENTURA pour les trois bassins qui sont recommandée car elles tiennent en compte plusieurs paramètres en relation avec la morphologie du site.

$$t_c(BV A) = 1.41h \quad ; \quad t_c(BV B) = 0.44 h \quad ; \quad t_c(BV C) = 0.65 h$$

IV.3.3 Vitesse de ruissellement :

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

V_r : Vitesse de ruissellement (Km/h) ;
 L : Longueur du thalweg principal (Km) ;
 t_c : Temps de concentration (h).

Tableau. IV. 21 : Récapitulatif des valeurs de vitesse de ruissellement des bassins versants.

$V_r(BV A)$	1.67(km/h)
$V_r(BV B)$	3.09 (km/h)
$V_r(BV C)$	2.43(km/h)

IV.4 Résultats de calcul des caractéristiques du bassin versant

Tableau.IV.22 : Récapitulatif des caractéristiques du bassin versant.

		Symbole	Unité	BV _A	BV _B	BV _C
Surface		S	km ²	1.41	0.25	0.47
Périmètre		P	Km	6.13	3.17	3.73
Longueur du Thalweg Principal		L	Km	2.35	1.36	1.58
Indice de compacité		K_C		1.44	1.77	1.52
Rectangle équivalent	Longueur	L_r	Km	2.46	1.39	1.54
	Largeur	l_r	Km	0.57	0.18	0.30
Altitude	Max	H_{max}	m	59	54	54
	Moy	H_{moy}	m	46.10	33.92	33.30
	Médiane	H_{med}	m	51.25	36	36.75
	Min	H_{min}	m	32	25.5	25.5
Indices de pente globale		I_g	m/km	9.44	18.19	15.22
Indices de pente Moyenne		I_{pm}	m/km	10.97	20.50	18.51
Pente des Bassin Versant		I_{BV}	m/km	11.5	20.9	18.3
Dénivelée spécifique		D_s		11.21	9.09	10.43
Densité de drainage		D_d	Km/km ²	1.66	5.44	3.36
Temps de concentration		T_C	h	1.41	0.44	0.65
Vitesse de ruissellement		V_r	Km/h	1.67	3.09	2.43

IV.5 Analyse statistique des Pluies maximales journalières

Afin de calculer les caractéristiques climatiques de notre zone d'études nous avons utilisé une série de données pluviométriques de 40 ans (1981– 2020) que nous avons extraits du site de la Nasa (www.nasa.gov) pour les bassins A, B et C.

Cette analyse permettre d'estimer les quantiles correspondant aux périodes de retour : 5,10, 20, 50 et 100 ans, après avoir testé plusieurs lois (Gumbel et Log Normale).

Tableau.IV.23 : Pluie maximales journalière prise de site la Nasa (1981-2020).

Année	Pjmax	Année	Pjmax	Année	Pjmax	Année	Pjmax
1981	9.33	1993	9.80	2005	7.48	2017	24.85
1982	12.32	1994	10.71	2006	23.00	2018	8.28
1983	8.93	1995	9.69	2007	10.86	2019	8.02
1984	15.80	1996	7.99	2008	9.17	2020	7.24
1985	14.55	1997	20.43	2009	19.44		
1986	11.77	1998	10.29	2010	11.21		
1987	10.46	1999	16.58	2011	17.68		
1988	12.73	2000	6.28	2012	7.70		
1989	8.73	2001	11.75	2013	6.29		
1990	14.84	2002	10.48	2014	7.87		
1991	9.93	2003	10.11	2015	10.15		
1992	13.06	2004	23.69	2016	9.33		

IV.5.1 Ajustement de la série pluviométrique :

Dans le domaine de l'hydrologie, diverses approches sont utilisées pour ajuster les séries de données pluviométriques. L'efficacité d'une méthode d'estimation dépend de plusieurs facteurs, notamment la distribution de probabilité sous-jacente, la taille de l'échantillon et certaines caractéristiques spécifiques de l'échantillon.

Toutefois, de nombreuses études comparatives, empiriques et théoriques, ont été menées afin de déterminer dans quelles circonstances une méthode d'estimation est la plus efficace pour une loi donnée.

Les lois d'ajustement choisies sont :

- ✚ La loi de Gumbel (droite de HENRY).
- ✚ La loi de log-normale (droite de GALTON).

Les caractéristiques empiriques de la série de donnée ont été obtenues par le logiciel HYFRAN et sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau.IV.24 : Caractéristique de la série de donnée avec N = 40 ans.

Nombre des données	41
Minimum	6.28
Maximum	24.9
Moyenne	12.0
Ecart type	4.80
Médiane	10.4
Coeff de variation [Cv]	0.401
Coeff d'asymétrie [Cs]	1.33
Coeff d'aplatissement [Ck]	3.58

IV.5.1.1 Ajustement des pluies maximales à la loi de Gumbel :

L'ajustement de la série à la loi de Gumbel a été établi par le logiciel Hyfran, les résultats obtenus sont résumés dans le tableau IV.26.

Tableau. IV.25: Résultat de l'ajustement à la loi de Gumbel.

T(ans)	Pjmax			
	Gumbel	Q	Ecart-type	Intervalle de confiance
5	15.4	0.80	1.17	13.1 - 17.7
10	18.2	0.90	1.58	15.1 - 21.3
20	20.9	0.95	2	17.0 - 24.8
50	24.4	0.98	2.56	19.4 - 29.4
100	27	0.99	2.98	21.2 - 32.9

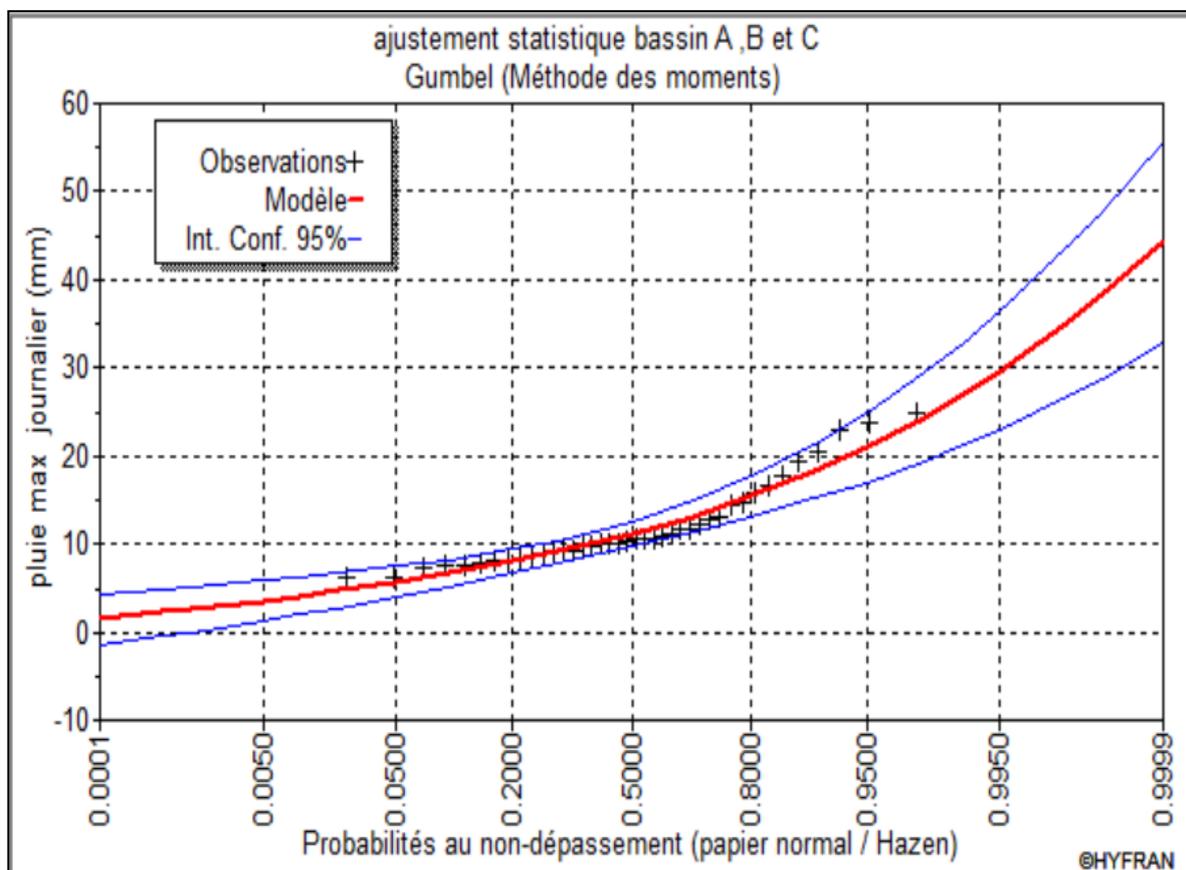


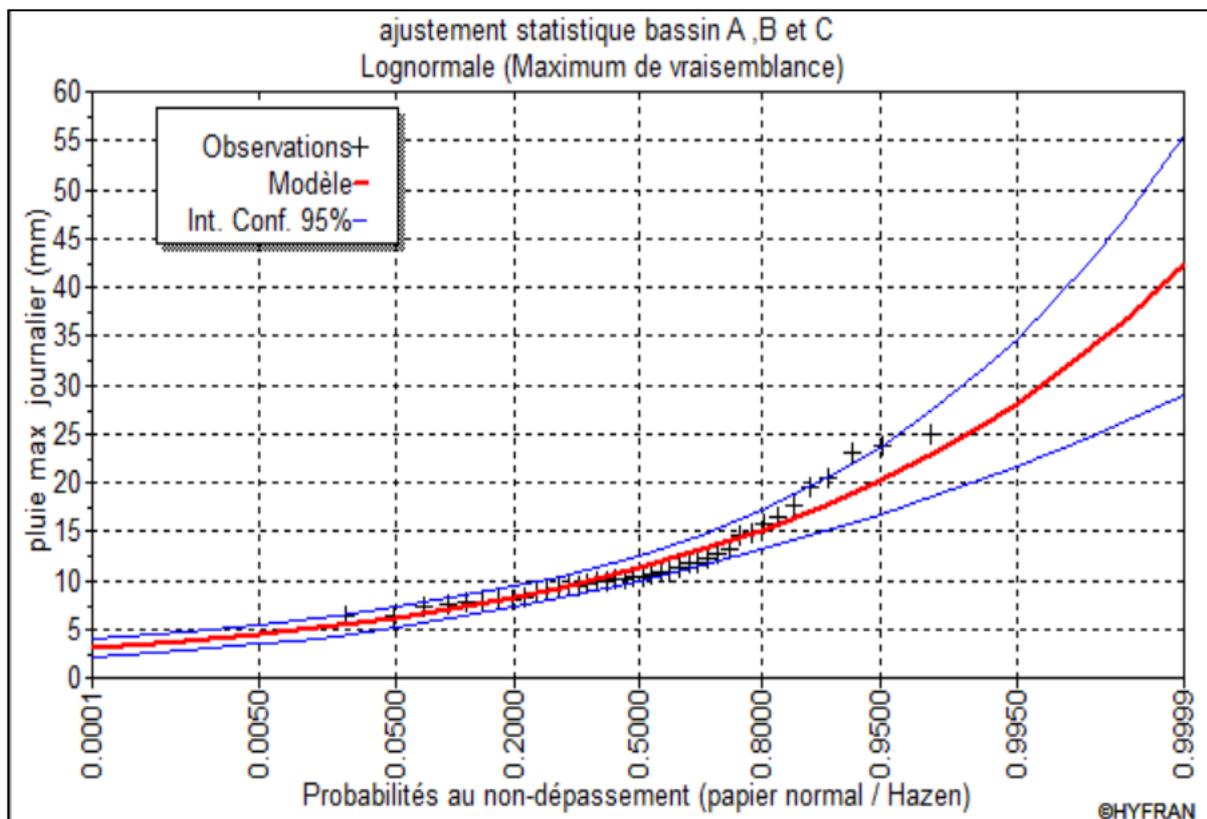
Figure.IV.7 : Graphe d'ajustement de la série des pluies maximales journalière à la loi de Gumbel.

IV.5.1.2 Ajustement des pluies maximales journalières à la loi log-normale :

L'ajustement de la série à la loi de log-normale a été établi par le logiciel Hyfran, les résultats obtenus sont résumés dans le tableau IV.27.

Tableau.IV.26 : Résultat de l'ajustement à la loi de Log-normale.

T(ans)	Pjmax			
	Log-normal	Q	Ecart-type	Intervalle de confiance
5	15.1	0.80	0.998	13.2 - 17.1
10	17.7	0.90	1.36	15.0 - 20.4
20	20.2	0.95	1.76	16.7 - 23.6
50	23.3	0.98	2.34	18.7 - 27.9
100	25.7	0.99	2.82	20.2 - 31.2

**Figure.IV.8** : Graphe d'ajustement de la série des pluies maximales journalières à la loi log-normale.

- **Choix de la loi d'ajustement**

- a. Interprétation graphique

Après l'analyse des deux graphes résultants des deux lois d'ajustement on remarque que les deux graphes sont presque identiques, donc on ne peut pas faire un choix et pour cela on doit effectuer un test d'adéquation.

a. Le test D'adéquation de khi carré (χ^2)

Tableau. IV. 27 : Résultats de test d'adéquation khi 2 des lois d'ajustement.

Lois de distribution	Degré de liberté	$\chi^2_{calculé}$	P-value	$\chi^2_{théorique}$
Gumbel	5	7.60	0.179	11.07
Log -normale	5	5.60	0.347	11.07

Conclusion :

On a $\chi^2_{calculé} < \chi^2_{Théorique}$ donc les deux lois s'ajustent avec notre série mais on opte pour la loi de Gumbel, car la distribution des données se trouve à l'intérieur de l'intervalle de confiance.

IV.5.2 Pluie de courte durée et leurs intensités à différentes Fréquences :

Pour une période donnée la quantité de pluie tombée dans un temps donné « T » est donnée par la formule de BODY. (ANRH 1984).

$$P_{cd} = P_{j \max p \%} \left(\frac{t}{24}\right)^b$$

Avec :

P_{cd} : Pluie de courte durée (mm) ;

P_{j max p %} : Pluie maximale journalière pour chaque fréquence (mm) ;

t : durée de l'averse;

D : l'épisode pluvieux ;

b : exposant climatique (b=0.19 donné par l'ANRH) .

- ❑ La détermination des intensités moyennes maximales pour différentes périodes de retour se fait par le biais de la formule :

$$I_t = \frac{P_c}{t}$$

Avec :

I_t : l'intensité maximale de période t (h) ;

P_c : Pluies de courte durée (mm).

Tableau.IV.28 : Pluies de courtes durées au temps de concentration pour différentes périodes de retour.

Pluie de courtes durées au temps de concentration						
	$t_c \backslash T$	5	10	20	50	100
BV (A)	1.41	8.99	10.62	12.20	14.24	15.76
BV (B)	0.44	7.20	8.51	9.78	11.41	12.63
BV (C)	0.65	7.76	9.17	10.53	12.29	13.60

Tableau. IV.29 : Intensité de courtes durées au temps de concentration pour différentes périodes de retour.

Intensité de pluies de courte durée au temps de concentration						
	$t_c \backslash T$	5	10	20	50	100
BV (A)	1.41	6.37	7.53	8.65	10.10	11.18
BV (B)	0.44	16.37	19.35	22.22	25.94	28.70
BV (C)	0.65	11.93	14.10	16.20	18.91	20.92

Voir (l'annexe N°3 et N°4) pour le tableau des pluies, intensités maximales de durée t (h) et la courbe de Pluies de courtes durées.

IV.6 Etude des apports liquides

IV.6.1 Apports moyens annuels :

Vu l'absence des données observées sur l'oued à aménager on fait appel aux formules empiriques pour l'estimation des apports liquides moyens annuels.

❖ Formule de SAMIE :

$$A_0 = Le * S$$

$$Le = P^2 * (293 - 2.2\sqrt{S})$$

Où :

Le : la lame d'eau écoulée, en mm ;

P : Précipitation moyenne annuelle, en P = 0.115 m ;

S : Superficie du bassin versant, en km² ;

A₀: Apport moyen annuel en m³.

❖ Formule de DERI (I) :

$$A_0 = 0.915 * p^{2.684} * S^{0.842}$$

S : surface du bassin versant(km²) ;

P : pluie moyenne annuelle (mm) = 0.115 m =115.04 mm ;

A₀: Apport moyen annuel (m³).

❖ Formule de L'A.N.R.H (DERI 2) :

$$A_0 = 0.513 * P^{2.683} * D_d^{0.5} * S^{0.842}$$

Où

P : Pluviométrie moyenne annuelle en m ;

A₀ : Apport moyen annuel en m³;

S : Superficie du bassin versant en km² ;

D_d: Densité de drainage (D_d).

Tableau. IV.30 : Récapitulatif des formules apports moyens annuels.

Formules	Apport liquide (m3)			
		BV1	BV2	BV3
SAMIE	Le	3.84	3.86	3.85
	A0	5445.48	965.76	1813.10
DERI (I)	A0	417.05	96.78	164.68
L'A.N.R.H	A0	301.91	126.84	169.61

Après analyse des résultats, on prend les valeurs de la formule de SAMIE parce que sont proches aux valeurs moyennes entre les 3 formules empiriques.

IV.7 Caractéristiques de l'écoulement

IV.7.1 Module de l'écoulement (M_e) :

Il est donné par :
$$M_e = \frac{A_0}{T}$$

A_0 : Apport moyen annuel [litres] ;

T : Temps d'une année en [secondes] " $T = 31\ 536\ 000$ secondes".

Tableau.IV.31 : Valeur de Module de l'écoulement.

Bassin versant	BV(A)	BV(B)	BV(C)
M_e [L/s]	0.173	0.0306	0.0575

IV.7.2 Module de l'écoulement relatif ou spécifique (M_0) :

On a :
$$M_0 = \frac{M_e}{S}$$

M_e : Module de l'écoulement [l/s] ;

S : Superficie du bassin [Km²].

Tableau.IV.32 : Valeur de Module de l'écoulement relatif ou spécifique.

Bassin versant	BV(A)	BV(B)	BV(C)
M_0 (L/s.km ²)	0.1221	0.1224	0.1223

IV.7.3 Lamme d'eau écoulée (L_e) :

On a :
$$L_e = \frac{A_0}{S}$$

A_0 : Apport moyen annuel [litres] ;

S : Superficie du bassin.

Tableau. IV.33 : Récapitulatif de la Lamme d'eau écoulée.

Bassin versant	BV(A)	BV(B)	BV(C)
L_e	3.843	3.863	3.858

IV.7.4 Coefficient de l'écoulement (C_e) :

Il est donné par :
$$C_e = \frac{L_e}{P_{moy}}$$

P_{moy} : Pluie moyenne annuelle en [mm] ;

L_e : Lamme d'eau écoulée en [mm].

Tableau.IV.34 : Récapitulatif de Coefficient de l'écoulement.

Bassin versant	BV(A)	BV(B)	BV(C)
C_e	0.0334	0.0336	0.0335

IV.7.5 Coefficient de variation (C_v) :

Pour le calcul du coefficient de variation C_v et en absence d'une série d'observation, on doit utiliser les formules empiriques suivantes :

❖ Formule d'OURKGUIPROVODKHOZ :

On a :
$$C_v = \frac{0.7}{M_0^{-0.127}}$$

M : Module de l'écoulement relatif [l/s/km²].

❖ Formule de SOKOLOVSKY :

On a: $C_V = a - 0.063 \times \log_{10}(S + 1)$

Avec : $a = 0.78 - 0.29 \times \log_{10}(M_0)$

❖ Formule de L'ANTONOV :

On a : $C_V = \frac{0.7}{(S+1000)^{0.097}}$

S : Superficie du bassin en [km²]

Tableau. IV.35: Récapitulatif des formules empiriques.

Bassin Formule		BV(A)	BV(B)	BV(C)
D'OURKGUIPROVODKHOZ (C_V)		0.5359	0.5361	0.5360
SOKOLOVSKY (C_V)	a	1.0448	1.0445	1.0446
	(C_V)	1.021	1.038	1.034
L'ANTONOV (C_V)		0.358	0.358	0.358

Conclusion :

On prend les valeurs de la formule de d'OURKGUIPROVODKHOZ parce que sont proches à Les valeurs moyennes entre les 3 formules empiriques.

IV.8 Evaluation des apports solides

Le manque de données de mesure du transport solide nous ramène à accepter tout méthode empirique qui nous permet l'ordre de grandeur acceptable de l'écoulement solide Formule de TIXERONT :

C'est la formule la plus utilisée en Algérie pour l'évaluation du taux d'abrasion :

$$E_S = a \times L_e^{0.15}$$

Où : E_S : taux d'abrasion (t/km2/an) ;

L_e : lame d'eau ruisselée en (mm) ;

a : coefficient empirique qui varie en fonction de la perméabilité du terrain $\alpha = 350$ (perméabilité moyenne).

$$V_s = \frac{E_S \cdot S}{\gamma}$$

En tenant compte du poids spécifique moyen des sédiments $\gamma=1.4 \text{ T/m}^3$.

Tableau. IV.36: Récapitulatif de taux d'abrasion.

Bassin versant	BV(A)	BV(B)	BV(C)
E_S (T/km²/an)	428.32	428.65	428.57
V_S (m³)	433.52	76.55	143.88

IV.9 Etude des crues

IV.9.1 Formule de TURAZZA :

Cette formule utilise l'intensité moyenne maximale de précipitations déterminées sur un intervalle de référence égal au temps de concentration du bassin versant. (EMI, 1999).

$$Q_{\max, p\%} = \frac{C \times \bar{i}_{tc} \times A}{3.6}$$

A : Surface du bassin versant ;

\bar{i}_{tc} : Intensité moyenne maximale des précipitations pendant une durée égale au temps de concentration en mm/h ;

C : coefficient de ruissellement de la crue considérée pour une probabilité P%.

Tableau. IV.37 : Récapitulatif de Coefficient de ruissellement.

Période de retour (ans)	5	10	20	50	100
Coefficient de ruissellement	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8

IV.9.2 Formule de GIANDOTTI :

Le débit maximum probable est donné par la formule suivante :

$$Q_{\max, p\%} = \frac{170 \times S \times P_{tc\%} \sqrt{h_{moy} - h_{min}}}{4\sqrt{S} + 1,5L}$$

Avec :

$Q_{\max, p\%}$: Débit fréquentiel maximum en m³ /s dont la fréquence est la même que celle de la pluie de courte durée P_{tc} (en m).

S : Surface du bassin versant en Km² ;

L : Longueur du talweg principale en Km ;

h_{moy} : Altitude moyenne en m ;

h_{min} : Altitude minimale en m.

IV.9.3 Formule de Mallet-Gautier :

La formule est donnée comme suit :

$$Q_{\max p\%} = 2K \log(1 + 20P) \frac{S}{\sqrt{L}} \sqrt{1 + 4 \log T - \log S} \quad (\text{III.43})$$

T : Période de retour en années ;

P : Pluie moyenne annuelle (m) ;

K : Paramètres constants dépendants de la taille du bassin versant K=2 par l'ANRH ;

L : Longueur du Thalweg principale.

Tableau. IV.38: Récapitulatif des Valeurs des débit de crue (m³/s) pour les bassins versant par différentes méthodes de calcul.

N° du B. V	A				
Période de retour (ans)	5	10	20	50	100
Formule de TURAZZA (m ³ /s)	1.50	1.93	2.38	2.98	3.52
Formule de GIANDOTTI (m ³ /s)	0.98	1.16	1.33	1.55	1.72
Formule de Mallet-Gautier (m ³ /s)	3.66	4.22	4.71	5.29	5.69
N° du B. V	B				
Formule de TURAZZA (m ³ /s)	0.68	0.87	1.08	1.35	1.59
Formule de GIANDOTTI (m ³ /s)	0.22	0.26	0.30	0.35	0.39
Formule de Mallet-Gautier (m ³ /s)	0.93	1.05	1.16	1.29	1.38
N° du B. V	C				
Formule de TURAZZA (m ³ /s)	0.93	1.20	1.48	1.85	2.19
Formule de GIANDOTTI (m ³ /s)	0.34	0.40	0.50	0.54	0.59
Formule de Mallet-Gautier (m ³ /s)	1.57	1.80	1.98	2.21	2.37

Conclusion

Afin d'assurer la sécurité de notre ouvrage, nous avons employé des calculs basés sur des formules empiriques dépendant de paramètres spécifiques. Cependant, nous avons constaté une divergence dans les résultats de ces formules, à l'exception des formules de Mallet-Gautier et TURAZZA, qui ont produit des résultats convergents. Par conséquent, pour la continuité de notre étude, nous allons privilégier les résultats obtenus par la formule de Mallet-Gautier.

Tableau. IV.39 : Récapitulatif des valeurs des débit de crue choisies.

T (ans)	5	10	20	50	100
BV(A)	3.66	4.22	4.71	5.29	5.69
BV(B)	0.93	1.05	1.16	1.29	1.38
BV(C)	1.57	1.80	1.98	2.21	2.37

IV.10 Hydrogramme de crues

Les hydrogrammes de crues sont tracés selon la forme proposée par la méthode TURAZZA comme indiqué dans la théorie citée préalablement.

- **La montée de la crue :** $Q = Q_{max} p \left[\frac{t}{t_m} \right]_{max}^n$
- **La décrue :** $Q = Q_{max} p \left[\frac{t_d - t}{t_d} \right]_{max}^m$

Avec :

t_m : temps de montée de la crue ; $t_m = t_c$

t_d : temps de la décrue ; $t_d = 2 t_m$

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

Pour les crues d’averses, c’est à dire les crues engendrées par la pluie, cette méthode prend :

- ❑ $T_m = T_c$ (pour les petits bassins versants), avec T_c qui est le temps de concentration du bassin versant (heures).
- ❑ $T_d = \delta * t_m$.
- ❑ δ : coefficient de forme de l’hydrogramme de crue.

Tableau. IV.40 : Coefficient de forme de l’hydrogramme de crue.

Description du cours d’eau	Valeur de δ
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

On prend $\delta=2$

Tableau. IV.41 : Caractéristiques de l’hydrogramme de crue du bassin versant BV(A).

Période de retour	5	10	20	50	100
Q_{max}	3.66	4.22	4.71	5.29	5.69
T_m (h)	1.41				
T_d (h)	2.82				
T_b (h)	4.23				

Tableau. IV.42 : Caractéristiques de l’hydrogramme de crue du bassin versant BV(B).

Période de retour	5	10	20	50	100
Q_{max}	0.93	1.05	1.16	1.29	1.38
T_m (h)	0.44				
T_d (h)	0.88				
T_b (h)	1.32				

Tableau.IV.43 : Caractéristiques de l'hydrogramme de crue du bassin versant BV(C).

Période de retour	5	10	20	50	100
Q_{\max}	1.57	1.80	1.98	2.21	2.37
T_m (h)	0.65				
T_d (h)	1.30				
T_b (h)	1.95				

Tableau. IV.44 : Calcul de l'hydrogramme de crue pour le bassin versant (A).

Période de retour	5	10	20	50	100
Q_{\max} (m ³ /s)	3.66	4.22	4.71	5.29	5.69
T (h)					
0	0	0	0	0	0
0.25	0.12	0.13	0.15	0.17	0.18
0.5	0.46	0.53	0.59	0.67	0.72
0.75	1.04	1.19	1.33	1.5	1.61
1	1.84	2.12	2.37	2.66	2.86
1.25	2.88	3.32	3.7	4.16	4.47
1.41	3.66	4.22	4.71	5.29	5.69
1.75	2.49	2.87	3.2	3.6	3.87
2	1.81	2.09	2.33	2.62	2.81
2.25	1.27	1.46	1.63	1.83	1.97
2.5	0.85	0.97	1.09	1.22	1.31
2.75	0.53	0.61	0.68	0.76	0.82
3	0.3	0.35	0.39	0.44	0.47
3.25	0.15	0.18	0.2	0.22	0.24
3.5	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1
3.75	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03
4	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003
4.23	0	0	0	0	0

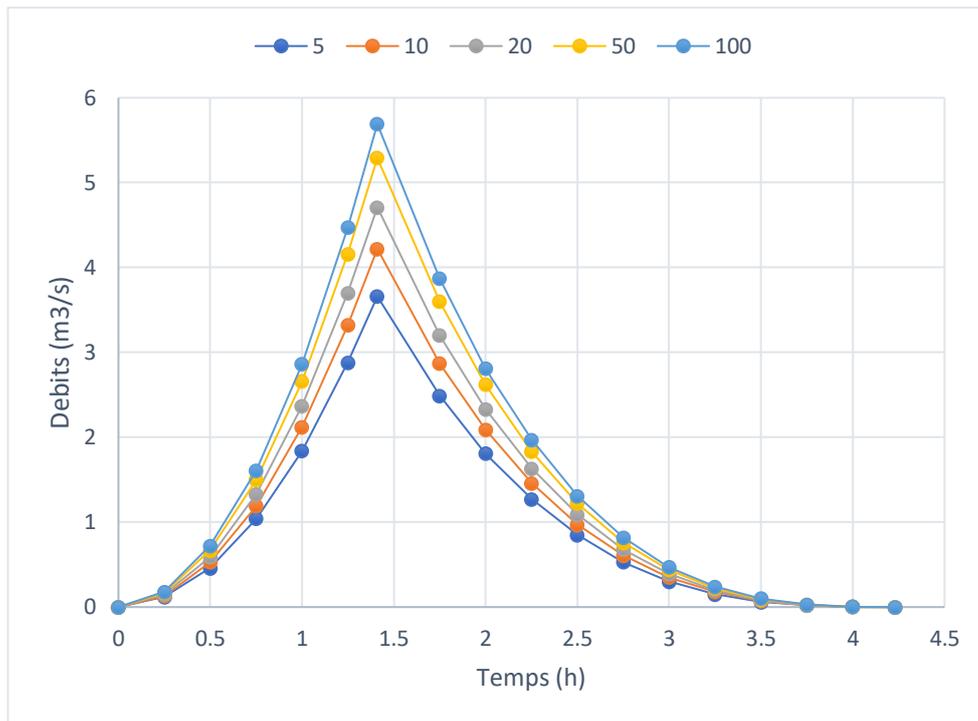


Figure. IV.9 : Hydrogrammes des crues probables (A).

Tableau. IV.45 : Calcul de l'hydrogramme de crue pour le bassin versant (B).

Période de retour	5	10	20	50	100
Q_{max} (m ³ /s)	0.93	1.05	1.16	1.29	1.38
T(h)					
0	0	0	0	0	0
0.25	0.3	0.34	0.37	0.42	0.45
0.44	0.93	1.05	1.16	1.29	1.38
0.5	0.75	0.85	0.94	1.04	1.12
0.75	0.25	0.29	0.32	0.35	0.38
1	0.04	0.05	0.06	0.06	0.07
1.25	0.0005	0.0005	0.0006	0.0006	0.0007
1.32	0	0	0	0	0

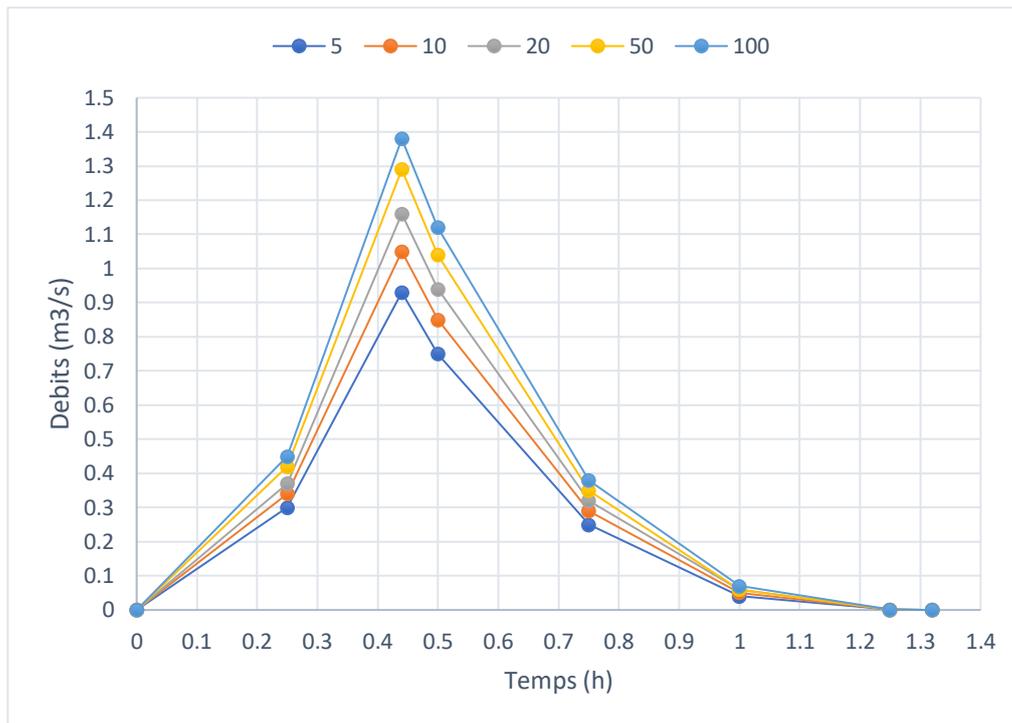


Figure. IV.10 : Hydrogrammes des crues probables (B).

Tableau. IV.46 : Calcul de l'hydrogramme de crue pour le bassin versant (C).

Période de retour	5	10	20	50	100
Q_{max} (m ³ /s)	1.57	1.8	1.98	2.21	2.37
T(h)					
0	0	0	0	0	0
0.25	0.23	0.27	0.29	0.33	0.35
0.5	0.93	1.07	1.17	1.31	1.4
0.65	1.57	1.8	1.98	2.21	2.37
0.75	1.23	1.42	1.56	1.74	1.86
1	0.61	0.7	0.77	0.86	0.92
1.25	0.25	0.28	0.31	0.35	0.37
1.5	0.07	0.07	0.08	0.09	0.1
1.75	0.006	0.007	0.007	0.008	0.009
1.95	0	0	0	0	0

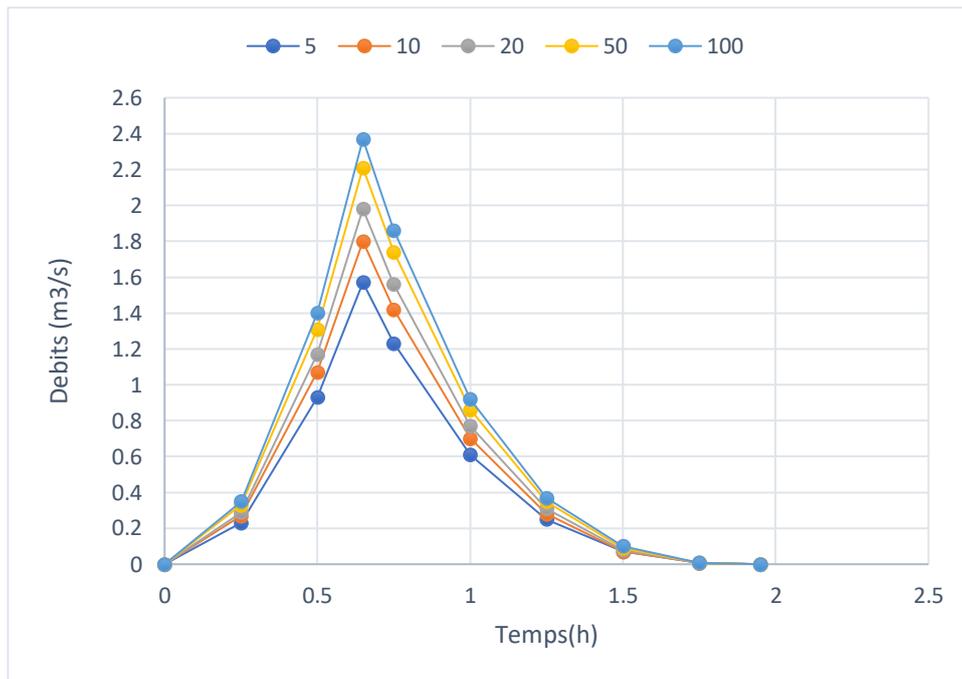


Figure. IV.11: Hydrogrammes des crues probables (C).

Conclusion :

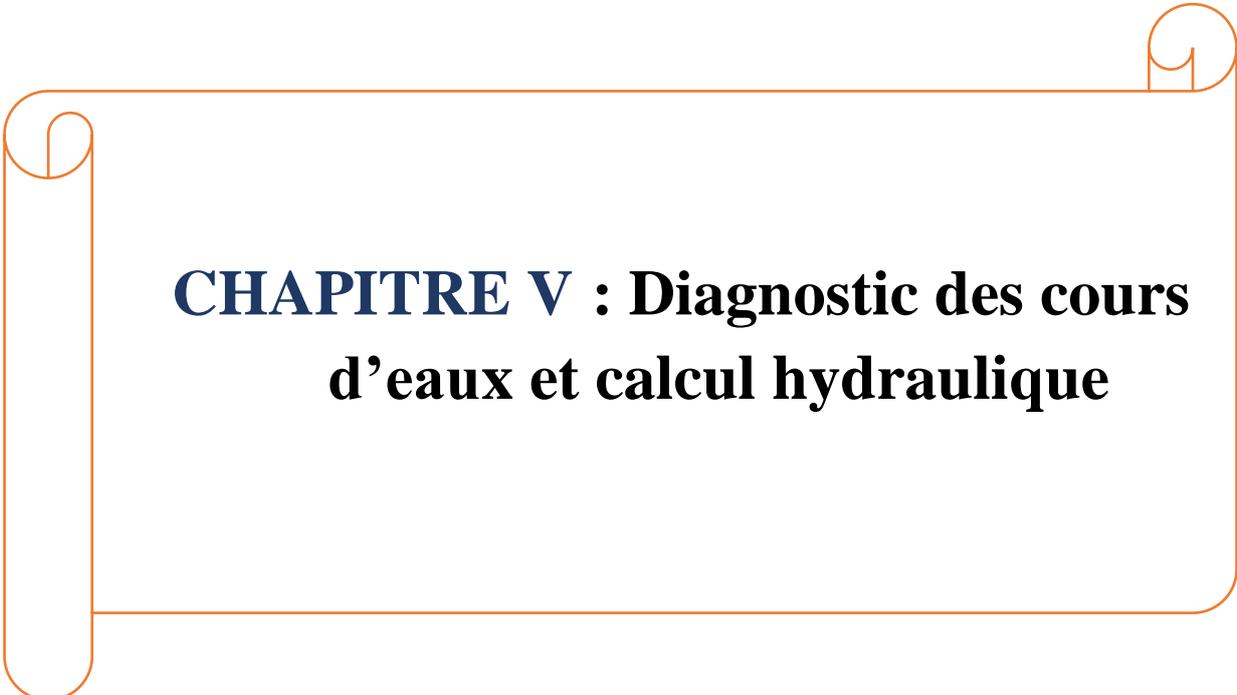
Cette étude nous a permis de fournir les éléments hydrologiques nécessaires à l’étude de protection contre les inondations du quartier 05 juillet et CHOUHADA.

L'objectif de l'étude hydrologique réside dans la préparation des données fondamentales nécessaires à l'étude hydraulique. Voici les résultats issus des calculs effectués dans ce chapitre :

- La série des pluies maximales journalières suit la loi Gumbel.
- Le débit de crue optimal est estimé au tableau suivant :

Tableau. IV.47 : Récapitulation des valeurs de débit de crue.

	BV (A)	BV (B)	BV (C)
Débits de crue 100 ans (m^3/s)	5.69	1.38	2 .37



**CHAPITRE V : Diagnostic des cours
d'eaux et calcul hydraulique**

Introduction

Les calculs hydrauliques sont une partie essentielle de l'ingénierie hydraulique, qui se consacre à l'étude des écoulements de fluides, en particulier de l'eau, dans diverses applications, notamment la gestion de l'eau, la conception de canalisations, la prévention des inondations, l'approvisionnement en eau, le traitement des eaux usées, et bien d'autres domaines.

Il s'agit de planifier l'infrastructure hydraulique requise pour protéger la ville d'Oum Thiour, en déterminant les itinéraires des canaux pour écouler les débits d'eau fréquents des zones environnantes, ainsi que la sélection des dimensions de ces canaux pour gérer les débits de crue de diverses fréquences prédéfinies.

V.1 Généralités

V.1.1 Calcul hydraulique :

Le calcul hydraulique est la modélisation des phénomènes liés à l'écoulement des fluides notamment de l'eau, Il repose sur des équations pour prédire le comportement des fluides au sein de systèmes tels que les conduites, les réseaux hydrauliques, les cours d'eau et les ouvrages hydrauliques, il s'inspire de la règle des valeurs extrêmes (débit et vitesse d'écoulement) ; donc les canaux doivent satisfaire les conditions de l'évacuation rapide et continue de toutes les quantités des eaux dans le but d'assurer une protection suffisante contre les inondations.

V.1.2 Les canaux à ciel ouvert :

On appelle canal, un système de transport dans lequel l'eau s'écoule et dont la surface libre est soumise à la pression atmosphérique. Le profil de meilleure conductivité est le profil qui véhicule le débit maximum. Le régime d'écoulement dans les canaux à ciel ouvert est dit « uniforme » si la pente longitudinale et la section transversale sont constantes tout le long de la masse liquide.

V.1.3 Type Des canaux :

Les canaux c'est un système de transport dans lequel l'eau s'écoule et dont la surface libre est soumise à la pression atmosphérique, on distingue deux catégories de canaux :

➤ **Les canaux naturels :**

Ce sont des cours d'eaux existant naturellement sur ou sous terre, tels que, les ruisselets, torrents, rivières et les fleuves, dont les propriétés géométriques et hydrauliques sont généralement assez irrégulières.

➤ **Les canaux artificiels :**

Ce sont des cours d'eaux réalisés par l'homme sur ou sous terre, tels que, les canaux de navigation et d'évacuation, et dont les propriétés géométriques et hydrauliques sont généralement assez régulières.

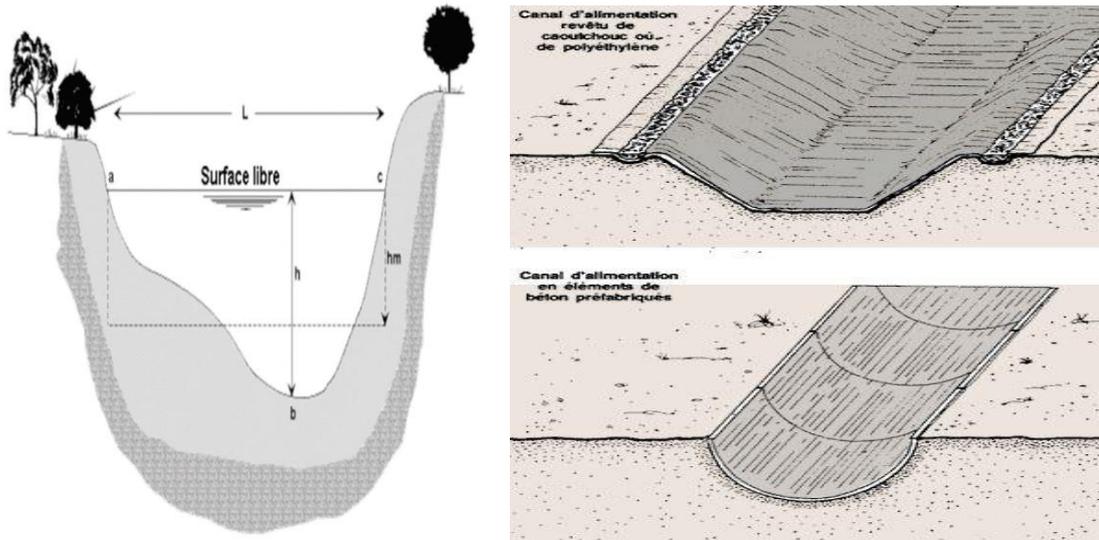


Figure.V.1 : Types de canal naturel et canaux artificiels (Whycos).

V.1.4 Dimensionnement des canaux :

L'importance de l'hydraulique dans le domaine de l'environnement est indéniable. Elle joue un rôle essentiel dans la compréhension, l'analyse et le diagnostic des réseaux, des rivières et des stations de traitement. Ces systèmes nécessitent une instrumentation sophistiquée, ce qui demande une expertise approfondie de leur comportement hydraulique tant du point de vue de la conception que de l'exploitation.

La formule de calcul principale pour un écoulement permanent uniforme de l'eau est La formule de Chézy :

La vitesse moyenne du courant sous la forme suivante :

$$V = C\sqrt{R} \times I$$

En utilisant le rapport suivant : $Q = V \times S$.

On obtient :

$$Q = C \times S\sqrt{R} \times I$$

Avec :

C : Coefficient de Chézy ($m^{0.5}/s$) ;

S : Section mouille (m^2) ;

R_h : Rayon hydraulique.

V.1.4.1 Détermination de coefficient de Chézy

En utilisant les formules empiriques pour détermination de coefficient de Chézy :

❖ **Formule de PAVLOVSKI :**

$$C = \frac{1}{n} \times R^{1/3}$$

Avec :

C : Coefficient de Chézy ($m^{0.5}/s$) ;

n : La rugosité ;

R_h: Rayon hydraulique $R_h = S/P$ (m);

y : L'exposant déterminé soit d'après la relation complète :

$$y = 2,5 \times \sqrt{n} - 0,13 - 0,75 \times \sqrt{R} \times (\sqrt{n} - 0,1).$$

Soit d'après les égalités simplifiées :

- $y = 1,5\sqrt{n}$ à $R < 1\text{m}$
- $y = 1,3\sqrt{n}$ à $R > 1\text{m}$

❖ **Formule d'AGROSKINE :**

$$C = \frac{1}{n} + 17,72 \log R$$

Avec :

C : Coefficient de Chézy ($\text{m}^{0.5}/\text{s}$);

R_h: Rayon hydraulique $R_h = S/P$ (m);

n : La rugosité.

❖ **La formule de MANING-STRICKLER :**

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}$$

Avec :

C : Coefficient de Chézy ($\text{m}^{0.5}/\text{s}$);

R_h: Rayon hydraulique $R_h = S/P$ (m).

La formule de **MANING-STRICKLER** permet de transformer la formule de Chézy pour obtenir :

$$V = K_s \cdot R_h^{2/3} \cdot \sqrt{I}$$

Où : **K_s** : Coefficient de rugosité de STRICKLER ;

R_h : Rayon hydraulique (m) ;

I : Pente du radie.

Remarque : Dans notre étude on choisit la formule de MANING-STRICKLER.

V.1.4.2 Le choix de la section de meilleure conductivité :

Le profil de conductivité optimale est celui qui transporte le débit maximal.

Parmi toutes les formes de section, la semi-circulaire est celle qui satisfait au rayon hydraulique.

On a les paramètres géométriques d'une section semi-circulaire :

$$S = \pi r^2 / 2$$

$$P = \pi r$$

$$R = r/2 = h/2$$

Cependant, cette configuration n'est observée que dans les canaux artificiels construits en béton

ou en métal. Du point de vue des exigences techniques de mise en œuvre, la conception en forme de demi-cercle s'avère plus onéreuse que la conception trapézoïdale, qui offre des avantages en termes de simplicité de réalisation.

- ❑ A cet effet notre choix portera sur la section trapézoïdale, dont les caractéristiques sont la suivante :

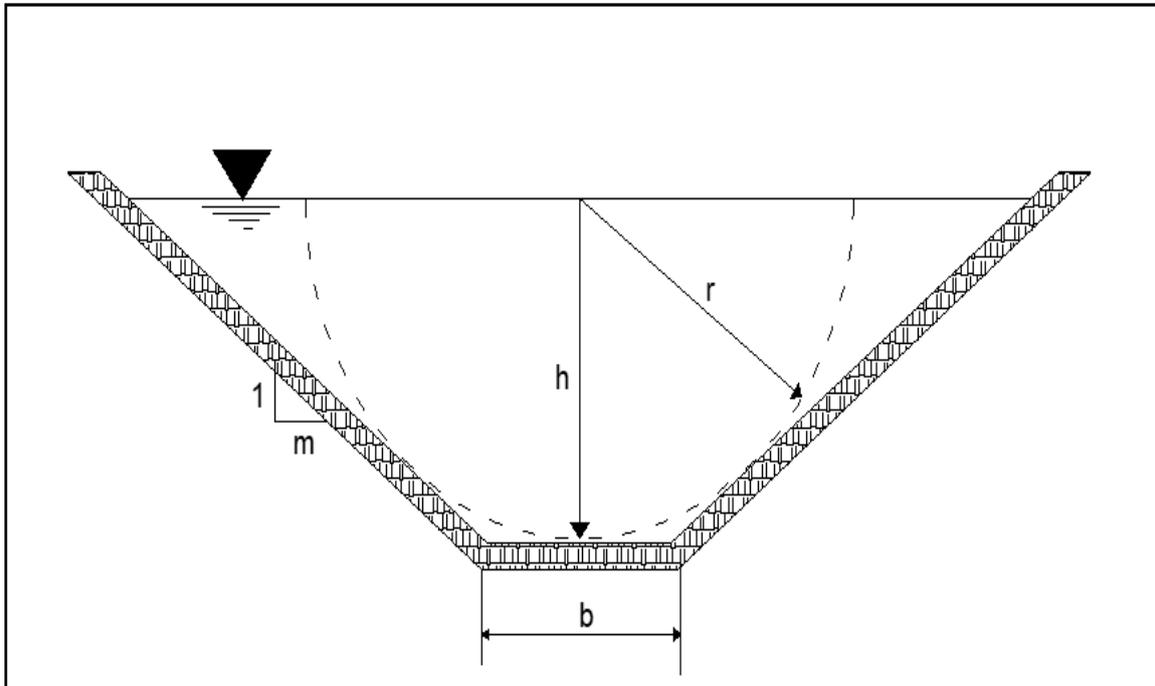


Figure.V.2 : Section trapézoïdale.

Alors les paramètres géométriques d'un canal à section trapézoïdale sont les suivantes :

- ✓ La surface mouillée $S = h (b + mh)$.
- ✓ Le périmètre mouillé $P = b + 2h \sqrt{1 + m^2}$.
- ✓ Le rayon hydraulique $R_h = \frac{h.(b+mh)}{b+2h.\sqrt{1+m^2}}$.
- ✓ Fuit de talus $m = \cotg \varphi$, d'après la nature du terrain.

V.1.5 Calcul de la ligne d'eau :

❖ Equation de la surface libre de la ligne d'eau :

L'équation de la surface libre de la ligne d'eau, est une équation liée à l'abscisse et à l'ordonnée de chaque point de la ligne d'eau pour un débit et une pente du canal donnée.

Se basons sur l'équation d'énergie :

$$H = z + \frac{v^2}{g} + h$$

Et sur l'équation de la continuité :

$$Q = V.S$$

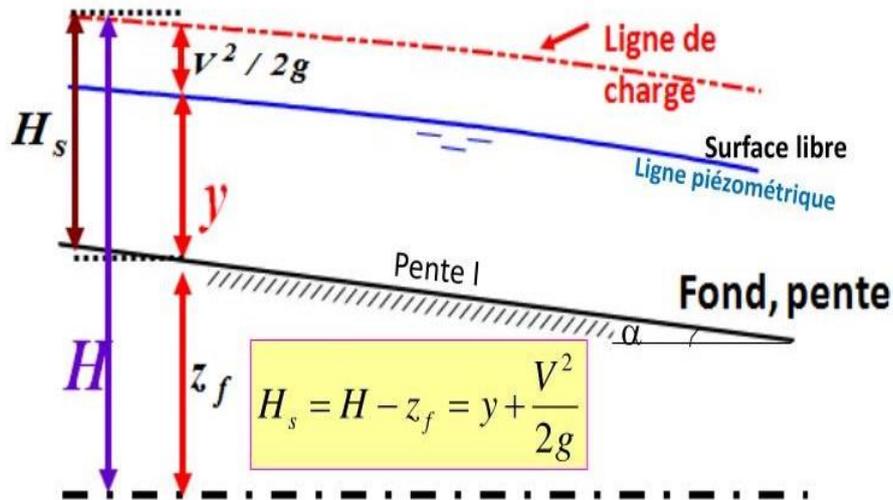


Figure.V.3 : Schéma de la ligne d'eau (Uclouvain.be).

❖ Calcul de la surface d'eau :

Pour le tracé de la surface d'eau, On peut distinguer pour cela 3 méthodes de calcul :

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

Remarque 01 :

Pour notre étude, on va utiliser le logiciel « CANAL21 » et « HEC-RAS » dont le principe de calcul est basé sur la première méthode (La méthode par approximation successive).

Remarque 02 :

Pour la détermination des pentes projet on est basé sur le levé topographique de la ville de d'Oum Thiour.

V.2 Rappel des données

V.2.1 Débit max de crues :

Tableau.V.1 : Crues de projet pour différentes périodes de retour.

	Décennale (m ³ /s)	Cinquantennale(m ³ /s)	Centennale (m ³ /s)
BV _A	4.22	5.29	5.69
BV _B	1.05	1.29	1.38
BV _C	1.8	2.21	2.37

V.3 Construction du modèle

Cette partie sera dédiée à la clarification du système informatique utilisé, englobant les logiciels, les outils, les documents numériques, tout en explorant la méthodologie de travail adoptée.

V.3.1 Le logiciel HEC-RAS :

- ❑ Nous avons choisi d'adopter le logiciel HEC-RAS, développé par le Hydrologic Engineering Center du U.S. Army Corps of Engineers, afin de modéliser les écoulements dans les oueds. Ce logiciel présente l'avantage d'être librement accessible sur Internet et est largement répandu dans ce domaine.
- ❑ HEC-RAS est un logiciel intégré dédié à l'analyse hydraulique, spécifiquement conçu pour la simulation des écoulements à surface libre. Il offre une interface graphique permettant la création, la modification et la visualisation des données d'entrée, ainsi que l'observation des résultats obtenus. Actuellement, il est largement employé par de nombreuses entreprises d'ingénierie et organismes gouvernementaux.
- ❑ La version 6.4.1 de HEC-RAS permet de modéliser à la fois les écoulements permanents et non permanents, ainsi que le transport de sédiments, offrant des fonctionnalités avancées pour faciliter la conception d'ouvrages hydrauliques.

V.3.1.1 Montage du modèle :

- La conception du modèle implique la conversion fidèle des données physiques acquises sur le terrain, notamment celles liées à l'oued aux champs d'expansion ou d'écrêtement, ainsi qu'aux ouvrages de franchissement, en un modèle numérique structuré, comprenant des éléments tels que les nœuds, les branches, les profils en travers et les ouvrages de franchissement.

Le processus de création de ce modèle s'est déployé à travers plusieurs étapes méthodiques :

- ❑ La première étape a consisté à saisir les données topographiques, telles que les profils en long en coordonnées Lambert, les profils en travers, ainsi que les distances partielles inter-profils définissant les emplacements des axes des profils en travers et leurs extrémités.
 - ❑ La deuxième étape a englobé la modélisation des coefficients de rugosité, conformément aux définitions des sections pertinentes. Ces coefficients ont été ajustés aux emplacements correspondants aux méandres et autres singularités rencontrées le long de l'oued, afin de prendre en compte la perte d'énergie supplémentaire lors de l'écoulement.
 - ❑ La phase suivante a impliqué la caractérisation des ouvrages enjambant les divers cours d'eau.
 - ❑ Enfin, la dernière étape a consisté à définir le lit mineur et les champs d'épandage de chaque cours d'eau pris en compte dans cette étude. Une fois le modèle assemblé, une interpolation a été réalisée entre chaque paire de profils successifs.
- Ces démarches rigoureuses concourent à la création d'un modèle numérique précis visant à représenter de manière adéquate les caractéristiques et le comportement des cours d'eau étudiés.

V.3.1.2 Application d'HEC-RAS :

Pour mettre en œuvre le modèle HEC-RAS de manière adéquate, il est impératif de disposer d'une base de données exhaustive relative au site d'étude. Cette base de données devrait inclure les éléments suivants :

- Un profil en travers, caractérisé par une série de couples de données distance-altitude.
- La distance à la section suivante, mesurée depuis les rives et l'axe des affluents.
- Les coefficients de contraction et d'expansion appropriés.
- Les paramètres liés à l'écoulement, ainsi que les conditions aux limites associées.

➤ **Les données géométriques :**

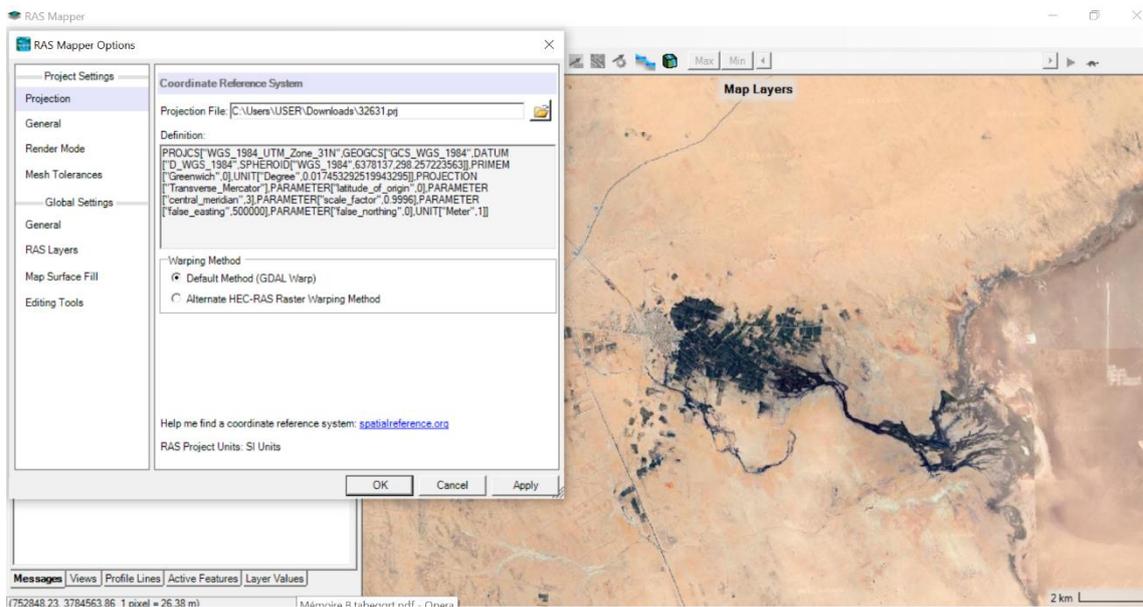


Figure.V. 4 : fichier de projection dans RAS Mapper.

- Suite à l'introduction des fichiers terrain et de projection dans RAS Mapper, nous procédons à la délimitation graphique de l'axe des affluents, du lit mineur, ainsi que du lit majeur, tout en cartographiant également les sections en travers associées.

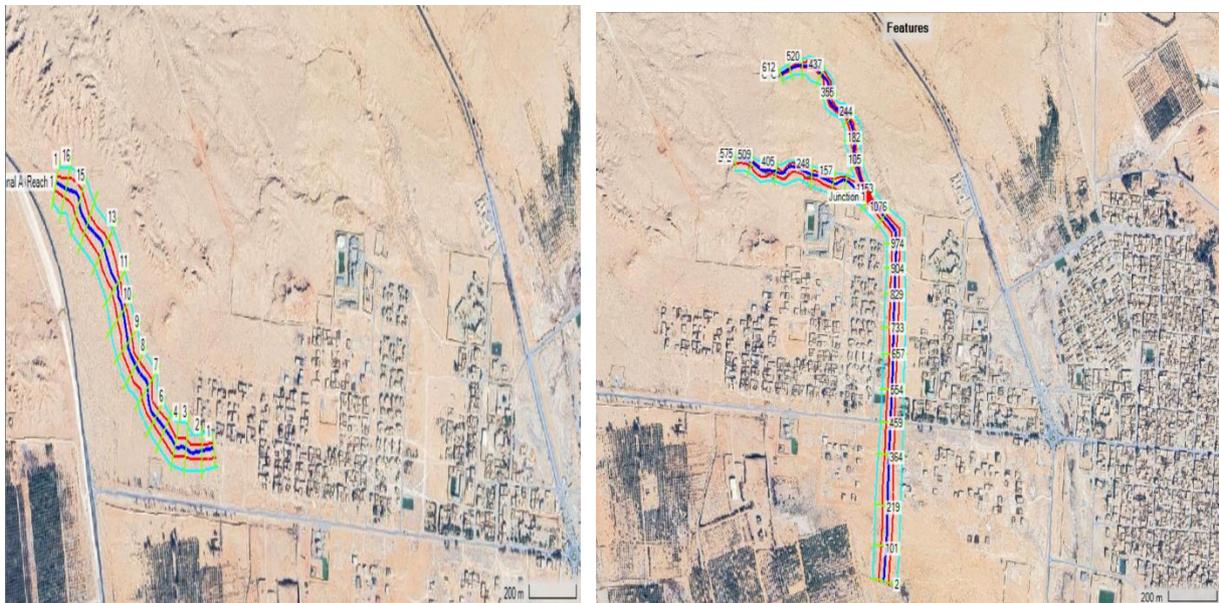


Figure.V. 5 : Délimitations des affluents A, B et C (RAS-Mapper).

➤ **Les données d'écoulement et les conditions aux limites :**

Après la saisie des données géométriques spécifiques à chaque section, la phase subséquente de la modélisation hydraulique par HEC-RAS implique la détermination des débits d'entrée et de toutes les conditions aux limites nécessaires, afin de faciliter l'initiation du calcul des profils de la surface de l'eau le long de chaque section du réseau fluvial.

- ❑ Intégrer les données de débit associées de notre période de retour (100 ans) de chaque affluent.

➤ **Simulation :**

Après l'introduction des données géométriques, hydrométriques et des conditions aux limites, il est impératif de sélectionner un régime qu'il soit torrentiel, fluvial, ou mixte, en vue de l'accomplissement du calcul. Dans notre cas, nous supposons un régime mixte et procédons au lancement de la simulation.

- ✚ Le débit centennal calculé dans la composante hydrologique de chaque Bassins.
- ✚ Le choix du coefficient de frottement (coefficient de Manning) : Le frottement au niveau du fond du lit est caractérisé par un coefficient de rugosité "n" (le coefficient de Manning, inverse du coefficient de Strickler, où $k = 1/n$).

➤ **Résultat de simulation :**

- ❖ **Le profil en long :** La ligne d'eau offre une représentation en coupe transversale du segment d'analyse, mettant en évidence le niveau de la surface aquatique de l'affluent ainsi que le niveau d'eau associé à une période de retour centennale.

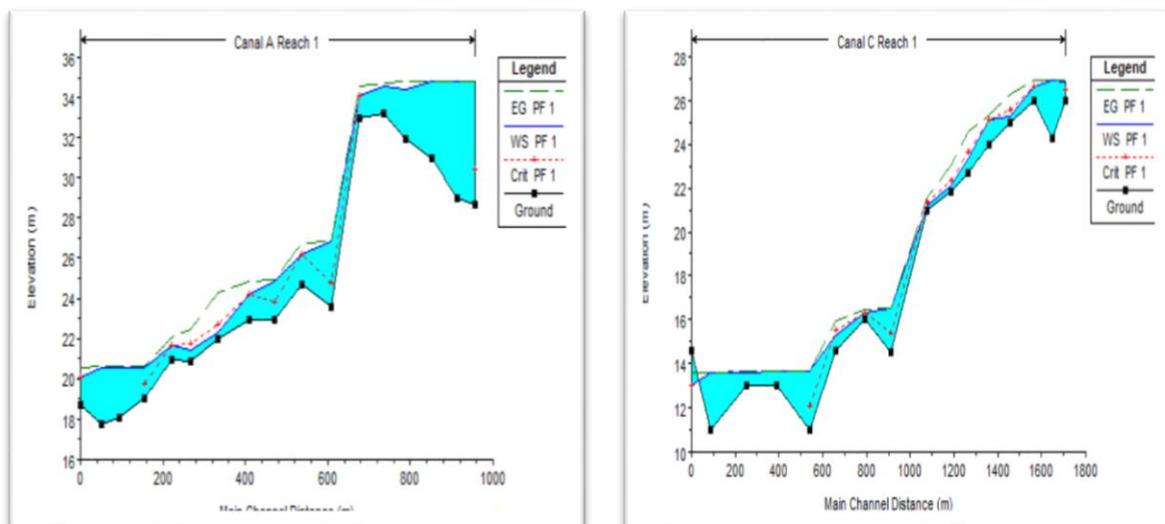


Figure.V.6 : Les profils en long non aménagés.

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

HEC-RAS propose une perspective tridimensionnelle facilitant l'observation de la dynamique des débits de crue en relation avec différentes périodes de retour.

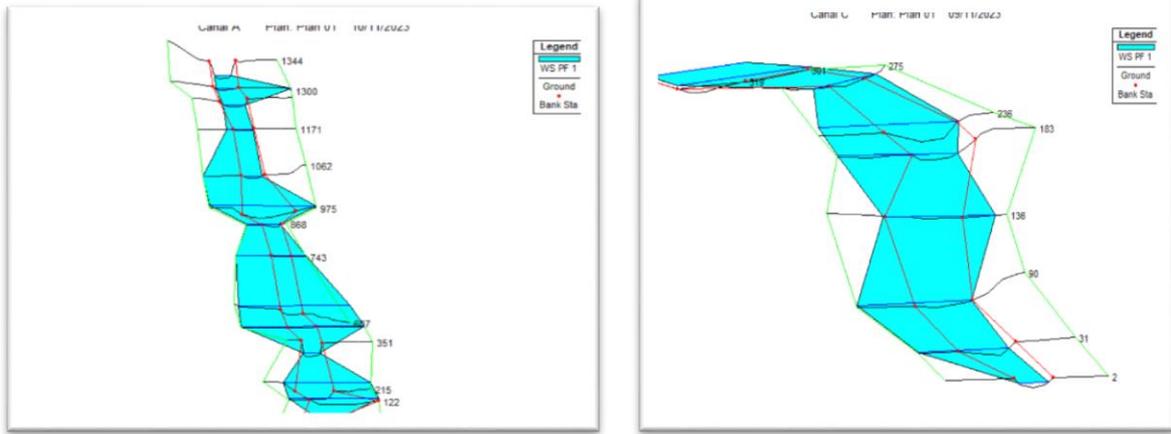


Figure.V.7 : Vue en 3D des affluents non aménagés.

❖ Les profils en travers :

L'exploitation de cette fonction d'affichage des résultats par profil transversal a simplifié l'obtention d'un niveau maximal de données détaillées à chaque point spécifié le long du tracé de l'affluent. Cette observation a révélé que pratiquement toutes les sections présentent une propulsion à la submersion.

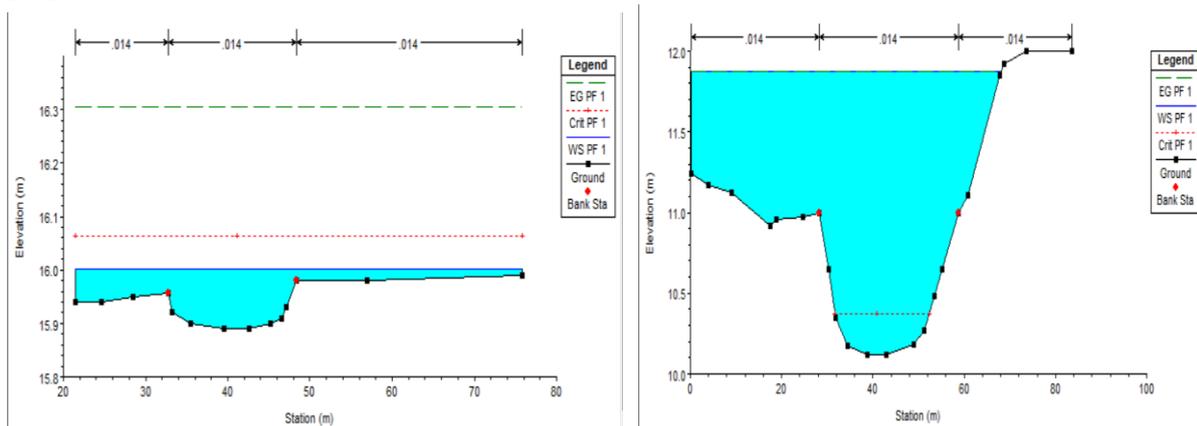


Figure.V.8 : Les profils en travers de quelque section de l'affluent A.

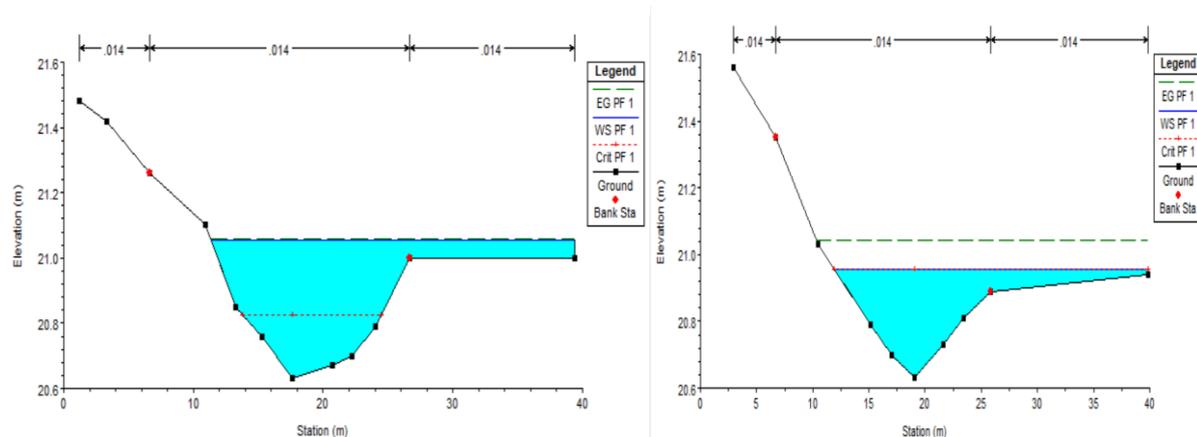


Figure.V.9 : Les profils en travers de quelque section de l'affluent B.

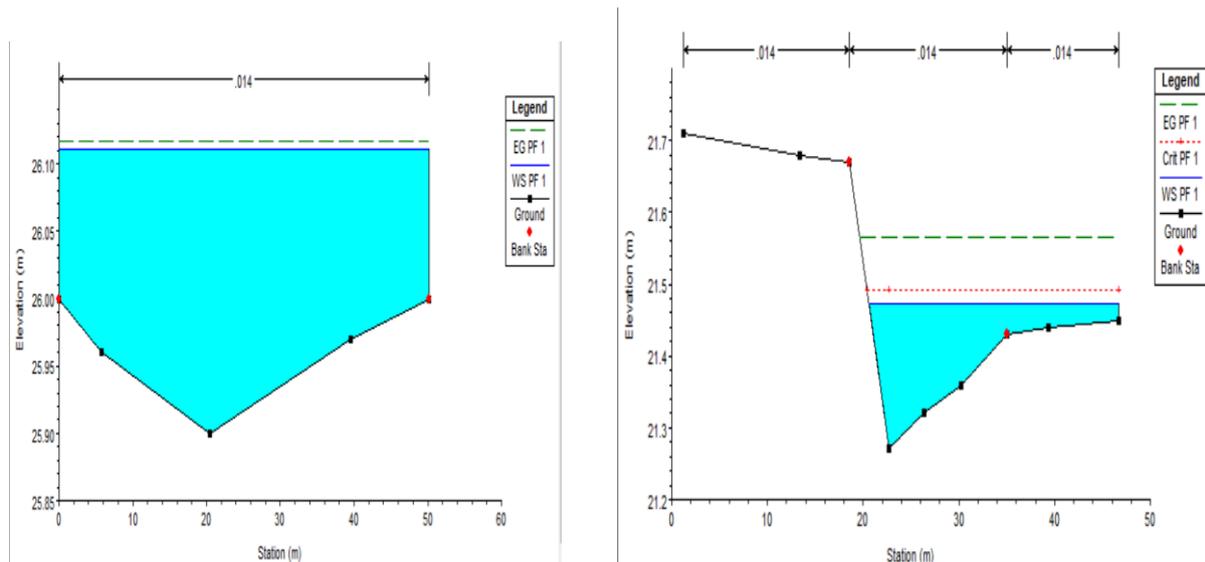


Figure.V.10 : Les profils en travers de quelque section de l'affluent C.

V.4 La cartographie du risque d'inondation

- Après l'achèvement des calculs des profils d'inondation à l'aide du logiciel HEC-RAS, l'objectif de cette phase est de délimiter les zones inondables le long des affluents.
- La simulation de l'état naturel de l'affluent, en considérant la crue centennale dans le but de déterminer les points de débordement et de manière plus générale, de délimiter les zones sujettes aux inondations.
- La délimitation des zones inondables sera accomplie à l'aide de RAS Mapper, une fonctionnalité intégrée au logiciel HEC-RAS. L'utilisation de RAS Mapper nous permettra de générer des cartes présentant les éléments suivants :
 - ✚ L'impact potentiel des inondations,
 - ✚ La probabilité de survenance des inondations,
 - ✚ Le niveau actuel de maîtrise des risques liés aux inondations.
- La création d'une cartographie des risques peut répondre à divers objectifs, tous aussi importants les uns que les autres. Ces objectifs incluent notamment :
 - ✚ La mise en place d'un contrôle interne ou d'un processus de gestion des risques adapté,
 - ✚ L'aide à la direction dans l'élaboration de sa stratégie et dans la prise de décisions,
 - ✚ L'orientation du plan d'audit interne en mettant en lumière les processus où les risques majeurs sont concentrés,
 - ✚ La préservation de la réputation et de l'image de l'organisation.
- La cartographie des risques est un outil puissant pour la gestion interne, nécessitant une méthodologie minutieuse pour une détection systématique des risques majeurs.
- La gestion du risque peut être définie comme la combinaison des actions entreprises par une organisation pour se préparer à faire face à une crise potentielle et faciliter la prise de décision. Cette démarche comporte trois étapes principales :
 - ✚ La prévision : Mise en place de mesures pour anticiper un événement aléatoire afin d'améliorer sa gestion.

- ✚ La protection et la prévention : réduction des composantes du risque, à savoir la gravité et la probabilité, par des actions entreprises pour diminuer ces deux aspects du risque.

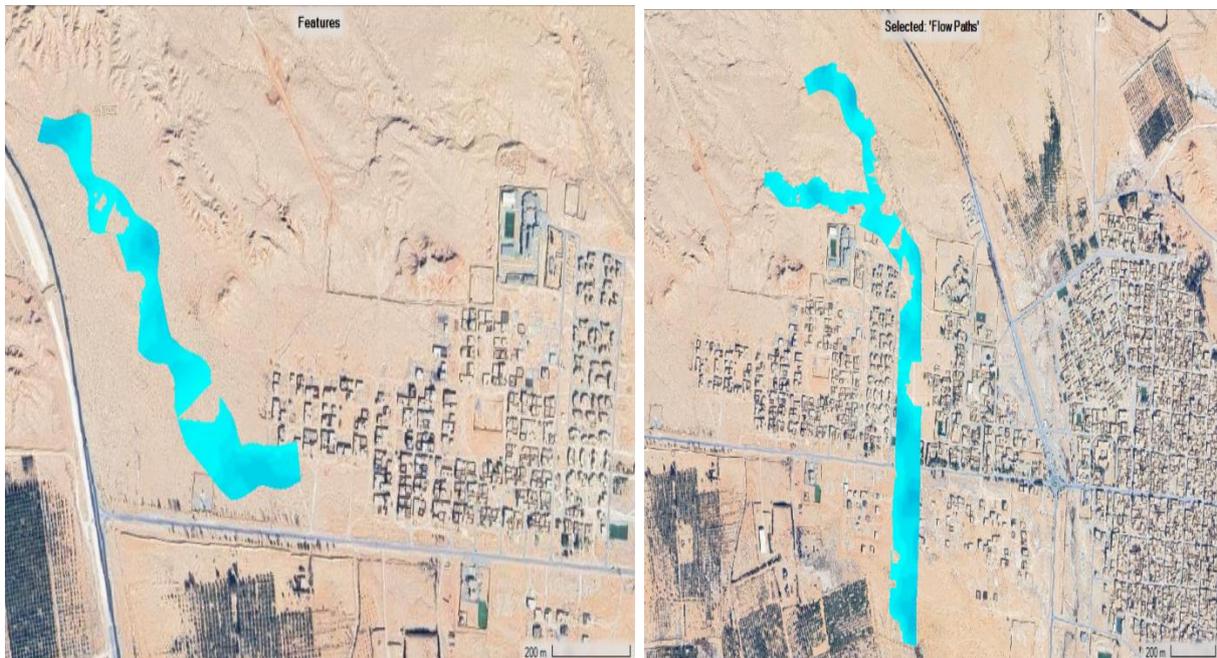


Figure.V.11 : Carte des zones inondables des affluents A, B et C (RAS-Mapper).

- **Interprétation :**

La simulation des affluents à l'aide du logiciel HEC-RAS, pour déterminer les zones inondables, souligne clairement la nécessité d'entreprendre des aménagements des affluents afin de garantir la protection des personnes, des biens et de l'environnement.

V.5 Dimensionnement des ouvrages

La variante choisie en phase de proposition des variantes, consiste à exécuter un canal autour de la ville d'Oum Thiour en béton armé et des murs en gabion, dont l'objectif est d'évacuer les eaux en provenance de la partie amont des bassins (A, B et C), sans qu'elles passent par la ville. Ces canaux sont considérés comme une ceinture de protection. Les eaux pluviales de la ville sont évacuées et raccordées avec oued Oum Thiour au Sud de la ville et finalement vers chott Melghir.

Pour déterminer les dimensions de la variante sélectionnée, nous avons choisi une période de retour de 100 ans.

Le dimensionnement proprement dit, consiste à calculer en écoulement à surface libre la hauteur d'eau dans le canal en fixant sa largeur, selon les valeurs trouvées, on augmente ou on diminue la hauteur. A cette hauteur d'eau dite « Normale » s'ajoute une revanche qui est prise comme mesure de sécurité.

- Donc, les paramètres clés pour le dimensionnement sont :
 - ✚ La hauteur normale.
 - ✚ La hauteur critique.
 - ✚ Le régime d'écoulement.

V.6 Etude de conception Des ouvrages

V.6.1 Choix de la section type pour les différents canaux de l'aménagement projeté :

Les différentes sections choisies pour la réalisation des canaux projetés, à savoir « canal A », « Canal B », « canal C » se définissent comme suite :

- **Canal A** : Pour éviter que le cours d'eau n'envahisse la ville et ne cause des dommages humains et matériels, nous avons décidé de corriger le sens de l'écoulement en dirigeant les eaux vers un canal en mettant en place les actions suivantes :
 - Construction de deux murs en gabion de dimensions 1x1 m sur 3 étages.
 - Construction d'un canal trapézoïdal à ciel ouvert en béton armé.
 - Redimensionnement d'un ouvrage (point noir).
- **Canal B** : Section rectangulaire à ciel ouvert en béton armé.
- **Canal C** : Section rectangulaire à ciel ouvert en béton armé.

Nous avons un point commun entre les canaux B et C appelé point de confluence, où les deux affluents sont raccordés pour combiner leurs débits et les collecter dans un seul canal dirigé vers le rejet. Afin d'éviter de traverser le canal au cœur de la ville, nous avons choisi de le dévier par un autre itinéraire.

- **Canal B+C** : Section rectangulaire fermé en béton armé.

V.6.2 Calcul hydraulique et dimensionnement des sections types des canaux projetés :

V.6.2.1 Canal A (PK02= 00+325 mL-PK04=00+1330.27 mL):

La section du canal est définie comme suit :

Le canal sera calculé pour drainer les eaux provenant du bassin versant de l'affluent (A), soit un Débit de $Q=5.69 \text{ m}^3/\text{s}$

La pente du terrain variant est presque linéairement $I=0.75\%$.

- Afin d'empêcher l'eau d'atteindre la ville et la route, nous avons construit deux murs en gabion pour diriger les eaux vers Le canal A.
 - **PK00= 00mL + 0.00 mL--- PK02= 00 + 325 mL** : Le premier mur (en gabion) est conçu pour orienter les eaux en direction du canal.
 - **PK00= 00mL + 0.00 mL--- PK01= 00 + 150 mL** : Le deuxième mur (en gabion) est construit pour empêcher que l'eau ne submerge pas la route.

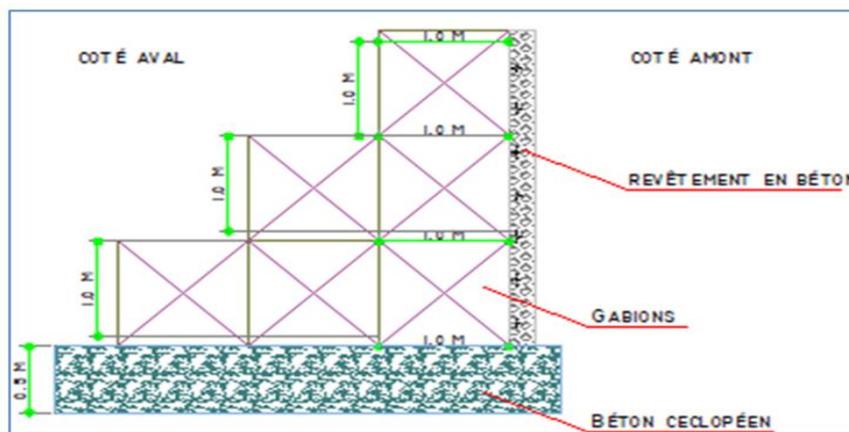


Figure V.12: Schéma de mur en gabion.

- (PK02= 00+325 mL-PK04=00+1330.27 mL) : Le canal A
 - Section de forme trapézoïdale à ciel ouvert en béton.
 - Débit de dimensionnement $Q = 5.69 \text{ m}^3/\text{s}$.
 - Base du canal $b = 3$, $h=2 \text{ m}$ et $m=1/1$.
 - Coefficient de Manning $n = 0.014$.

Tableau.V.2 : Paramètres de calcul du canal A trapézoïdale en béton (Canal 21)

Données						Résultats de calculs									
						Géométrique				Hydraulique					
Q _{100ans}	Ks	B	M	H	Pente	L _m	P _m	S _m	R _h	V	F _r	H _{sc}	Y _c	Y _n	
5.69	71.42	3	1	2	0.0075	3.98	4.39	1.72	0.39	3.31	1.61	0.94	0.66	0.49	1330.27m

V.6.2.1.1 Les profils en travers :

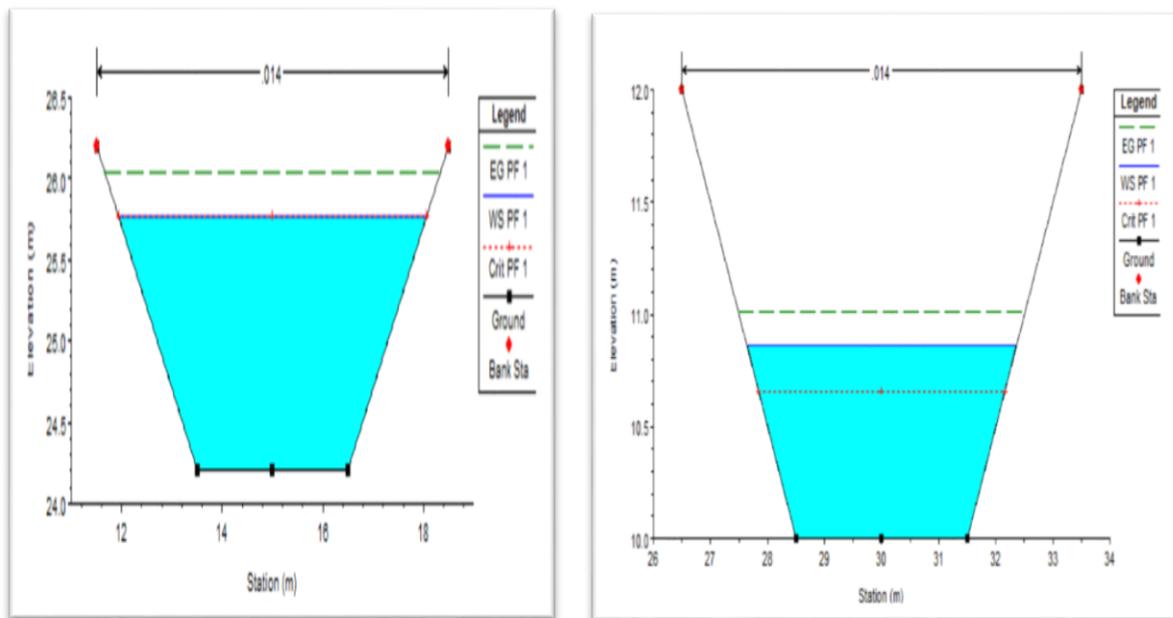


Figure.V.13 : Des tronçons de profil en traves du canal A trapézoïdale en béton armé.

- La figure suivante représente le canal proposé pour évacuer les eaux de l'affluent A.

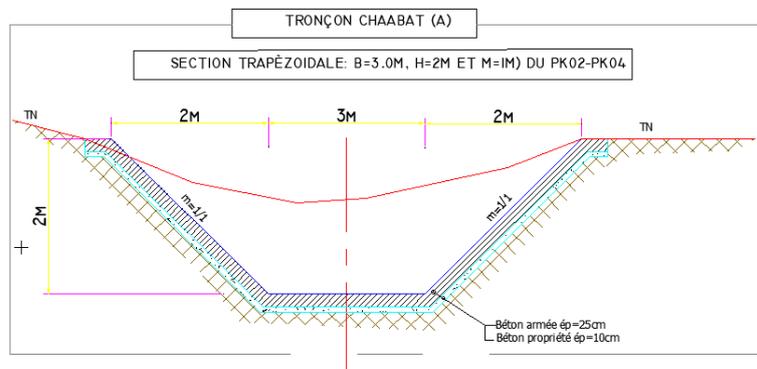


Figure.V.14 : Schéma du Canal trapézoïdale à ciel ouvert en béton.

V.6.2.1.2 La ligne d'eau de canal A :

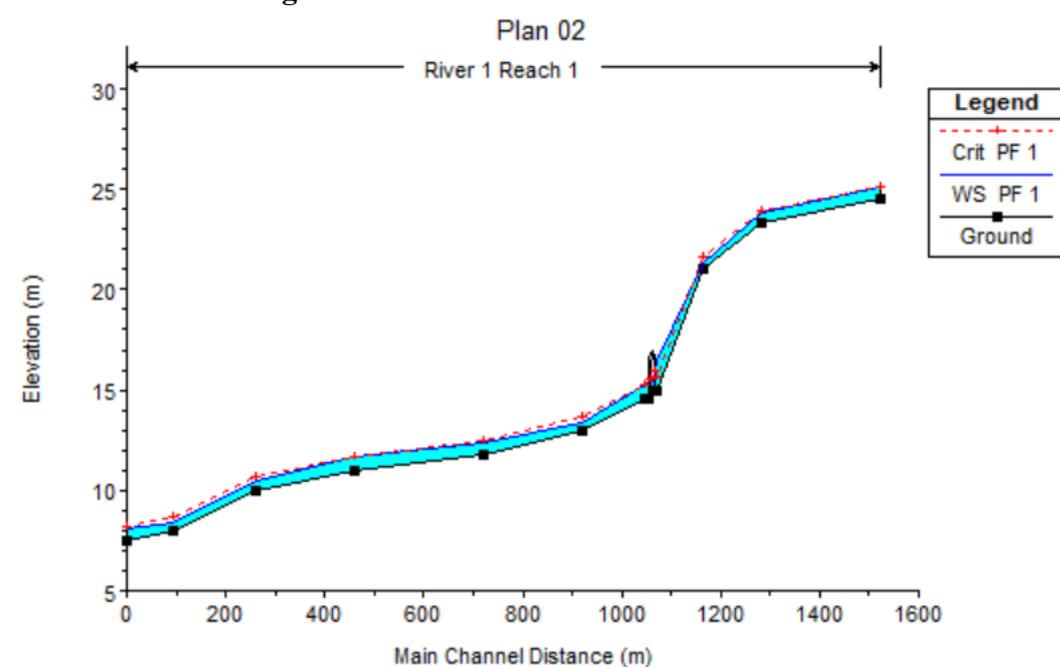


Figure.V.15 : La ligne d'eau du canal A.

(Voir l'annexe N°8 pour les résultats de la simulation d'écoulement des canaux en béton).

V.6.2.1.3 Redimensionnement d'un ouvrage :

La construction d'ouvrages pour faciliter le passage de l'eau sous une route est une pratique courante en génie civil. Ces structures, telles que les ponts et les canaux, sont conçues pour assurer un écoulement efficace de l'eau tout en préservant l'intégrité de la route au-dessus. Elles sont essentielles pour gérer les eaux pluviales, les rivières et les ruisseaux, contribuant ainsi à prévenir les inondations et à maintenir la circulation routière. La construction de ces ouvrages nécessite une planification minutieuse, des compétences en génie hydraulique et structurel, et le respect des réglementations locales pour assurer leur sécurité et durabilité.

La nécessité de construire un pont-canal survient lorsque la topographie du terrain oblige à faire passer la route au-dessus d'un cours d'eau. Cela permet un écoulement continu de l'eau, évite les inondations et maintient la circulation des véhicules.

Au niveau du canal A, en particulier au point (**PK03=00+618ML**), un ouvrage a été redimensionné pour assurer le drainage des eaux de pluie provenant du canal A vers le point de rejet.

L'ouvrage de passage a été redimensionné, pour le débit total peut faire passer raisonnablement.



Figure.V.16 : L'état actuel de l'ouvrage.

- ❑ L'ouvrage de franchissements redimensionné et simulé avec le logiciel HEC-RAS.

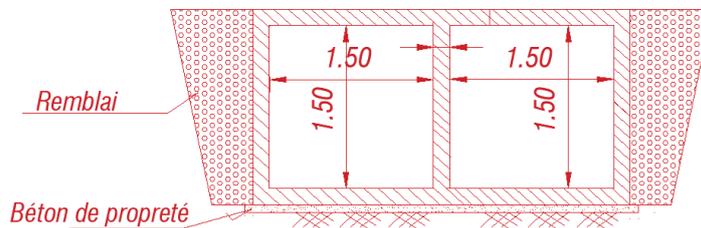
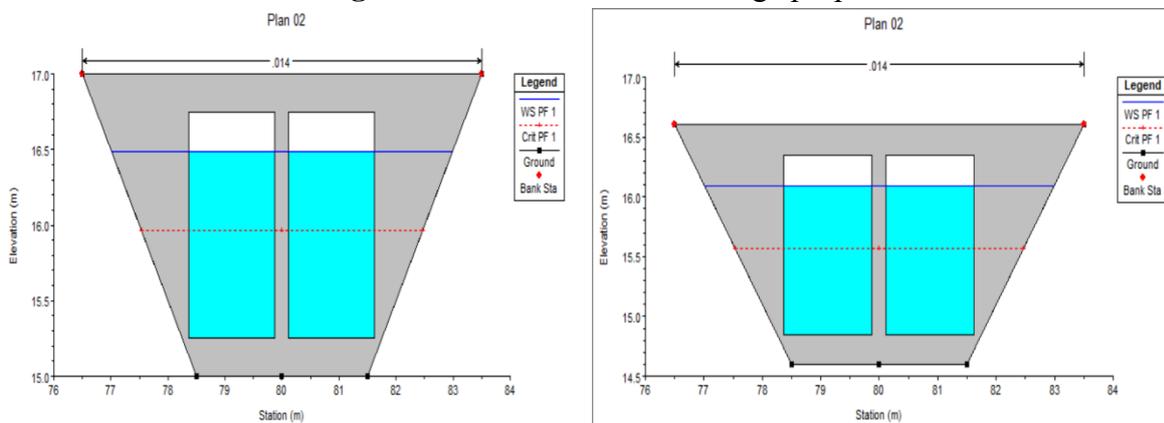


Figure.V.17 : Schéma de l'ouvrage proposé.



Vue en amont de l'ouvrage

Vue en aval de l'ouvrage

Figure.V.18 : Résultat de simulation de l'ouvrage.

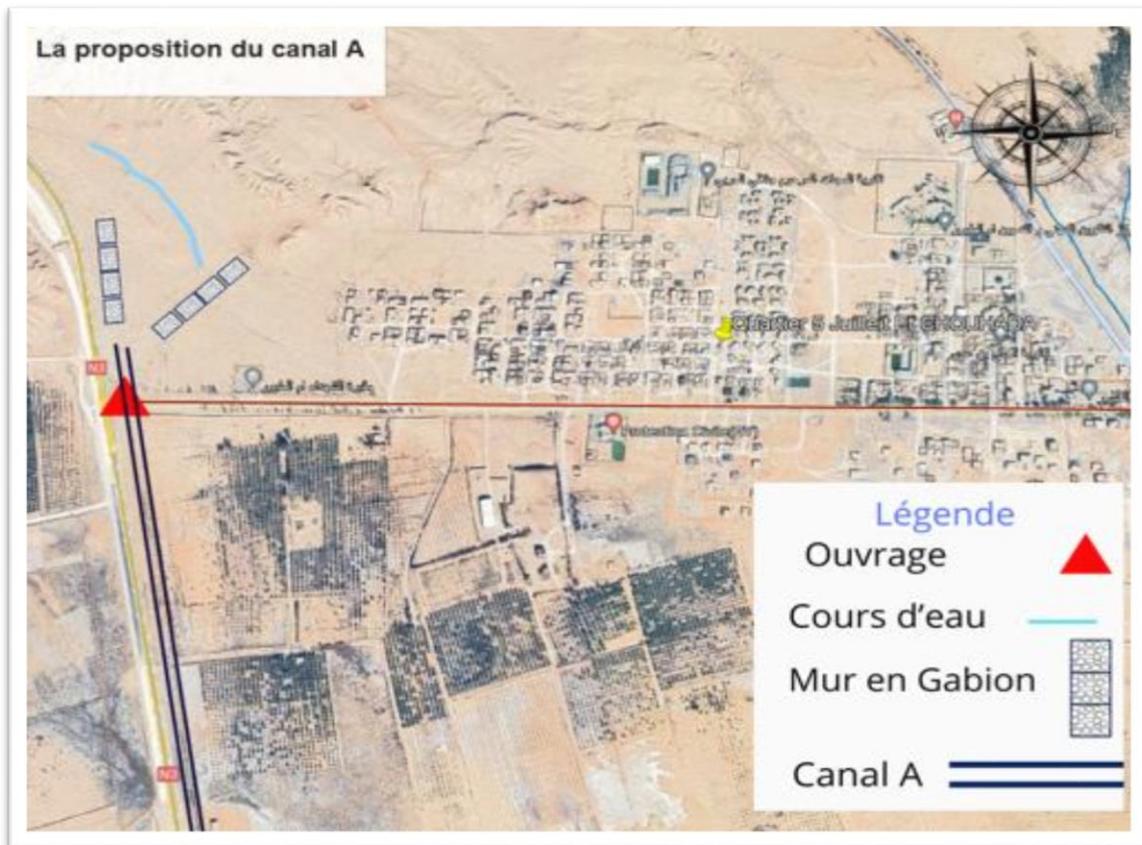


Figure.V.19 : Démonstration de la proposition du canal A.

V.6.3 Canal B (PK 00 ML-PK 125 ML):

La pente du terrain variant est presque linéairement $I=0.71\%$

- Section de forme Rectangulaire.
- Débit de dimensionnement $Q = 1.38 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Base du canal $b = 2$ et $h=1.5 \text{ m}$.
- Coefficient de Manning $n= 0.014$.

Tableau.V.3 : Paramètres de calcul du canal B rectangulaire en béton (Canal 21).

Données					Résultats de calculs									
					Géométrique					Hydraulique				
$Q_{100\text{ans}}$	K_s	B	y	Pente	L_m	P_m	S_m	R_h	V	F_r	H_{sc}	Y_c	Y_n	L_{bief}
1.38	71.42	2	1.5	0.0071	2	2.60	0.06	0.23	2.27	1.32	0.54	0.36	0.30	125 m

V.6.3.1 Les profils en travers :

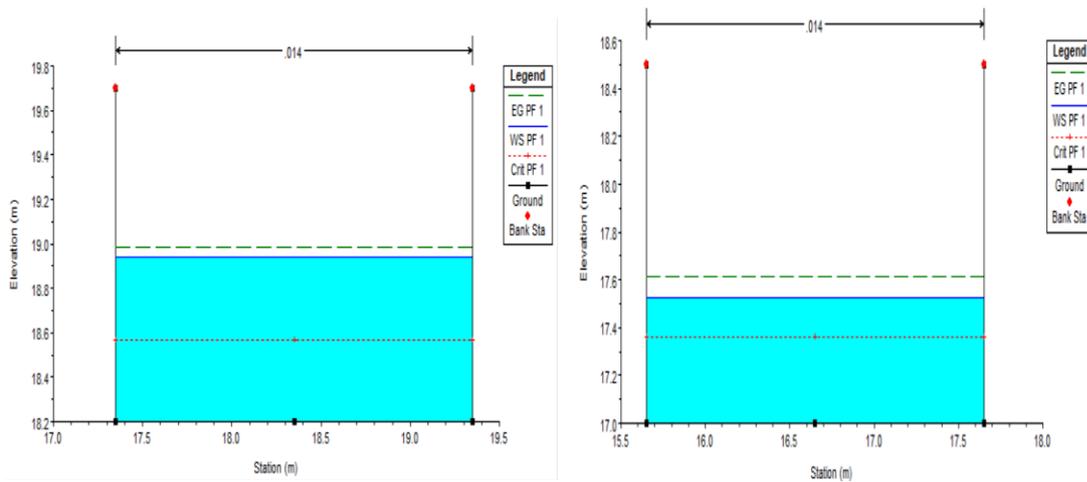


Figure.V.20 : Des tronçons de profil en travers du Canal B Rectangulaire à ciel ouvert.

☐ La figure suivante représente le canal proposé pour évacuer les eaux de l’affluent B

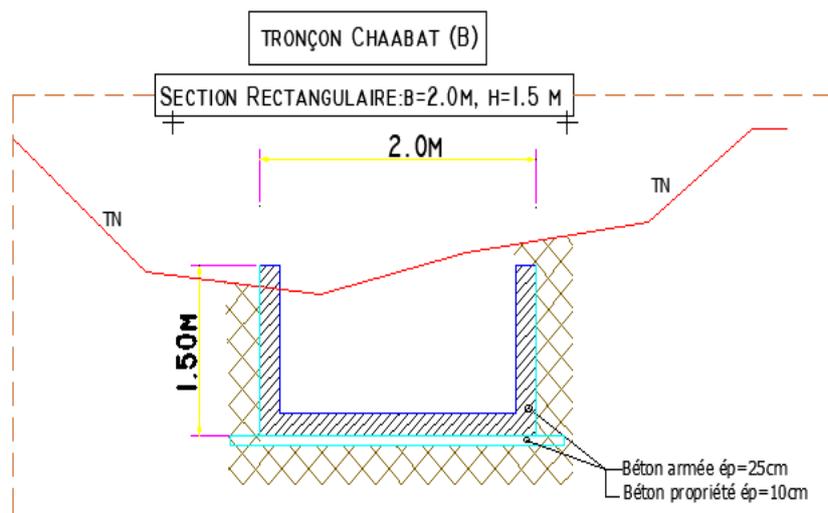


Figure.V.21 : Schéma du Canal rectangulaire à ciel ouvert en béton.

V.6.3.2 Le linge d'eau de canal B :

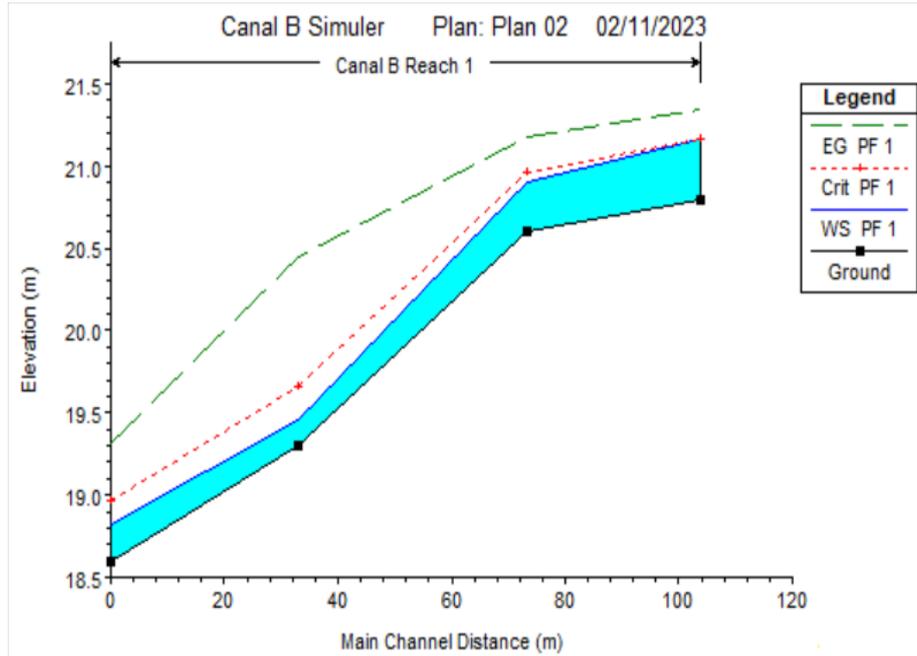


Figure.V.22 : La Ligne d'eau du canal B.

V.6.4 Canal C (PK 00 ML-PK 286ML):

La pente du terrain variant est presque linéairement $I=1.53\%$

- Section de forme Rectangulaire
- Débit de dimensionnement $Q = 2.37 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Base du canal $b = 2$ et $h=1.5$ m
- Coefficient de Manning $n= 0.014$.

Tableau.V.4 : Paramètres de calcul du canal C rectangulaire en béton (Canal 21).

Données					Résultats de calculs									
					Géométrique					Hydraulique				
$Q_{100\text{ans}}$	K_s	B	y	Pente	L_m	P_m	S_m	R_h	V	F_r	H_{sc}	Y_c	Y_n	L_{bief}
2.37	71.42	2	1.2	0.015	2	2.67	0.67	0.25	3.49	1.92	0.78	0.52	0.34	286 m

V.6.4.1 Les profils en travers :

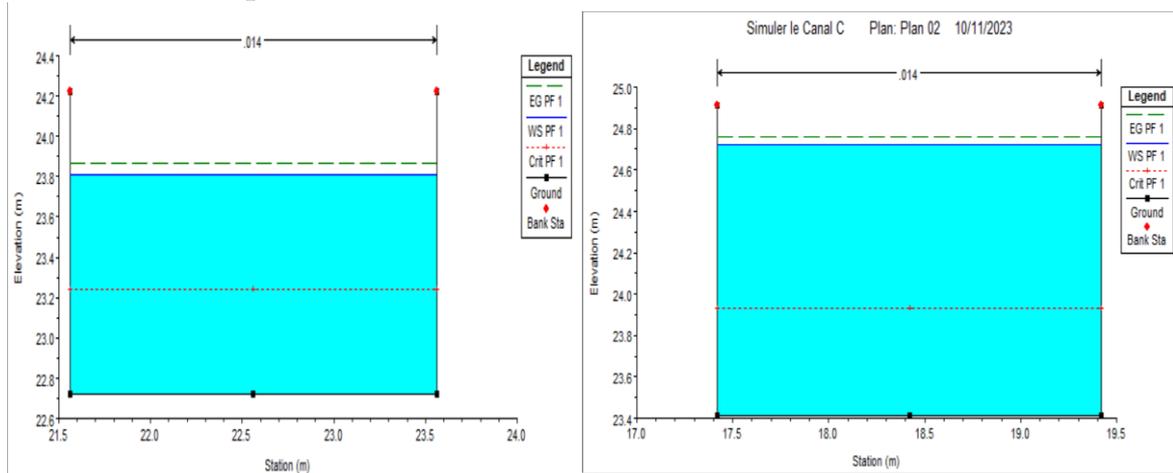


Figure.V.23 : Des tronçons de profil en travers du canal C rectangulaire.

□ La figure suivante représente le canal proposé pour évacuer les eaux de l’affluent C

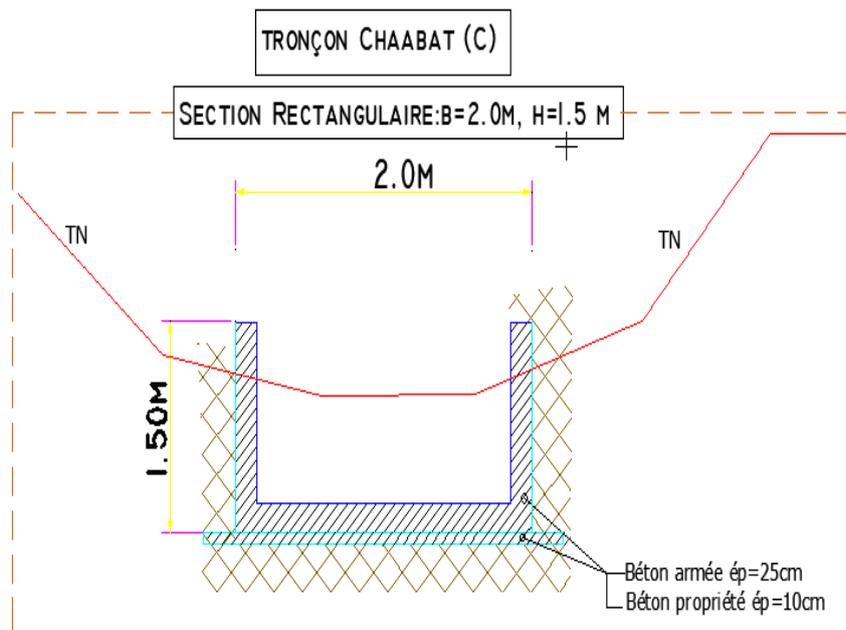


Figure.V.24 : Schéma du canal C rectangulaire à ciel ouvert en béton.

V.6.4.2 La ligne d'eau de canal C :

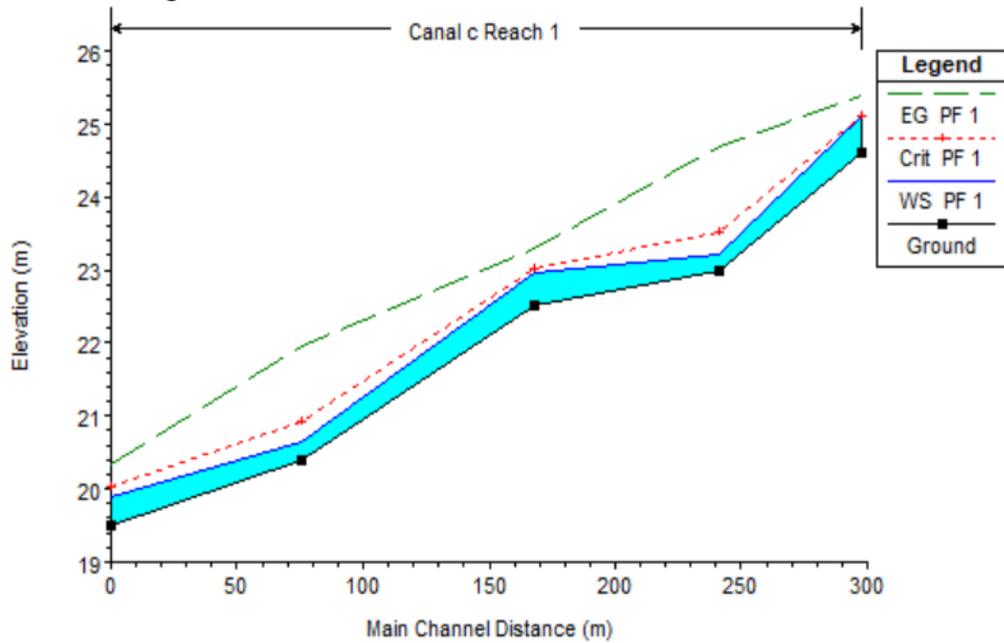


Figure.V.25 : La ligne d'eau du canal C

V.6.5 Canal (B+C) (PK01=00+125ML-PK02=00+665.6ML):

Maintenant, nous avons fusionné les canaux B et C pour créer un unique canal rectangulaire fermé qui conduira jusqu'au point de rejet.

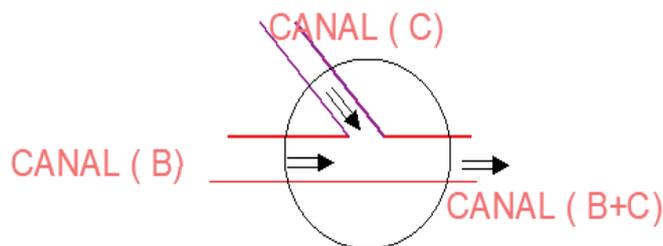


Figure.V.26 : Schéma de confluence des deux canaux B et C

- Les deux canaux sera calculé pour drainer les eaux provenant des bassins B et C, soit un débit de $Q_B=1.38\text{m}^3/\text{s}$ et $Q_C=2.37\text{m}^3/\text{s}$, dont $Q_{B+C}=3.75\text{m}^3/\text{s}$.

La pente du terrain variant est presque linéairement $I=0.71\%$

- Section de forme Rectangulaire fermé.
- Débit de dimensionnement $Q = 3.75\text{m}^3/\text{s}$.
- Base du canal $b = 2.5$ et $h=2$ m.
- Coefficient de Manning $n= 0.014$.

Tableau V.5: Paramètres de calcul du canal B+C rectangulaire fermé en béton (Canal 21)

Données					Résultats de calculs									
					Géométrique					Hydraulique				
Q _{100ans}	Ks	B	y	Pente	L _m	P _m	S _m	R _h	V	F _r	H _{sc}	Y _c	Y _n	L _{bief}
3.75	71.42	2.5	2	0.0071	2.5	3.49	1.24	0.35	3.02	1.37	0.92	0.61	0.49	540.6 m

V.6.5.1 Les profils en travers :

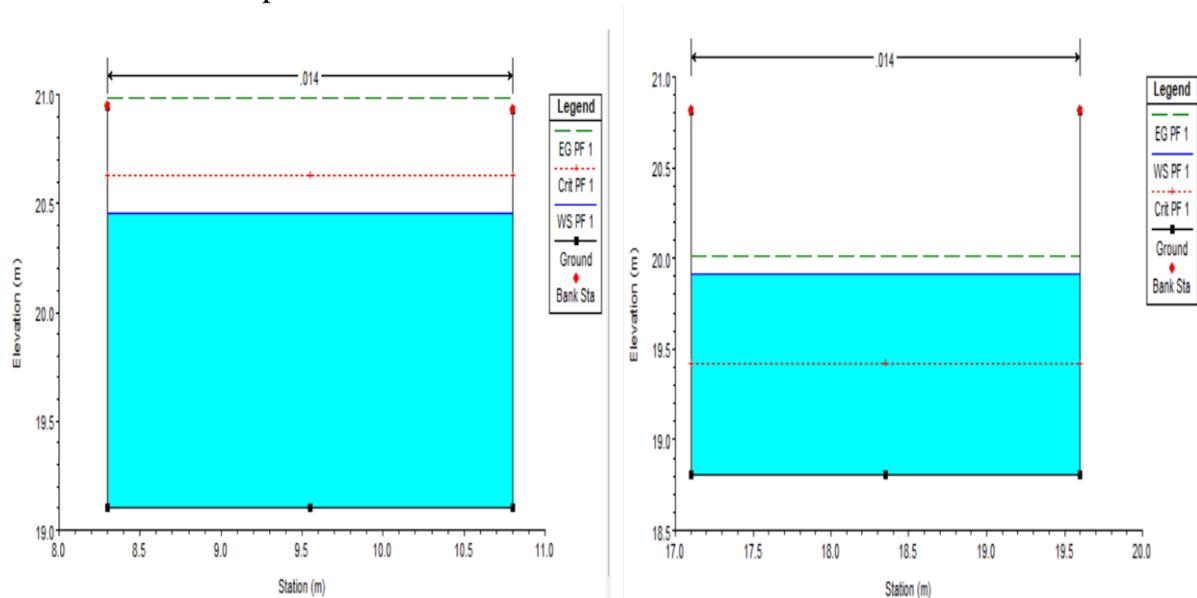


Figure.V.27 : Des tronçons de profil en travers de canal B+C rectangulaire.

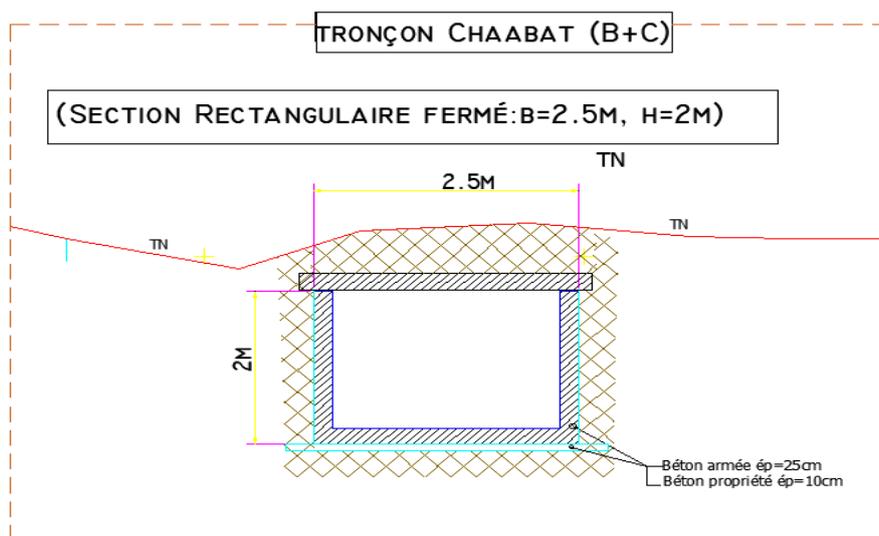


Figure. 28 : Schéma de canal rectangulaire fermé en béton

V.6.5.2 La ligne d'eau De Canal (B et C) :

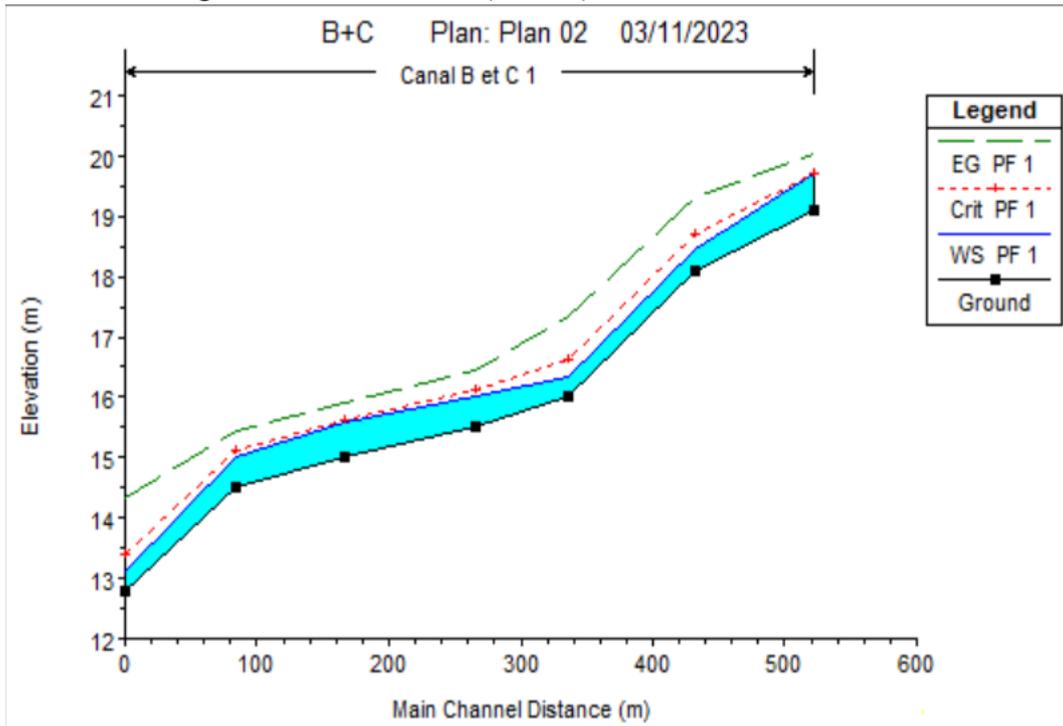


Figure.V.29 : La ligne d'eau de canal (B et C).

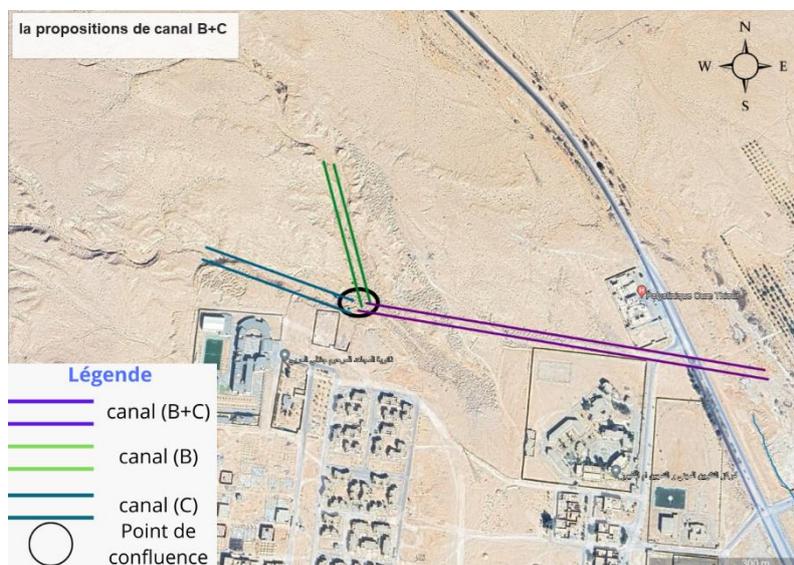


Figure.V.30 : Démonstration de la proposition de canal B et C.

V.7 Estimation du coût de la variante

Evaluation du cout du projet, après le calcul quantitatif des différents travaux à réaliser, l'estimation financière du projet de réalisation à partir des prix unitaires proposés.

▪ **Mur en Gabion N°1+ Mur en Gabion N°2 :**

Tableau.V.6 : Estimation du coût du mur

Mur de Gabion			
Opération	Quantité	Prix unitaire (DA)	Prix total (DA)
Déblais (m ³)	2500.00	200	500 000
Remblai (m ³)	1000.00	300	300 000
Béton cyclopéen (m ³)	1500.00	15000	22 500 000
Revêtement en béton (m ³)	500.00	12000	6 000 000
Total hors taxes- DA-			29 300 000
Taux de taxe (19%) - DA-			5 567 000
Total toutes taxes comprises- DA-			34 867 000

❖ **Canal A (PK02= 00+350 ML-PK04=00+1330.27 ML):**

- Section de forme Trapézoïdale à ciel ouvert en béton
 - Base du canal $b = 3$, $h=2$ m et $m=1/1$. $L=1330.27$

Tableau.V.7 : Estimation du coût du canal A

Canal A			
Opération	Quantité	Prix unitaire (DA)	Prix total (DA)
Déblais (m ³)	2000,00	200	400 000
Remblai (m ³)	1 000,00	300	300 000
Béton propreté ép=10cm (m ³)	1 250,00	12000	15 000 000
Béton armée ép=25cm (m ³)	100,00	30 000	3 000 000
Total hors taxes- DA-			18 700 000,00
Taux de taxe (19%) - DA-			3 553 000
Total toutes taxes comprises- DA-			22 253 000

❖ **Canal B (PK 00 ML-PK 125 ML):**

- Section de forme Rectangulaire
- Base du canal $b = 2$ et $h=1.5$ m, $L= 125$ m

Tableau.V.8 : Estimation du coût du canal B

Canal B			
Opération	Quantité	Prix unitaire (DA)	Prix total (DA)
Déblais (m ³)	1000,00	200	200 000
Remblai (m ³)	500,00	300	150 000
Béton propreté ép=10cm (m ³)	50,00	12000	600 000
Béton armée ép=25cm (m ³)	200,00	30 000	6 000 000
Total hors taxes- DA-			6 950 000
Taux de taxe (19%) - DA-			1 320 500
Total toutes taxes comprises- DA-			8 270 500

❖ **Canal C (PK 00 ML-PK 286ML):**

- Section de forme rectangulaire
- Base du canal b = 2 et h=1.5 m L=286 m

Tableau.V.9 : Estimation du coût du canal C

Canal C			
Opération	Quantité	Prix unitaire (DA)	Prix total (DA)
Déblais (m ³)	3055	200	611 000,00
Remblai (m ³)	1500	300	450 000,00
Béton propreté ép=10cm (m ³)	89,23	12 000	1 070 760,00
Béton armée ép=25cm (m ³)	370,656	30 000	11119680,00
Total hors taxes- DA-			13 251 440
Taux de taxe (19%) - DA-			2 517 773.00
Total toutes taxes comprises- DA-			15 769 213.00

❖ **Canal B+C (PK 125 ML-PK 665.6ML):**

- Section de forme Rectangulaire Fermé
- Base du canal b = 2.5 et h=2 m L= 540.6

Tableau.V.10 : Estimation du coût du canal B+C

Canal B+C			
Opération	Quantité	Prix unitaire (DA)	Prix total (DA)
Déblais (m ³)	4336	200	867 200,00
Remblai (m ³)	1500	300	450 000,00
Béton propreté ép=10cm (m ³)	200,88	12 000	2 410 560,00
Béton armée ép=25cm (m ³)	494,24	30 000	14 827 200,00
Total hors taxes- DA-			18 554 960,00
Taux de taxe (19%) - DA-			3 525 442,00
Total toutes taxes comprises- DA-			22 080 402.00

❖ **Le coût total du projet :****Tableau.V.11** : coût total du projet.

Designation	Coût en TTC (DA)
Mur de gabion	34 867 000
Canal A	22 253 000
Canal B	8 270 500
Canal C	15 769 213
Canal B+C	22 080 402
Total projet en TTC (DA)	103 240 115

Le montant total du projet revient à cent trois millions, deux cent quarante mille et cent quinze dinars algériens.

Conclusion

- Dans ce chapitre, nous avons dimensionné les ouvrages d'évacuation en utilisant les débits d'écoulement déterminés par les calculs hydrologiques. À la lumière des calculs hydrauliques effectués, l'aménagement proposé semble approprié pour, en toute sécurité, évacuer les eaux des bassins versants situés en amont de la ville d'Oum Thiour.
- Cependant, le devis a été établi en se basant sur l'étude technico-économique des travaux d'aménagement nécessaires, et l'évaluation de la quantité de matériaux et de travaux requis pour la réalisation de ce projet.
- Le coût total estimé à **103 240 115 DA**.



**CHAPITRE VI : Etude d'impact sur
l'environnement (EIE)**

Introduction

L'étude d'impact sur l'Environnement (EIE) est un instrument privilégié dans la planification du développement, de l'utilisation des ressources et du territoire en Algérie comme ailleurs. Elle est effectuée au moment de la conception, et actualisée en cas de modifications (certains cas de modifications de process, accidents dans des ouvrages similaires etc.). Elle est un processus systématique et approfondi qui évalue les effets potentiels d'un projet, d'un plan, d'un programme ou d'une activité sur l'environnement naturel et humain.

Le contexte de réalisation de cette étude :

- La mise en place d'un dispositif de sécurité et de minimisation des risques technologiques.
- Le respect strict de consignes de sécurité des personnes et des biens.

VI.1 Textes régissant les études d'impact sur l'environnement

Les réglementations concernant les études d'impact sur l'environnement ne ciblent pas spécifiquement l'aménagement des cours d'eau en milieu urbain. Il est nécessaire de consulter divers textes qui traitent des impacts, des effets temporaires ou permanents des chantiers, des modifications apportées, ainsi que des nuisances, car ces aspects peuvent avoir des implications sur de tels projets.

VI.2 Une étape de l'évaluation environnemental

L'étude d'impact sur l'environnement est une exigence réglementaire pour les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), et vise plusieurs objectifs phares, notamment :

- ✚ Analyser les effets sur l'environnement d'un projet d'aménagement, d'un programme de développement et d'une action stratégique,
- ✚ Mesurer leur acceptabilité environnementale,
- ✚ Améliorer la décision par une prise en compte explicite et sélective des considérations environnementales,
- ✚ Fournir une base solide pour la gestion des conséquences sur l'environnement des actions d'aménagement,
- ✚ Permettre aux citoyens de s'exprimer sur les modifications prévisibles de leur cadre de vie,
- ✚ Favoriser l'intégration des objectifs fondamentaux que sont la protection de l'environnement et le développement durable.

Objectifs du projet et raisons pour lesquelles L'Étude d'Impact sur l'Environnement (EIE) aborde de manière exhaustive tous les aspects environnementaux du projet. Cela englobe des préoccupations concernant la population, la santé humaine, la biodiversité, les sols, les terres, l'eau, l'air, le climat, la consommation des ressources, et bien plus. Nos experts effectuent une évaluation de la situation initiale avant la mise en service du nouveau projet afin de mieux comprendre ses implications potentielles.

Bien que ce choix présentât de nombreux avantages, l'établissement à proximité des rivières l'exposait inévitablement aux conséquences préjudiciables des crues et des inondations qui en découlaient, avec leurs impacts destructeurs sur les êtres humains et leur environnement.

VI.3 L'impact de l'aménagement par béton des oueds en Algérie

En Algérie, l'aménagement par béton des oueds est une pratique courante pour lutter contre les inondations. Cependant, cette méthode a des effets négatifs sur l'environnement, tels que :

- ✚ La perte de la biodiversité : la construction de barrages, de digues et l'installation de canaux en béton affectent les écosystèmes naturels en perturbant la faune et la flore.
- ✚ L'altération du régime hydrologique : le béton empêche l'infiltration de l'eau dans le sol et le ralentissement du débit, ce qui peut augmenter les risques d'inondation en aval.
- ✚ La dégradation de la qualité de l'eau : l'augmentation de la vitesse du courant et la réduction de la surface d'écoulement due au béton favorisent l'érosion des berges et augmentent la quantité de sédiments dans l'eau.

VI.4 Impacts de la phase chantier, mesures et suivi

Au cours de la mise en œuvre du projet, diverses perturbations peuvent survenir, mais la plupart de ces effets demeurent de courte durée et s'estomperont à la conclusion des travaux.

❖ Impacts sur la population :

- Les résidents locaux, en particulier ceux souffrant de problèmes respiratoires, sont gênés par les particules de poussière générées par les travaux d'excavation et les mouvements de terre.
- Les bruits provenant des engins de chantier constituent une source de perturbation.
- Le déplacement des déblais en excès et des matériaux de construction vers les sites de travail entraîne des interruptions de la circulation.

❖ Impacts des travaux sur la qualité de l'eau, du sol et de l'air :

La mise en place des canaux implique l'utilisation d'équipements de chantier susceptibles de causer de la pollution et de provoquer des altérations des éléments du milieu physique, notamment du sol, pendant les opérations d'aménagement.

❖ Altérations du paysage initial caractérisé par une végétation dense et le compactage du sol :

L'environnement le plus vulnérable est le milieu aquatique, qui peut être affecté par des déversements accidentels de substances toxiques telles que l'huile et les hydrocarbures, ainsi que par la libération de matières en suspension due au passage des engins et à la mise à nu de zones précédemment végétalisées. Le sol est également sensible aux impacts engendrés par la circulation des équipements. Compte tenu de l'utilisation des ressources en eau et en sol par la population, des répercussions indirectes sont prévisibles.

❖ Pollution de l'eau :

Les travaux d'aménagement en milieu urbain n'impliquent pas une utilisation significative de produits toxiques et polluants, limitant ainsi la pression environnementale due aux chantiers.

VI.5 Actions de réduction et d'atténuation des impacts

Les mesures correctrices pour minimiser les risques environnementaux lors de la phase de construction consistent à suivre les procédures préventives standard prescrites par les lois et réglementations en vigueur.

- ❖ Risques pour les espèces en danger, notamment les endémiques, et la diminution de la biodiversité :

Les probabilités de voir des espèces en danger, y compris celles qui sont endémiques, disparaître en raison de l'aménagement dans cette zone sont minces, étant donné l'ampleur relativement limitée des zones affectées. De plus, il convient de noter que la zone d'étude joue un rôle restreint dans la conservation de ces espèces.

- ❖ L'impact sur les communautés locales :

- + Les populations locales seront les premières bénéficiaires du projet d'aménagement des quartiers 5 juillet et CHOUHADA.

- + Selon l'emplacement des parcelles par rapport au projet, la perte de l'usage des terres cultivées est très restreinte.

VI.6 Mesures visant à réduire les impacts environnementaux

L'objectif des mesures d'atténuation est d'assurer une intégration optimale du projet dans son environnement. À cet égard, l'étude détaille les actions, les infrastructures, les correctifs ou les ajouts envisagés à chaque phase de mise en œuvre afin d'éliminer les effets négatifs liés à chaque variante ou de réduire leur gravité, tout en incluant les actions et les ajouts visant à renforcer ou à maximiser les impacts positifs. L'étude fournit également une évaluation de l'efficacité des mesures d'atténuation proposées.

VI.7 L'impact de La remontée de la nappe phréatique

La nature réagit aux erreurs humaines affectant les écosystèmes, même si leur action vise à développer et à créer des richesses supplémentaires. Beaucoup a été écrit sur le problème de la remontée des eaux dans notre Sahara qui est imputé à l'utilisation accrue des forages pour l'irrigation et la consommation en eau potable.

En certaines circonstances, le niveau d'étiage peut s'élever progressivement. Lors de fortes précipitations survenant lorsque ce dernier est exceptionnellement haut, la nappe peut atteindre la surface du sol. Cela peut provoquer ce que l'on appelle une "inondation par remontée de nappe", susceptible de se traduire par des débordements, des ruissellements ou des inondations.

VI.7.1 Conséquences d'une inondation par remontée de la nappe phréatique :

- ❖ Inondations de sous-sols, de garages semi-enterrés ou de caves.
- ❖ Fissuration d'immeubles, en particulier ceux comportant plusieurs niveaux de sous-sols.
- ❖ Une destruction du béton.

La crise hydraulique dans notre Sahara s'est rapidement aggravée, en même temps qu'elle se diffusait à travers une bonne partie du territoire. La quasi-totalité de la région est touchée, les palmeraies sont toutes ennoyées. La situation est d'autant plus grave qu'elle affecte le plus nettement la partie méridionale du Sahara, celle où se trouvent, au milieu de hautes dunes, les ghouts les plus vastes et les plus profonds, ceux où la palmeraie était la plus étendue (Côte, 1998).

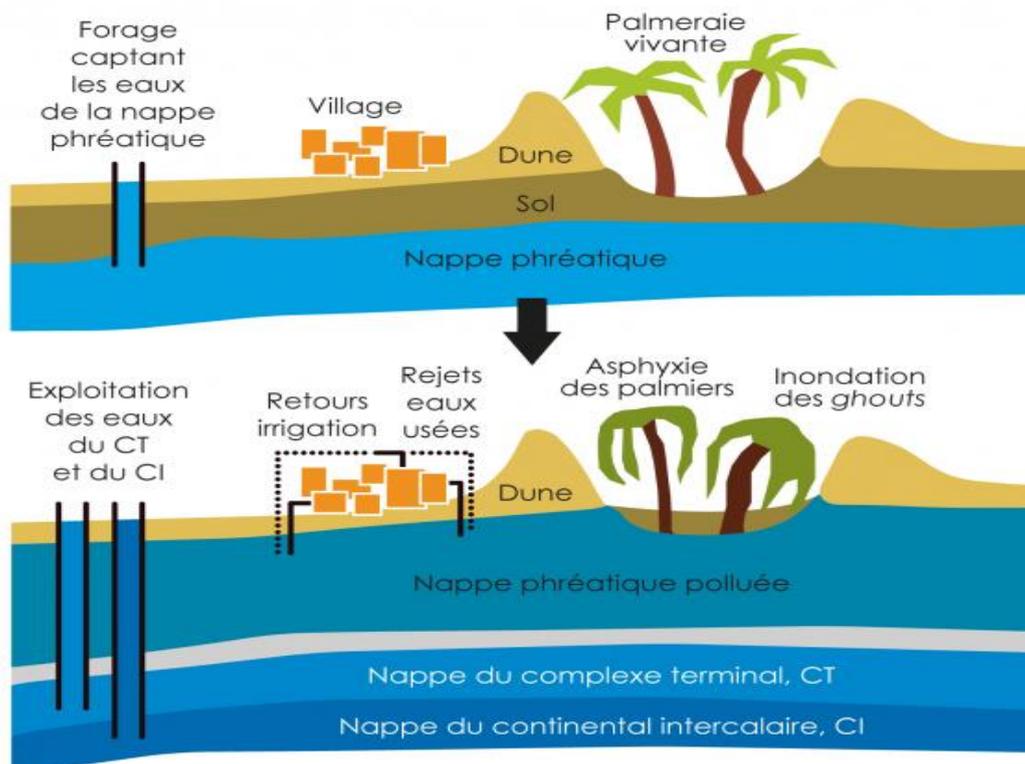


Figure.VI.1 : Le phénomène de remontée de la nappe phréatique (B. Remini,2006).

La mauvaise gestion des ressources hydriques est la cause principale de la remontée des eaux, la surexploitation des nappes profondes et l'évacuation des eaux résiduelles vers la nappe phréatique avec des quantités énormes dépassent la capacité de transfert hydraulique souterrain de la nappe, vers l'exutoire naturel (chotts). Les conséquences de cette remontée est la rupture de l'équilibre hydraulique, le noyage des ghouts, la perte des palmeraies dattiers, la propagation de la pollution bactériologique dans la nappe, la contamination des eaux par les nitrates d'origines domestiques et agricoles, la forte minéralisation d'eau à cause de l'évaporation à partir des surfaces d'eau libres ou de faible profondeur et la modification des paysages dans la zone d'étude.

VI.8 EIE du projet de protection contre les inondations Des Quartiers 5 juillet et CHOUHADA

Le choix des engins doit être conforme aux règles du chantier afin de prévenir l'émission de polluants atmosphériques nuisibles. Pour réduire les niveaux sonores, il est crucial de donner des directives aux conducteurs pour minimiser l'utilisation des avertisseurs sonores et éteindre les moteurs de leurs véhicules lorsque cela n'est pas nécessaire.

- Il est impératif de maintenir l'humidité du chantier en utilisant l'arrosage pour réduire les émissions de poussières.
- Afin de minimiser les perturbations de la circulation pendant les travaux d'aménagement, il est recommandé de bien signaler les zones de travail pour des raisons de sécurité.
- En ce qui concerne les mesures compensatoires visant à réduire les effets sur l'environnement et les risques d'accidents technologiques :
 - ❖ Protéger les eaux de surface contre toute pollution.

- ❖ Garantir que l'atmosphère ne soit en aucun cas polluée.
 - ❖ Préserver la faune, la flore et l'équilibre biologique, même si ces éléments écologiques ne sont pas présents sur le site.
 - ❖ Protéger les sites et les monuments d'intérêt historique et archéologique, bien que la zone ne contienne aucun site ou monument de ce type.
- Ces mesures compensatoires visent à minimiser les impacts environnementaux, à garantir la sécurité et à préserver la qualité de vie des zones avoisinantes lors de la réalisation de l'aménagement.

Conclusion

En conclusion, nous signalons que tout projet ne peut être dissocié de l'environnement dans lequel il se trouve.

A cet effet notre étude n'a pas négligé ce facteur que nous considérons partie prenante impératif et vital.

Par ailleurs toutes les conditions environnementales ont été prises en charge pour atténuer les impacts négatifs sur notre milieu.



**CHAPITRE VII : Organisation de
chantier et sécurité de travail**

Introduction

L'organisation d'un chantier peut être définie comme l'ensemble des mesures prises pour faciliter l'exécution d'un travail dans des conditions optimales (construction avec qualité, rapidité et en sécurité et ne soit pas onéreux), visant à réduire les coûts de production tout en favorisant des conditions propices à l'efficacité tant pour les travailleurs que pour les machines, ce qui a pour résultat d'accroître la productivité.

C'est dans ce but que nous élaborons un plan de sécurité et santé, Les principaux prérequis sont avoir des connaissances de base sur la structure d'une offre de soumission, les engins de chantier et les matériaux de construction.

Il est en effet indispensable que les ingénieurs de l'hydraulique aient conscience des responsabilités qu'ils auront dans leurs activités, pour cela ils doivent appréhender :

- ❖ Effectuation des visites régulières sur les sites de travail en compagnie des membres de l'équipe, dans le but de garantir la conformité aux lois et réglementations en matière d'hygiène et de sécurité au travail.
- ❖ Immobilisation en quantité et en qualité le personnel à employer, le coût de la main d'œuvre ayant une influence importante sur le prix de revient.
- ❖ Elaboration des règlements internes de sécurité.
- ❖ Répartitions Des tâches par la contraction d'une main d'œuvre spécialisée.
- ❖ Structurations convenablement les postes de travail stabilisés pour les quels, on adopter une mécanisation de plus en plus poussée.

VII.1 Rôles et responsabilités des intervenants sur chantier

Avant d'aborder en détail la construction d'un ouvrage, il est essentiel de rappeler les fonctions des individus impliqués dans ce projet.

VII.1.1 Le maître de l'ouvrage :

Le maître de l'ouvrage joue un rôle central dans le processus de construction. Il s'agit de la personne ou de l'entité qui est à l'initiative du projet de construction et qui en assure la responsabilité globale, Son rôle est de définir le but à atteindre (programme), d'organiser un financement de passer et de régler les marchés des travaux.

VII.1.2 Le maître d'œuvre :

C'est une personne physique ou morale, chargée par le maître de l'ouvrage de recevoir l'ouvrage, d'établir le dossier de consultation des entreprises, de contrôler et surveiller l'exécution des travaux et de proposer leur réception et leur règlement, après en avoir établi le décompte.

VII.1.3 L'entrepreneur :

L'entrepreneur est une personne ou une entreprise spécialisée dans la réalisation des travaux de construction, de rénovation ou de tout autre projet de construction. Le rôle de l'entrepreneur est essentiel dans le processus de construction, et il est responsable de la mise en œuvre concrète des plans et des spécifications du projet.

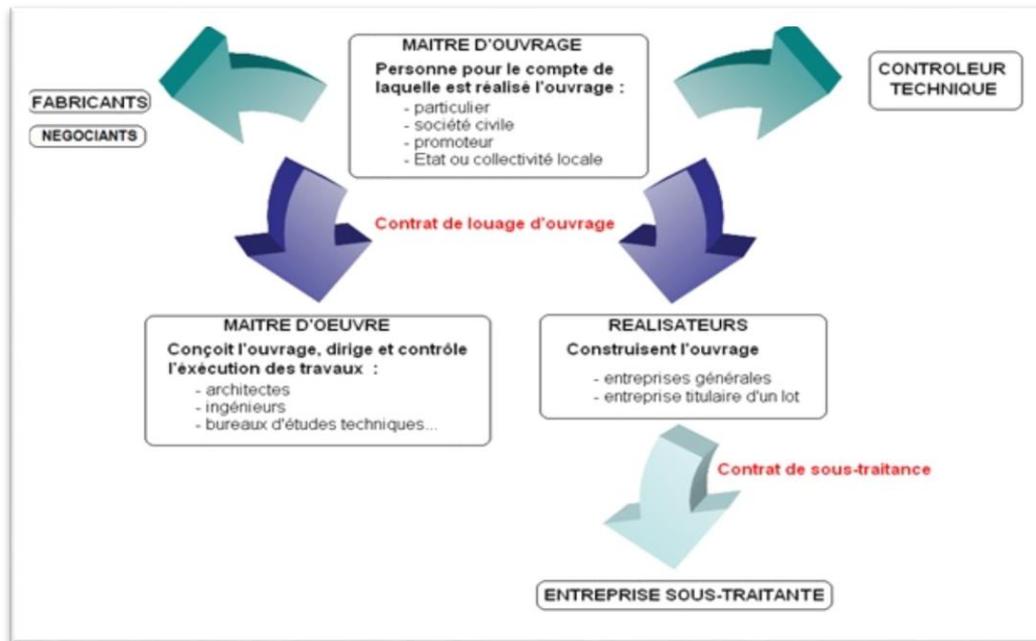


Figure VII.1 : Relation entre les personnes du chantier (Decennale.com).

VII.2 Organisation technique et données préparatoires

La phase fondamentale de l'organisation technique pour la construction débute par l'élaboration des documents qui octroient à l'entité le droit de réaliser les travaux de construction.

L'organisation technique de la phase préparatoire comporte les étapes suivantes :

- ❖ La période de préparation, qui implique la création d'un planning détaillé définissant l'ordre chronologique et le rythme d'exécution des travaux, en termes de qualité et de quantité.
- ❖ L'approvisionnement en matériaux de construction sur le chantier, en tenant compte de l'emplacement et de la qualité.

VII.2.1 Travaux préparatoires et installation de l'entreprise :

L'installation d'un chantier requiert un vaste espace pour permettre le stockage de divers matériaux et la circulation des engins, suivie par l'aménagement progressif des locaux, des équipements et des postes de travail. Ces installations comprennent généralement :

- ✚ Des installations pour le personnel, telles que : des dortoirs, des salles à manger, des installations sanitaires et des bureaux temporaires.
- ✚ Des installations pour le stockage des matériaux, par exemple.

Des silos métalliques ou des bâtiments en bois ou en métal pour les ciments. Les agrégats peuvent être stockés en plein air, avec une séparation pour éviter le mélange, tandis que les barres d'acier sont généralement conservées dans des bâtiments tels que des hangars pour les protéger des intempéries et de l'humidité.

VII.2.2 Installations destinées à la réparation des engins :

En règle générale, les réparations majeures ne sont pas effectuées directement sur le site de travail, mais il est essentiel de disposer d'un atelier bien équipé pour garantir la maintenance régulière et les réparations urgentes de l'équipement varié.

VII.2.3 Installation destinée pour la préfabrication :

Cette installation comprend des hangars équipés du matériel nécessaire pour la fabrication des composants de l'ouvrage, comme les poutres, les dalles, les conduites, et ainsi de suite.

VII.3 Travaux de réalisation

- **Travaux de terrassements :**

Pour exécuter les travaux de terrassement, il est essentiel d'élaborer une stratégie d'équilibrage des volumes de terre, en privilégiant des méthodes économiques pour la distribution et le déplacement des matériaux sur le chantier, tout en tenant compte des spécifications techniques des engins mécaniques utilisés.

- **Travaux d'excavations :**

Les diverses phases d'excavation doivent être exécutées en conformité avec les informations fournies dans les plans et le calendrier global des travaux. Cela inclut le décapage, qui consiste à retirer la couche de terre végétale du tracé du projet, suivie de son évacuation vers une décharge de déchets inertes.

VII.4 Les moyens de chantier

En ce qui concerne les ressources humaines, l'entreprise doit clairement identifier la personne responsable du chantier ainsi que son remplaçant, en spécifiant leurs qualifications, références et compétences. Les mêmes informations doivent être fournies pour les experts spécialisés, comme les géotechniciens, qui pourraient être nécessaires sur le chantier.

L'aménagement destiné à la protection contre les inondations requiert l'utilisation de nombreux engins mécaniques, conçus pour effectuer des tâches telles que le décapage, l'excavation, le transport, le nivellement et la compaction des matériaux. On peut distinguer différents types d'engins de terrassement et de compactage, chacun ayant ses caractéristiques et rendements spécifiques, qui pourraient être utilisés lors de la construction du barrage.

- **Les moyens humains :**

En ce qui concerne les ressources humaines nécessaires pour la mise en œuvre des ouvrages, il est impératif de démontrer la mobilisation de personnel qualifié tant pour la phase d'études préalables que pour la phase de construction, en spécifiant clairement leurs titres et leurs compétences. Le personnel requis pour le projet d'aménagement comprend :

- ✚ Conducteur des travaux : pour le suivi de chantier et le suivi d'ouvriers.
- ✚ Soudeurs.
- ✚ Chauffeurs pour les engins et les camions.
- ✚ Ouvriers.
- ✚ Ferrailleurs.
- ✚ Topographes

- **Le matériel de terrassement :**

Le matériel général de terrassement comprend les engins traditionnels mis en œuvre pour la constitution des fouilles d'assise du barrage, l'extraction et le transport des matériaux et la réalisation des finitions (remblaiement – enrochement ...).

- **Le matériel des bétonnages :**

On utilise le plus souvent des bétonnières pour la fabrication du béton nécessaire pour la construction des ouvrages en béton.

Tableau.VII.1 : les engins utilisés

Taches	Engins	Image de l'engins	Actions
Travaux de Préparation et Terrassement	Camions		Transport
	Chargeurs		Enlever les obstacles et les herbes
	Pelles		
	Niveleuse		De réalisation et nettoyage de fossés et de talus
	Dumpers		
Compactage	Tous types de compacteurs		Consolider les berges de l'oued pour éviter l'affaissement.
Coulage	Bétonneuse		Produire du béton
	Pompe à béton		Couler le béton

VII.5 Planification

La planification des travaux est un outil qui vise continuellement à optimiser l'utilisation de la main-d'œuvre et des ressources disponibles pour garantir l'efficacité des actions à entreprendre. Son but principal est de s'assurer que les travaux sont réalisés dans un ordre approprié et dans les délais, tout en minimisant Les Coûts. Elle englobe les éléments suivants :

- ✚ Installation des postes de travail.
- ✚ Observations instantanées.
- ✚ Analyse des tâches.
- ✚ Simplification des méthodes.
- ✚ Stabilisation des postes de travail.
- ✚ Chronométrage.

VII.5.1 Les étapes de la planification :

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

- ❖ **Collecte d'informations** : Rassembler et analyser les données issues d'études comparatives est essentiel pour utiliser efficacement le plan de réalisation de notre projet.
- ❖ **Décomposition du projet** : Diviser le projet en tâches distinctes, attribuer un responsable à chaque tâche, définir les besoins en matériel et estimer la durée en fonction de la cadence des travaux de chaque engin.
- ❖ **Relations entre les tâches** : Pendant la réalisation du projet, il existe deux types de relations cruciales entre les tâches : celles basées sur la logique et celles basées sur les préférences.
- ❖ **Choix de la méthode de calcul** : Le choix de la méthode de calcul dépend en grande partie de la nature de l'ouvrage à construire.

VII.5.2 Techniques de la planification :

Il existe deux principales méthodes de planification à savoir :

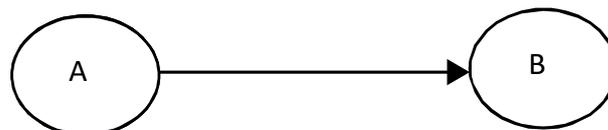
- Méthodes basées sur le réseau.
- Méthodes basées sur le graphique.

Méthodes basées sur le réseau :

Le réseau est une représentation graphique d'un projet qui permet d'indiquer la relation entre les différentes opérations qui peuvent être successives, simultanées, convergentes qui sont indispensables pour l'achèvement de l'objectif de la planification, On distingue deux types de réseaux :

○ Réseau à nœuds :

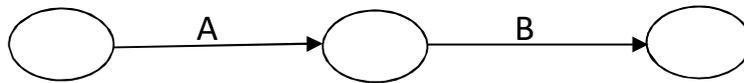
- L'opération est représentée par un nœud et la succession des opérations par des flèches.



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

- Réseau à flèches :

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



- L'opération A précède l'opération B.

Construction du réseau :

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

- ✚ Etablissement d'une liste des tâches : Il s'agit dans cette première phase de procéder à un inventaire très précis et détaillé de toutes les opérations indispensables à la réalisation d'un projet.
- ✚ Détermination des tâches antérieures : Après avoir dressé la liste des tâches à effectuer, il n'est pas toujours facile de construire un réseau car il n'est pas aisé de dire si les tâches antérieures doivent être successives ou convergentes.
- ✚ Construction des graphes partiels.
- ✚ Regroupement des graphes partiels.
- ✚ Construction du réseau.
- ✚ Détermination des tâches de début de l'ouvrage et de la fin. Différentes méthodes basées sur le réseau (Benlaoukli,2004).

VII.5.3 Différentes méthodes basées sur le réseau (BENLAOUKLI,2004) :

- Méthode C.P.M (Méthode française) :

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

- ✚ **1ère phase** : l'effectif nécessaire pour effectuer le travail considéré.
- ✚ **2ème phase** : analyser systématiquement le réseau, heure par heure, jour par jour, selon l'unité de temps retenu.
- ✚ **3ème phase** : adapter le réseau aux conditions ou contraintes fixées par l'entreprise.

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

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

- Méthodes basées sur le graphique :

- ✚ **Méthode linéaire (ligne of balance technique)** : Cette méthode est destinée à la planification des projets de construction dont les travaux sont répétitifs ;
- ✚ **Méthode à barres** : Cette technique consiste à déterminer deux réseaux et un diagramme à barres (plan de travail).

VII.5.4 Les paramètres de calcul dans la méthode C.P.M :

Les paramètres indispensables dans l'exécution de cette méthode sont les suivants :

DCP	TR
DFP	DCPP
DFPP	MT

Avec :

- TR : temps de réalisation ;
- DCP : date de commencement au plus tôt ;
- DCPP : date de commencement au plus tard ;
- DFP : date de finition au plus tôt ;
- DFPP : date de finition au plus tard ;
- MT : marge totale.

Avec : $DFP = DCP + TR$

$$DCPP = DFPP - TR$$

Chemin critique C.C :

C'est le chemin qui donne la durée totale du projet (DTR) reliant les opérations possédant la marge totale nulle. Donc pour retrouver un chemin critique il suffit de vérifier la double condition suivante :

$$\begin{cases} MT = 0 \\ \sum TR_{cc} = DTP \end{cases}$$

VII.5.5 Délai de construction et programme des travaux :

Le calendrier de construction de l'ouvrage est établi en prenant en considération la durée de chaque étape, tout en sachant que certaines d'entre elles peuvent être réalisées simultanément. La réalisation efficace de ces travaux repose sur une planification minutieuse, en respectant plusieurs exigences, notamment :

- ✚ La séquence correcte des opérations.
- ✚ Le respect des délais impartis pour chaque étape.
- ✚ L'optimisation des coûts.

Pour atteindre cet objectif, il est essentiel de mécaniser au maximum les travaux, de disposer d'équipements de construction hautement performants gérés par une main-d'œuvre qualifiée, de

maintenir en bon état le réseau routier utilisé pour le transport des matériaux, et de coordonner efficacement différentes tâches en parallèle sans compromettre leur qualité d'exécution.

VII.5.6 Diagramme de Gantt :

Le diagramme de Gantt, couramment utilisé en gestion de projet, est l'un des Outils les plus efficaces pour représenter visuellement l'état d'avancement des différentes activités (tâches) qui constituent un projet, Ce diagramme permet donc de visualiser d'un seul coup d'œil :

- ✚ Les différentes tâches à envisager.
- ✚ La date de début et la date de fin de chaque tâche.
- ✚ La durée escomptée de chaque tâche.
- ✚ Le chevauchement éventuel des tâches, et la durée de ce chevauchement.
- ✚ La date de début et la date de fin du projet dans son ensemble

En synthèse, un diagramme de Gantt répertorie l'ensemble des activités nécessaires pour mener le projet à bien, et indique la date à laquelle ces tâches doivent être effectuées.

La méthode du CPM est une technique de planification visant à minimiser le temps et les coûts de réalisation d'un projet tout en optimisant l'efficacité du travail. Lors de la construction du réseau, la première étape consiste à identifier et répertorier les diverses tâches associées aux travaux. Ces tâches sont ensuite consignées dans le tableau ci-dessous :

Tableau.VII.2 : Etapes de réalisation du projet.

Designation d'opération	Code	Durée (Jours)
Installation du chantier	A	15
Travaux de terrassement canal A	B	40
Travaux de terrassement sur canal B+C	C	40
Pose gabion	D	40
Lit du béton de propreté canal A	E	45
Lit du béton de propreté canal B+C	F	45
Béton armé canal A	J	70
Béton armé canal B+C	H	95
Déménagement du chantier	I	15

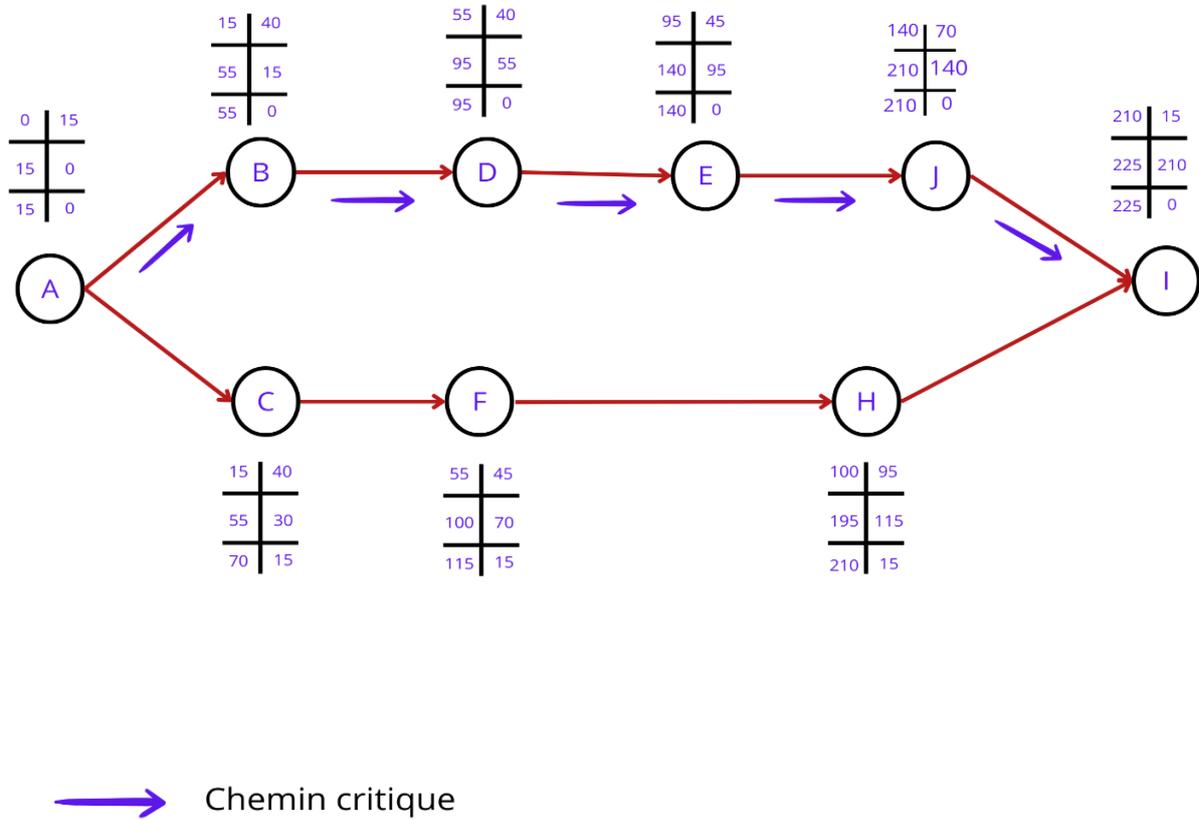


Figure.VII.2 : Planification des taches par la méthode CPM.

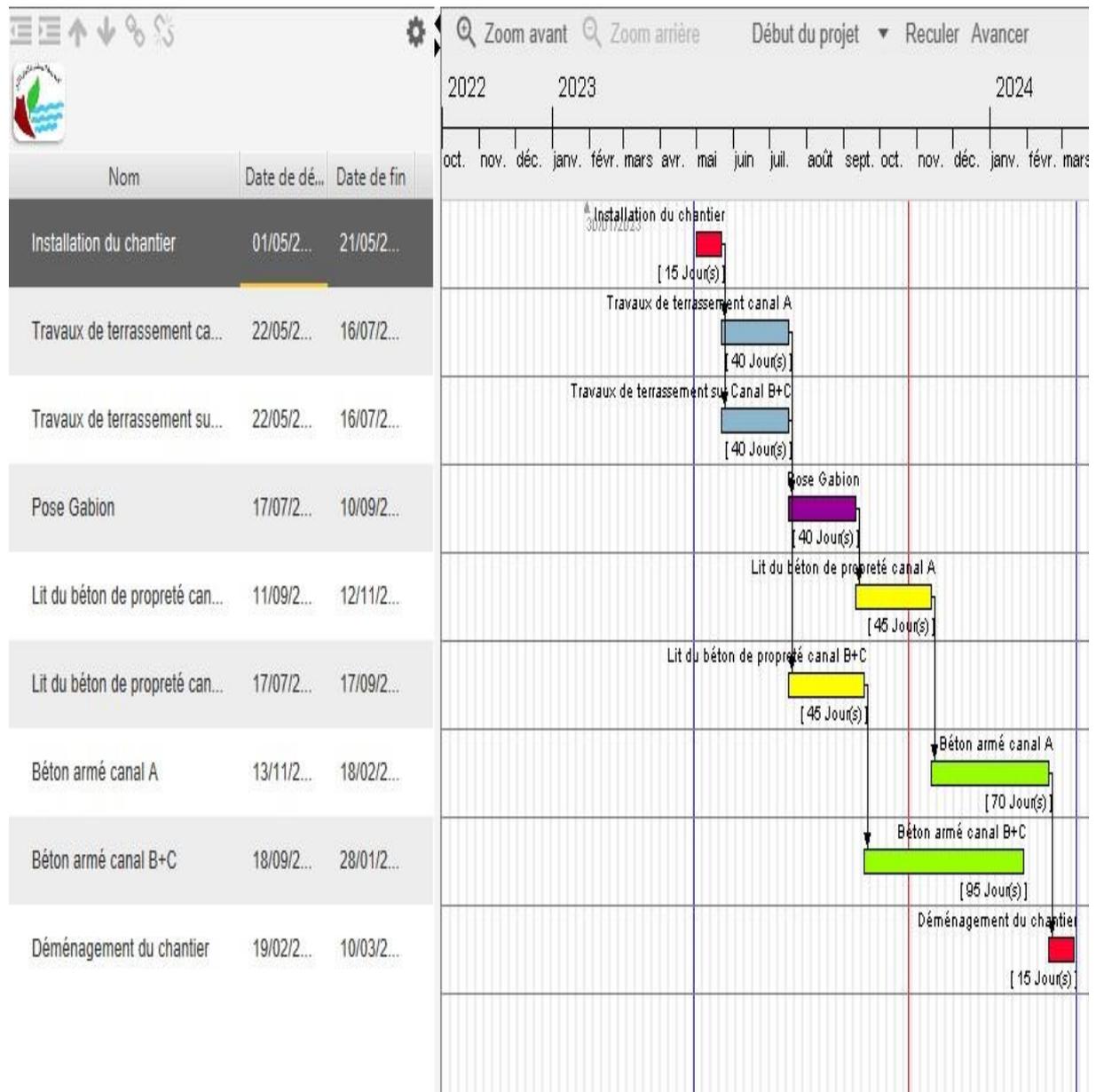


Figure.VII.3 : Chronogramme du projet par le logiciel GANTT Project.

Conclusion :

L’organisation de chantier est un aspect vital de la gestion de projet. Grâce à une planification minutieuse, à l’allocation efficace des ressources humaines, techniques et matérielles, ainsi qu’à une supervision constante pour garantir que le projet avance conformément aux échéanciers prévus sans dépasser les coûts initiaux d’investissement, nous avons pu déterminer combien de temps il faudrait pour achever le développement de projet d’aménagement à l’issue de cette étape qui est environ de 12 mois.

VII.6 Sécurité de travail

La sécurité de travail, c'est le fait de prendre des mesures pour que les employés soient protégés et ne se blessent pas lorsqu'ils font leur travail. Cela implique de prévenir les accidents et de créer un environnement de travail sûr.

VII.6.1 Accident de travail :

Est considéré comme accident du travail, quelle qu'en soit la cause, l'accident survenu par le fait ou à l'occasion du travail à toute personne salariée ou travaillant, à quelque titre ou en quelque lieu que ce soit, pour un ou plusieurs employeurs ou chefs d'entreprise. (Michel. B, Angelo).

VII.6.2 Les causes des accidents du travail et maladies professionnelles :

L'accident du travail n'est jamais le fait d'un hasard ou de la fatalité. Les enquêtes effectuées après les accidents font toujours apparaître une multitude de causes s'ajoutant les unes aux autres pour provoquer et aggraver l'accident.

Ces causes sont la somme de différents éléments ou facteurs classés en deux catégories distinctes :

-  Facteur matériel.
-  Facteur humain.

Tableau.VII.3 : Liste des travaux impliquant des risques spéciaux.

N°	Travaux	Risques Potentiels	Evaluation 1		
			F	M	E
1	Montage Chantier	Incendies		X	
		Accidents divers		X	
		Electrocution			X
		Renversement		X	
		Poussières			X
		Brulures		X	
		Inondation		X	
		Infections/Intoxications		X	
		Chute de plain-pied		X	
		Blessures diverses		X	
		Insalubrité			X
Problèmes de posture		X			
2	Coupe, façonnage et application d'armatures	Chute au sol		X	
		Electrocution		X	
		Lésions corporelles		X	
		Chute en hauteur			X
		Chute d'objets		X	
		Chute en hauteur			X
		Lésions corporelles	X		
		Chute de la structure		X	

3	Bétonnages en general	Lancement de matériaux			X
		Chute de matériaux			
		Renversement		X	
		Accident routier		X	
		Dermatoses			X
4	Montage de structures préfabriquées	Chute en hauteur			X
		Chute au sol		X	
		Lésions corporelles		X	
		Chute d'objets			X
5	Terrassements	Accident routier			X
		Renversement			X
		Electrocution			X
		Poussières		X	
		Autre blessures	X		
		Ensevelissement		X	
6	Murs en gabions	Détachement de terres		X	
		Interférence avec des voies publiques			X
		Effondrement du couronnement de L'excavation		X	
		Chute en hauteur			X
		Chute de matériaux			X
		Choc entre objets		X	
		Lésions corporelles		X	
7	Signalisation horizontal	Accident routier			X
		Renversement	X		
		Autre blessures		X	
		Inhalation des produits toxiques			X
		Dermatoses			X
		Incendies/explosion		X	
		Problèmes dorsolombaires	X		
		Poussières	X		
		Brulures		X	
		Fuites des liquides dangereux			X

Evaluation des risques : Faible ; Moyen ; Elevé.

VII.6.3 Le système algérien de prévention des risques professionnels :

VII.6.3.1 La prévention :

La prévention des risques professionnels, c'est l'ensemble des dispositions à mettre en œuvre pour préserver la santé et la sécurité des salariés, améliorer les conditions de travail et tendre au bien être au travail.

✚ Elle s'inscrit dans une logique de responsabilité sociale des entreprises.

- ✚ Elle vise à anticiper et à limiter les conséquences humaines, sociales et économiques des accidents du travail (AT) et des maladies Professionnelles (MP).
- ✚ Elle se traduit par des enjeux, un engagement et une volonté politique ou sein de l'entreprise.
- ✚ Elle repose sur des principes, des méthodes et des outils.
- ✚ Elle se concrétise au quotidien par une implication de chacun, des pratiques de métier, la mise en œuvre de ces principes, et le respect de valeurs essentielles : en d'autres termes, développer dans l'entreprise une culture de prévention.
- ✚ Elle implique des acteurs qui travaillent ensemble dans un objectif commun, afin d'assurer l'intégrité physique et mentale de tous les salariés et crée les conditions de leur bien-être physique, mental et social.

VII.6.3.2 Les étapes de la prévention :

➤ **Etape 1** : Préparer la démarche de prévention :

C'est l'étape fondamentale qui conditionne le succès de la démarche. Pour cela, il est nécessaire de Elaborer une stratégie en santé et sécurité au travail intégré à l'activité de l'entreprise en fixant des objectifs et en définissant une organisation adaptée.

- ✚ Recenser les analyses effectuées, les données produites et les mesures prises en matière de prévention des risques professionnels.
- ✚ Préciser les modalités de la participation des acteurs internes à l'entreprise, et des recours à des compétences externe à l'entreprise.
- ✚ Planifier la démarche (calendrier, ressources, modalité de définition des unités de travail, méthode d'analyse des risques)

➤ **Etape 2** : Evaluer les risques :

Evaluer, c'est comprendre et estimer les risques pour la santé et la sécurité des travailleurs, dans tous les aspects liés au travail. Cela implique que l'entreprise dresse pour chaque unité de travail un inventaire des risques identifiés.

➤ **Etape 3** : Elaborer un programme d'action :

Les priorités d'action de prévention sont déterminées sur la base de l'estimation des risques. L'employeur va opérer des choix et recherche des solutions permettant de mettre au point une stratégie et un ou des programmes d'action :

- ✚ En respectant, dans l'ordre suivant, les principes généraux de la prévention :
- ✚ Suppression des risques.
- ✚ Mise en œuvre des mesures de protection collective.
- ✚ Prise de mesure de protection individuelle.
- ✚ En tenant compte à la fois des facteurs organisationnels, technique et humain
- ✚ En définissent les moyens humains et financiers (couts et opportunités d'investissement).
- ✚ En fixant un calendrier précis, selon les priorités issues de l'évaluation des risques et en respectant les obligations spécifiques du code de travail.

Lorsque les risques ne peuvent pas être supprimés immédiatement, des mesures provisoires doivent être prises pour assurer la protection des travailleurs, ces décisions doivent garantir une protection suffisante, dans l'attente de la mise en œuvre des moyens techniques et financiers susceptible d'éliminer les risques.

Dans cet esprit, grâce à un dialogue social permanent, le programme d'action devient un véritable instrument de pilotage et de suivi de la prévention au sein de l'entreprise.

➤ **Etape 4** : Mettre en œuvre les actions :

Quelle que soit l'action envisagée, il est nécessaire de :

- ✚ Désigner une personne chargée du suivi.
- ✚ Disposer d'outils de pilotage permettant d'ajuster les choix, de contrôler l'efficacité des mesures et de respecter les délais

➤ **Etape 5** : Evaluer la démarche de la prévention :

Cette phase dynamique consiste à :

- ✚ Assurer le suivi.
- ✚ Des mesures réalisées dans le cadre de plan d'action.
- ✚ Des méthodes utilisées (définition des unités du travail, modalités de concertation, appréciation des moyens engagés...)
- ✚ Dresser un bilan périodique, ce bilan peut conduire à :
 - ✚ Valider les actions et méthodes mise en œuvre.
 - ✚ Corriger les actions réalisées, lorsqu'elles conduisent a des changements techniques et organisationnels dans les situations de travail susceptibles de générer de nouveaux risques.
- ✚ Relancer la démarche de prévention, conformément aux obligations de l'employeur en matière d'évaluation des risques au moins une fois par ans, ou lors d'aménagements importants ayant un impact sur la santé et la sécurité des travailleurs ou lorsque toute nouvelle information nécessite une évaluation des risques.

VII.6.4 Equipement de protections :

L'équipement de protection individuelle (EPI) est essentiel sur les chantiers de construction pour assurer la sécurité des ouvriers et des travailleurs. Le port d'un casque de sécurité, de vêtements à haute visibilité et de bottes à embout d'acier est généralement obligatoire pour réduire les risques de blessures. Il est important de respecter ces normes pour garantir un environnement de travail sûr.

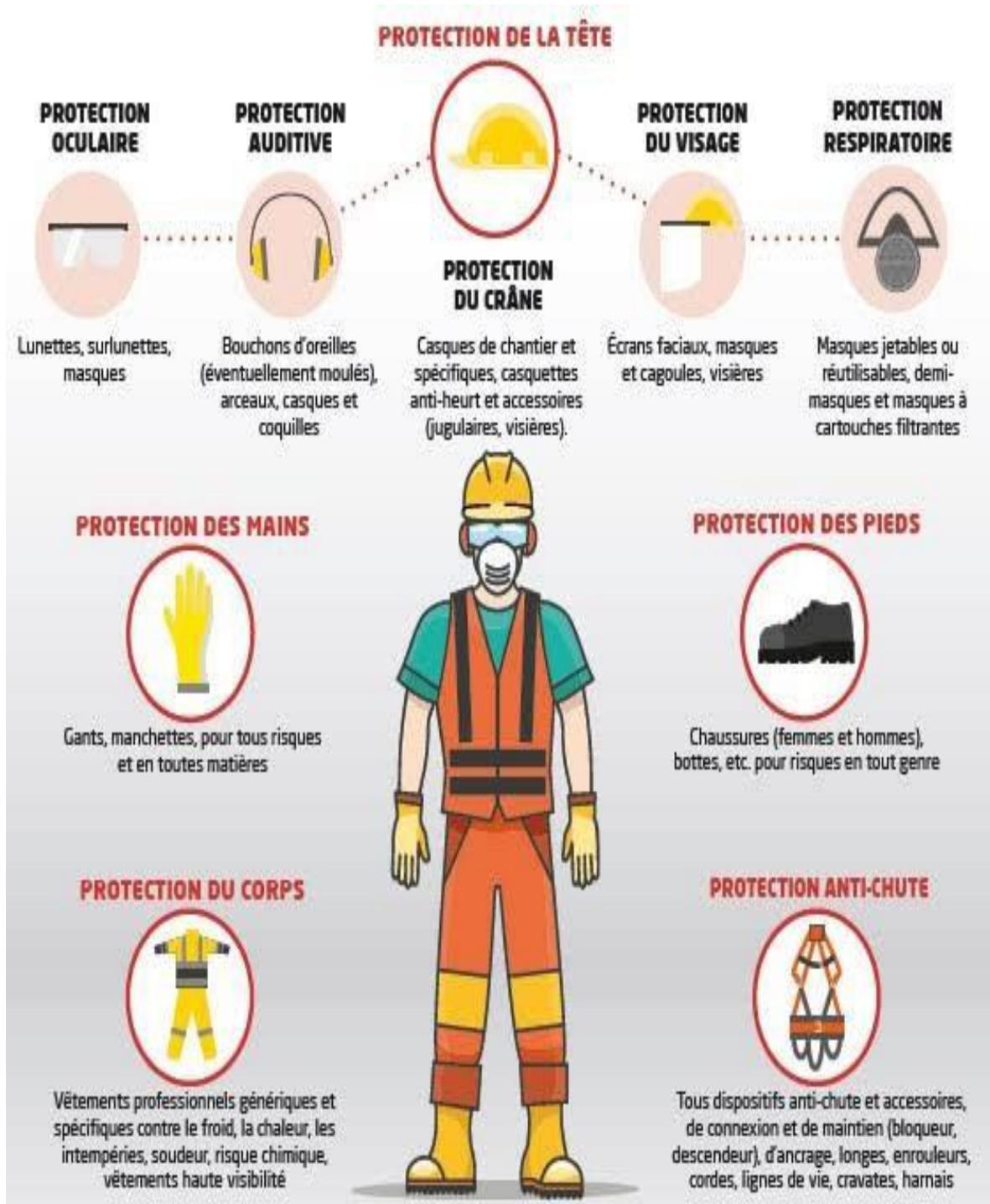


Figure.VII.4 : Les équipements de protection (plucéo).

Conclusion générale

Notre travail vise à examiner la problématique des inondations dans la ville d'Oum Thiour, une zone vulnérable à ce phénomène naturel. À travers les différentes étapes de notre mémoire, nous avons constaté que les risques liés aux inondations causés par les débordements des cours d'eau sont essentiellement liés à trois concepts fondamentaux : la topographie, l'hydrologie et l'hydraulique. Voici les étapes distinctes que nous avons suivies dans le cadre de l'étude relative à la protection contre les inondations de la ville d'Oum Thiour :

Nous débutons notre étude en présentant un aperçu complet des paramètres géomorphologiques, climatiques, géologique et hydrologiques du bassin versant, et en abordant la problématique de notre étude. Ensuite, nous effectuons une synthèse des inondations les plus destructrices en Algérie.

Par la suite nous avons analysé et présenté les caractéristiques géomorphologiques et physiographiques des bassins et entamé l'étude hydrologique pour prédire les débits de crues correspondant à différentes périodes de retour, en utilisant les formules empiriques basées sur des données pluviométriques et en utilisant le logiciel HYFRAN, d'après les observations, La loi Gumbel est celle qui correspond le mieux au type de série de débits utilisée.

Après, nous avons procédé le choix de la section et des matériaux pour dimensionner les canaux et effectuer les calculs hydrauliques à l'aide des logiciels Canal 21 et HEC-RAS. Nous avons ainsi identifié la solution la mieux adaptée pour protéger notre zone d'étude.

Canal A : Afin d'empêcher l'eau d'atteindre les différents quartiers, nous avons construit un mur en gabion pour dévier les eaux vers un canal de section trapézoïdale en béton armé.

Canal B et C : Composée de deux sections distinctes : Nous avons aménagé pour les canaux B et C une section rectangulaire à ciel ouvert, puis, au point de confluence de ces deux canaux, nous avons opté pour une section de forme rectangulaire fermée.

Après avoir estimé les volumes de terrassement et les matériaux nécessaires pour mener à bien le projet, nous avons déterminé un coût optimal de ce projet, évalué à **103 240 115** dinars algériens.

Enfin, Pour assurer le bon déroulement de la réalisation du projet, nous avons identifié un ensemble de règles, de normes et de lois régissant l'organisation du chantier et la sécurité au travail.

L'étude sur les inondations en Algérie établie par l'agence nationale des ressources hydrauliques montre que le pays est confronté au phénomène de crues et inondations très destructives en particulier dans les régions arides et semi-arides.

Références bibliographiques

Abdous, B., Besbes, M., Fezzani, C., Latrech, D., & Mamou, A. (2005). Système aquifère du Sahara septentrional « SASS » Gestion commune d'un bassin transfrontière. Paper presented at the Proceeding du colloque international sur les ressources en eau souterraines dans le Sahara -CIRESS Ouargla.

Afrique SCIENCE 10(3) (2014) Effets de la remontée des eaux de la nappe phréatique sur l'homme et l'environnement : cas de la région d'El-Oued (SE Algérie) 161 - 170 ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.info>.

Bendjoudi, H. & Hubert, P. (2002) Le coefficient de compacité de Gravelius : analyse critique d'un indice de forme des bassins versants, Hydrological Sciences, Journal, 476,921-930, DOI : 10.1080/02626660209493000, le lien de l'article : <https://doi.org/10.1080/02626660209493000>

ETSOURI Salim (2020) Le potentiel énergétique de la nappe Albienne en Algérie : Transformation et Exploitation en Agriculture : Thèse en vue de l'obtention du diplôme de doctorat en sciences agronomiques.

TOUAIBIA (2015) Manuel Pratique D'Hydrologie Presse Madani frères, Blida, Algérie : Caractéristique du bassin versants ISBN :978-9947-0-4272-4.

Roche, M. (1963) Hydrologie de surface. Gauthier-Villars et ORSTOM, Paris, France.

Références sitographiques

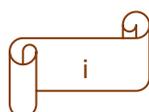
<https://earthexplorer.usgs.gov/>

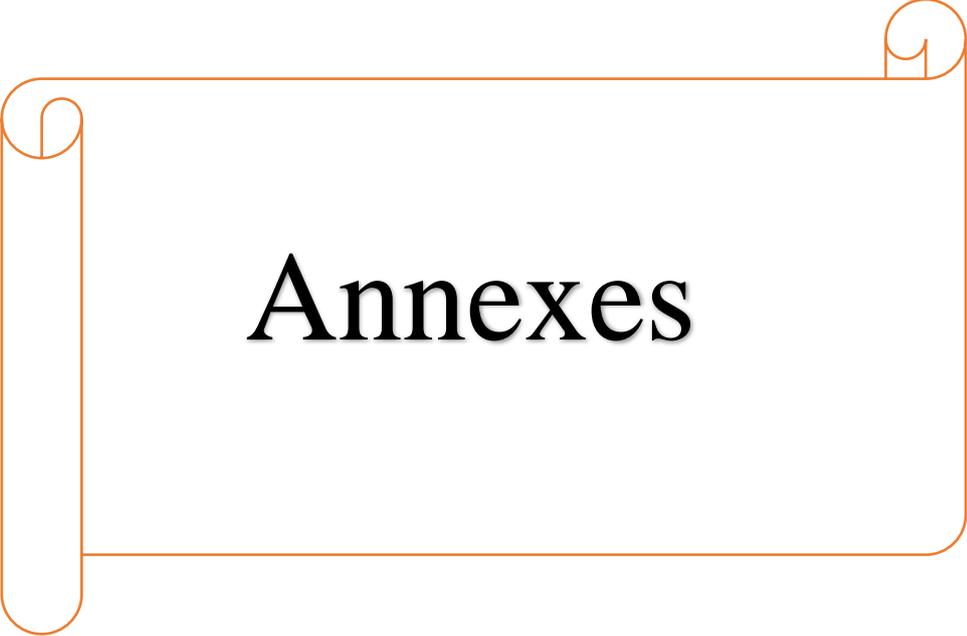
<https://www.infoclimat.fr>

<https://elwatan-dz.com>

<https://www.eaufrance.fr/>

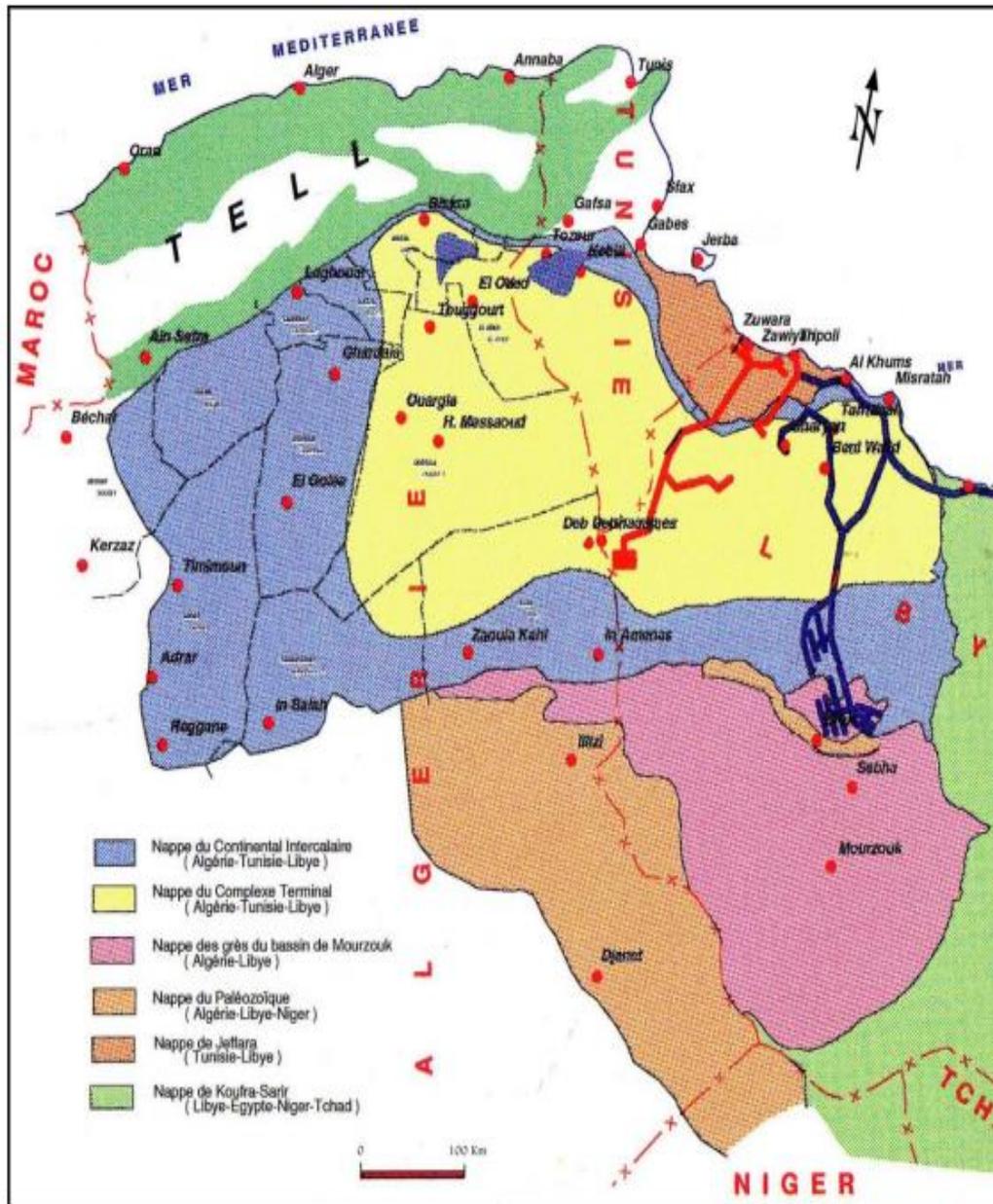
<https://www.nasa.gov/>





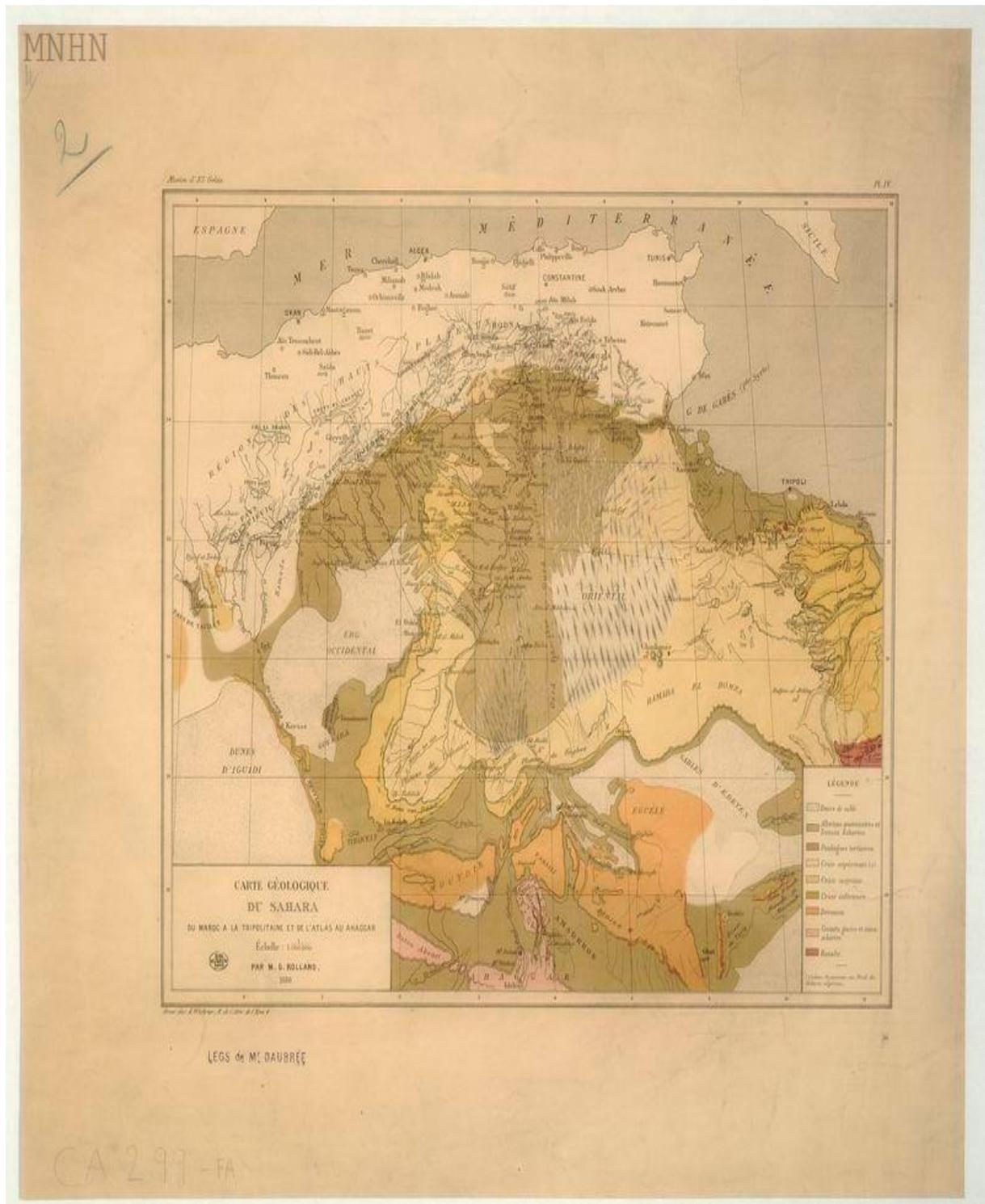
Annexes

Annexe N°1 : les nappes aquifères du Sahara septentrional (SASS)



Source : OSS, (2003b).

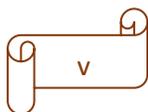
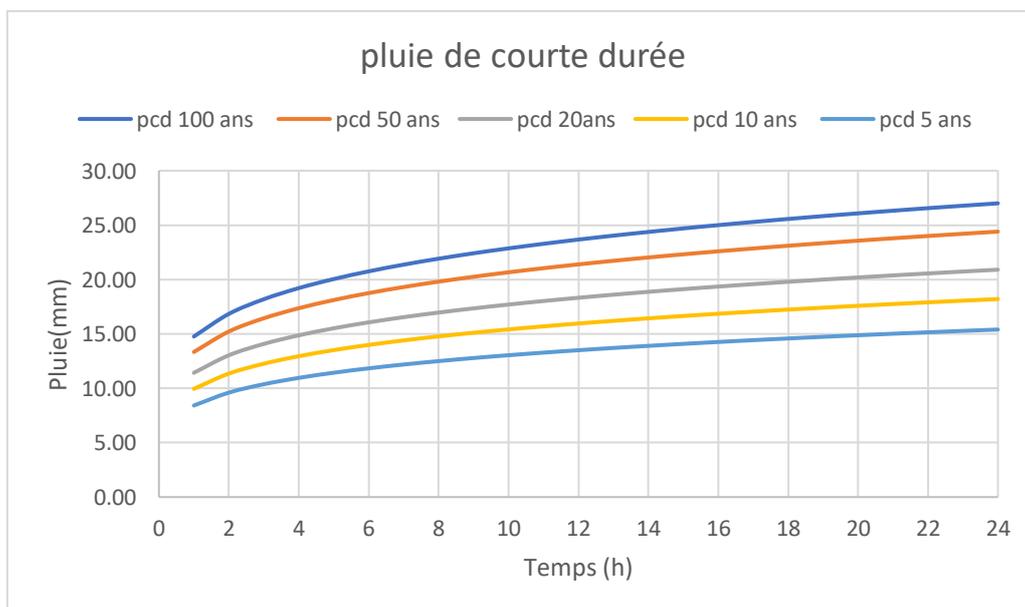
Annexe N°2 : cadre géologique de Sahara (Source : Muséum national d'histoire naturelle (Paris)) échelle 1 : 5 000 000 (W 340'--E 1420' / N 36--N 26).



Annexe N°3 : Récapitulatif des pluies, intensités maximales de durée t (h)

PDR (an)	100		50		20		10		5	
Fréquence (%)	1		2		5		10		20	
Pjmax	27		24.4		20.9		18.2		15.4	
T(h)	PCD (mm)	IT (mm/h)								
1	14.76	14.76	13.34	13.34	11.43	11.43	9.95	9.95	8.42	8.42
2	16.84	8.42	15.22	7.61	13.03	6.52	11.35	5.68	9.60	4.80
3	18.19	6.06	16.44	5.48	14.08	4.69	12.26	4.09	10.37	3.46
4	19.21	4.80	17.36	4.34	14.87	3.72	12.95	3.24	10.96	2.74
5	20.04	4.01	18.11	3.62	15.51	3.10	13.51	2.70	11.43	2.29
6	20.75	3.46	18.75	3.12	16.06	2.68	13.99	2.33	11.83	1.97
7	21.36	3.05	19.31	2.76	16.54	2.36	14.40	2.06	12.19	1.74
8	21.91	2.74	19.80	2.48	16.96	2.12	14.77	1.85	12.50	1.56
9	22.41	2.49	20.25	2.25	17.35	1.93	15.11	1.68	12.78	1.42
10	22.86	2.29	20.66	2.07	17.70	1.77	15.41	1.54	13.04	1.30
11	23.28	2.12	21.04	1.91	18.02	1.64	15.69	1.43	13.28	1.21
12	23.67	1.97	21.39	1.78	18.32	1.53	15.95	1.33	13.50	1.12
13	24.03	1.85	21.72	1.67	18.60	1.43	16.20	1.25	13.71	1.05
14	24.37	1.74	22.02	1.57	18.87	1.35	16.43	1.17	13.90	0.99
15	24.69	1.65	22.32	1.49	19.11	1.27	16.65	1.11	14.08	0.94
16	25.00	1.56	22.59	1.41	19.35	1.21	16.85	1.05	14.26	0.89
17	25.29	1.49	22.85	1.34	19.57	1.15	17.05	1.00	14.42	0.85
18	25.56	1.42	23.10	1.28	19.79	1.10	17.23	0.96	14.58	0.81
19	25.83	1.36	23.34	1.23	19.99	1.05	17.41	0.92	14.73	0.78
20	26.08	1.30	23.57	1.18	20.19	1.01	17.58	0.88	14.88	0.74
21	26.32	1.25	23.79	1.13	20.38	0.97	17.74	0.84	15.01	0.71
22	26.56	1.21	24.00	1.09	20.56	0.93	17.90	0.81	15.15	0.69
23	26.78	1.16	24.20	1.05	20.73	0.90	18.05	0.78	15.28	0.66
24	27.00	1.13	24.40	1.02	20.90	0.87	18.20	0.76	15.40	0.64

Annexe N°4 : courbe de pluie de courte durée de différentes fréquences



Annexe N°5 : Tables de X²

Percentage Points of the Chi-Square Distribution

Degrees of Freedom	Probability of a larger value of χ^2								
	0.99	0.95	0.90	0.75	0.50	0.25	0.10	0.05	0.01
1	0.000	0.004	0.016	0.102	0.455	1.32	2.71	3.84	6.63
2	0.020	0.103	0.211	0.575	1.386	2.77	4.61	5.99	9.21
3	0.115	0.352	0.584	1.212	2.366	4.11	6.25	7.81	11.34
4	0.297	0.711	1.064	1.923	3.357	5.39	7.78	9.49	13.28
5	0.554	1.145	1.610	2.675	4.351	6.63	9.24	11.07	15.09
6	0.872	1.635	2.204	3.455	5.348	7.84	10.64	12.59	16.81
7	1.239	2.167	2.833	4.255	6.346	9.04	12.02	14.07	18.48
8	1.647	2.733	3.490	5.071	7.344	10.22	13.36	15.51	20.09
9	2.088	3.325	4.168	5.899	8.343	11.39	14.68	16.92	21.67
10	2.558	3.940	4.865	6.737	9.342	12.55	15.99	18.31	23.21
11	3.053	4.575	5.578	7.584	10.341	13.70	17.28	19.68	24.72
12	3.571	5.226	6.304	8.438	11.340	14.85	18.55	21.03	26.22
13	4.107	5.892	7.042	9.299	12.340	15.98	19.81	22.36	27.69
14	4.660	6.571	7.790	10.165	13.339	17.12	21.06	23.68	29.14
15	5.229	7.261	8.547	11.037	14.339	18.25	22.31	25.00	30.58
16	5.812	7.962	9.312	11.912	15.338	19.37	23.54	26.30	32.00
17	6.408	8.672	10.085	12.792	16.338	20.49	24.77	27.59	33.41
18	7.015	9.390	10.865	13.675	17.338	21.60	25.99	28.87	34.80
19	7.633	10.117	11.651	14.562	18.338	22.72	27.20	30.14	36.19
20	8.260	10.851	12.443	15.452	19.337	23.83	28.41	31.41	37.57
22	9.542	12.338	14.041	17.240	21.337	26.04	30.81	33.92	40.29
24	10.856	13.848	15.659	19.037	23.337	28.24	33.20	36.42	42.98
26	12.198	15.379	17.292	20.843	25.336	30.43	35.56	38.89	45.64
28	13.565	16.928	18.939	22.657	27.336	32.62	37.92	41.34	48.28
30	14.953	18.493	20.599	24.478	29.336	34.80	40.26	43.77	50.89
40	22.164	26.509	29.051	33.660	39.335	45.62	51.80	55.76	63.69
50	27.707	34.764	37.689	42.942	49.335	56.33	63.17	67.50	76.15
60	37.485	43.188	46.459	52.294	59.335	66.98	74.40	79.08	88.38

Annexe N°6 : Les valeurs du coefficient de rugosité 'n'. (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	0.025
Canal en Gabion.	0.030

Annexe N°7 : Valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolidés
(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

**Annexe N°8 : Résultats de la simulation d'écoulement des canaux en béton, Source :
HECRAS**

REACH	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch. El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Ele	E.G. SLOPE	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Frode
			m ³ /s	m	m	m	M	m/m	m/s	m ²	m	
Canal A	12	Q100ans	5.69	24.50	25.16	25.16	25.44	0.002767	2.36	2.42	4.32	1.01
Canal A	11	Q100ans	5.69	23.30	23.79	23.96	24.36	0.007903	3.37	1.69	3.97	1.65
Canal A	10	Q100ans	5.69	21.00	21.33	21.66	22.70	0.028661	5.17	1.10	3.66	3.01
Canal A	9	Q100ans	5.69	15.00	16.49	15.66	16.53	0.000158	0.85	6.68	5.98	0.26
	8	Q100ans	Culvert									
Canal A	7	Q100ans	5.69	14.60	15.26	15.26	15.54	0.002767	2.36	2.42	4.32	1.01
Canal A	6	Q100ans	5.69	13.00	13.34	13.66	14.63	0.026428	5.04	1.13	3.68	2.90
Canal A	5	Q100ans	5.69	11.80	12.40	12.46	12.75	0.003822	2.63	2.16	4.20	2.04
Canal A	4	Q100ans	5.69	11.00	11.66	11.66	11.94	0.002767	2.36	2.42	4.32	1.64
Canal A	3	Q100ans	5.69	10.00	10.49	10.66	11.05	0.007516	3.31	1.72	3.98	1.01
Canal A	2	Q100ans	5.69	8.00	8.40	8.66	9.30	0.015235	4.20	1.36	3.80	1.69
Canal A	1	Q100ans	5.69	7.00	8.08	8.16	8.46	0.004250	2.73	2.09	4.17	1.01
Canal B	4	Q100ans	1.38	20.80	21.16	21.16	21.35	0.004124	1.90	0.73	2.00	1.01
Canal B	3	Q100ans	1.38	20.60	20.90	20.96	21.17	0.007481	2.32	0.60	2.00	1.36
Canal B	2	Q100ans	1.38	19.30	19.46	19.66	20.45	0.055423	4.42	0.31	2.00	3.58
Canal B	1	Q100ans	1.38	18.60	18.82	18.96	19.32	0.018583	3.12	0.44	2.00	2.12
Canal C	5	Q100ans	2.37	24.60	25.12	25.12	25.38	0.004228	2.27	1.04	2.00	1.01
Canal C	4	Q100ans	2.37	23.00	23.22	23.52	24.68	0.052573	5.35	0.44	2.00	3.63
Canal C	3	Q100ans	2.37	22.50	22.95	23.02	23.30	0.006448	2.63	0.90	2.00	1.25
Canal C	2	Q100ans	2.37	20.40	20.63	20.92	21.94	0.046213	5.07	0.47	2.00	3.35
Canal C	1	Q100ans	2.37	19.50	19.90	20.02	20.35	0.009292	2.98	0.80	2.00	1.51
Canal B+C	7	Q100ans	3.75	19.10	19.71	19.71	20.02	0.003892	2.46	1.52	2.50	1.01
Canal B+C	6	Q100ans	3.75	18.10	18.47	18.71	19.32	0.017576	4.09	0.92	2.50	2.16
Canal B+C	5	Q100ans	3.75	16.00	16.34	16.61	17.36	0.023101	4.47	0.84	2.50	2.47
Canal B+C	4	Q100ans	3.75	15.50	16.03	16.11	16.44	0.005952	2.84	1.32	2.50	1.25
Canal B+C	3	Q100ans	3.75	15.00	15.59	15.61	15.92	0.004372	2.56	1.47	2.50	1.07
Canal B+C	2	Q100ans	3.75	14.50	15.00	15.11	15.46	0.006945	3.00	1.25	2.50	1.35
Canal B+C	1	Q100ans	3.75	12.80	13.11	13.41	14.32	0.029982	4.87	0.77	2.50	2.80