

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane MIRA de Bejaia



Faculté de Technologie
Département d'Hydraulique

Laboratoire de Recherche en Hydraulique Appliquée et Environnement (LRHAE)

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

M^r. HATHAT Ilyes

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER en Hydraulique**

Option : **Ouvrages et Aménagements Hydrauliques**

INTITULE :

ÉTUDE DE RÉAMÉNAGEMENT D'UNE PARTIE DU CANAL COLLECTEUR DE OUED RIGH, COMMUNE DE SIDI AMRANE, WILAYA D'EL MEGHAIER

Soutenu le / 12 / 2021 devant le jury composé de :

- Président : **M^r. IKNI T.**
- Promoteur : **M^r. LAHOUARI F.**
- Examineur : **M^r. AMIROUCHE M.**

REMERCIEMENTS

Avant tout, je remercié **ALLAH** qui a illuminé notre chemin et qui nous a armés de force et de sagesse, ainsi que la bonne volonté pour achever ce modeste travail et ce cursus universitaire.

Ces quelques lignes ne vont jamais exprimer à la juste valeur ma reconnaissance à l'égard de mon promoteur M^r LAHOUARI F. pour l'aide qu'il m'a offert durant la période de réalisation de ce travail et encore plus sa confiance et ses encouragements.

Et un grand merci à monsieur OULEBSIR R. qui était aussi toujours présent pour aider et conseiller, **ALLAH** vous bénisse.

Toute ma gratitude à nos professeurs et enseignants qui nous ont guidés au cours de la formation d'ingénieur

Nos respects aux membres de jury M^r IKNI T. et M^r AMIROUCHE M. Qui nous ferons l'honneur d'apprécier ce travail.

Je remercie le personnel du O.N.I.D et A.N.R.H pour leurs conseils et orientations et spécialement Mr YAHIAOUI. MR SAYEH LEMBAREK.Y, MR BEN GUEGA.S et MR REYEB.I

Mon dernier remerciement, mais non les moindres s'adressent à tous mes amis de la promotion 2021, pour avoir beaucoup de sollicitude et de chaleur humaine dont nous avons tant besoin, à savoir : A.ANIS, M.OUNISSA, A.AMAR, S.NADJI, M.ABDERAHMAN, S.MILILA et tous mes collègues et amis de L'O.A.H et L'H.U

GRAND MERCI À VOUS TOUS

DEDICACES

Every time we complete an important step in our life, we make a flashback to remember those people who shared with us all the good times of our lives, but especially the bad ones. These people who have helped us without being asked, supported without reserve, loved without counting, these people who believed in us and that thanks to whom our happiness and joy come rightfully, to whom a misfortune in us, turns into crying to them. May **ALLAH** keep these people very dear to our hearts.

I dedicate this modest thesis which is the culmination of many years of study, in the first place to:

To my dearest parent BEN HARZALLAH and ASMA to whom I owe a lot for their sacrifices, and love, and help and supported me and gave me courage when the time came.

To my brothers SLIMAN, ABD ELKADER, AISSA, YASSINE, IDRIS.

To my sister ROUKAIA.

To my cousin LAID and all the members of **HATHAT's** family and **GHAZAL's** family.

To my best friends: FARID, SEDIK, OUSSAMA, LAKHDER, AMIN, RAFIK, JAMAL, LAMIN, SALIM

SOMMAIRE

Liste des symboles.....	VI
Liste des abréviations.....	VII
Liste des tableaux.....	VIII
Liste des figures.....	IX
Introduction générale	1

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I. Présentation de la zone d'étude	4
I.1. Introduction	4
I.2. Présentation de la région d'oued Righ	4
I.2.1 Situation géographique	4
I.2.2 Situation Administrative de la région de l'Oued Righ	6
I.2.3. La zone d'étude	7
I.3. La Topographie de la région de l'Oued Righ.....	7
I.4. Etude climatique de la région de l'Oued Righ	8
I.4.1 station de mesure	9
I.4.2. Analyse des paramètres climatiques.....	10
I.4.3. Détermination du type de climat	13
I.4.3.3. Vents.....	16
I.5. Pédologie de la région de Oued Righ	17
I.6. Cadre géologique	17
I.6.1. Description stratigraphique.....	18
I.7. Hydrogéologie de la région de Oued Righ.....	20
I.7.1. La nappe phréatique	20
I.7.2. Nappe du Complexe Terminal (CT)	21
I.7.3. Nappe du Continental Intercalaire (CI)	22
I.8. Conclusion.....	22

CHAPITRE II : ETUDE HYDROMETRIQUE

II.1. Introduction	24
II.2. Historique du Canal de Oued Righ.....	24
II.3. Avantages et inconvénients des canaux en terre	26
II.4. Les problèmes qui affectent le canal collecteur de Oued Righ	26
II.5. Caractéristiques des Stations.....	27
II.6. Evolution du débit du canal au niveau des stations hydrométriques.....	29

II.7. Choix de la zone d'étude	33
II.7.1. Site de la zone d'étude	33
II.7.2. Caractéristique de tronçon d'étude	34
II.8. Généralités sur les matériels et les méthodes de mesure	35
II.8.1. Jaugeage au moulinet	36
II.8.2. Le jaugeage au flotteur	38
II.9. Mesure du débit au niveau de l'amont du tronçon d'étude.....	40
II.9.1. La méthode de Le jaugeage au flotteur	40
II.10. Conclusion	42

CHAPITRE III : ÉTUDE HYDRAULIQUE SANS AMENAGEMENT

III.1. Introduction.....	44
III.2. Généralités sur les écoulements à surface libre	44
III.2.1. Les canaux.....	44
III.3. Methodology de simulation avec HEC-RAS	50
III.3.1. Présentation du logiciel HEC-RAS.....	50
III.3.2. Théorie de base de calcul du modèle HEC-RAS pour l'écoulement permanent	51
III.3.3. Équations de base entre deux sections	51
III.3.4. Subdivision d'une section en travers pour le calcul du débit	52
III.3.5. Banque de données nécessaires à l'application du modèle HEC-RAS.....	53
III.4. Application de HEC-RAS	54
III.4.1. A l'état Naturel	54
III.4.2. Résultats de la simulation.....	57
III.5. Conclusion	63

CHAPITRE IV : Etude Hydraulique Avec Aménagement

IV.1. Introduction	65
IV.2. Proposition d'aménagement	65
IV.3. Calcul des paramètres géométriques	65
IV.3.1. Paramètres géométriques d'un canal à section trapézoïdale	65
IV.3.2. Équation de Chézy	66
IV.3.3. Section de débit maximum.....	66
IV.3.4. Profondeur normale h_n	67
IV.3.5. Profondeur critique h_c	67

IV.3.6. La pente critique I_c	68
IV.3.7 Calcul de la ligne d'eau	68
IV.3.7.1. Equation de la ligne d'eau	68
IV.3.7.2. Calcul de la surface d'eau	68
IV.4. Calcul hydraulique du canal	68
IV.4.1. Le fruit de talus	68
IV.4.2. La rugosité	68
IV.4.3. La largeur du canal.....	68
IV.4.4. le profondeur du canal	68
IV.5. Calcul des paramètres de l'écoulement	69
IV.7. Conclusion	75
CONCLUSION GENERALE.....	77
BIBLIOGRAPHIES.....	79

LISTE DES SYMBOLES

SYMBOL	SIGNIFICATION	UNITÉ
a	pas réel de l'hélice	m
B	la largeur miroir	m
b	Largeur inférieure du canal	m
D_h	La profondeur hydraulique	m
Q	Le débit	m ³ /s
S_m	Surface de la section mouillée	m ²
h_c	Profondeur critique	m
N	nombre de tours d'hélice par seconde	tr/s
b	vitesse dite de frottement ou vitesse de démarrage	m/s
k	coefficient de débit	-
K_s	coefficient de Strickler	-
D	la distance	m
t	le temps	S
H_m	La profondeur moyenne	m
L	la largeur au miroir	m
S_{Mm}	la section mouillée moyenne	m ²
V_{S_m}	Les valeurs de la rugosité du cours d'eau	m/s
L_m	La largeur moyenne de tronçon	m
V	vitesse du courant	m/s
V_m	vitesse moyenne	m/s
V_s	vitesse de la surface	m/s
V_{M_S}	la vitesse moyenne de surface	m/s
V_{m_s}	la vitesse moyenne de la section	m/s
P	le périmètre mouillé	m
R_h	Le rayon hydraulique	m
H_n	Profondeur normale	m
I	La pente géométrique	-
I_p	La pente piézométrique	-
I_c	La pente critique	-
Fr	Le nombre de Froude	-
g	l'accélération de pesanteur prise égale 9.81	m/s
C	le coefficient de résistance selon Chézy	m ^{1/2} /s
K_s	coefficient de Strickler	m ^{1/3} .s ⁻¹
Z₁, Z₂	côte du canal principal	
α₁, α₂	coefficients de pondération de vitesse	
n	coefficient de rugosité de Manning pour une subdivision	
ΔH	perte de charge	m
K	flux pour la subdivision	

LISTE DES ABREVIATIONS

ABREVIATIONS	SIGNIFICATION
A.N.R.H	Agence Nationale des Ressources Hydriques.
CT	Complexe Terminal
CI	Continental Intercala
GPS	GLOBAL POSITIONING SYSTEM
O.N.I.D	Office national d'irrigation et drainage
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU	TITRE	PAGE
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE		
Tableau I.1	Précipitations moyenne annuelles – station de Touggourt durant la période (2010-2020).	10
Tableau I.2	Précipitation moyennes mensuelles (mm) pour la station de Touggourt, période (2010 – 2020).	11
Tableau I.3	Températures minimales et maximales et leurs moyennes mensuelles pour la station de Touggourt, période (2010 – 2020)	12
Tableau I.4	Températures moyennes annuel (°C) pour la station de Touggourt, période (2010 – 2020).	13
Tableau I.5	Humidité moyenne interannuelle (%) pour la station de Touggourt, période (2010 2020).	14
Tableau I.6	données la Durée de l'insolation de la station de Touggourt période (2010 – 2020)	15
Tableau I.7	Les vitesses du vent moyennes mensuelles en (m/s) pour la station de Touggourt, période), Période (2010-2020).	16
CHAPITRE II : ETUDE HYDROMETRIQUE		
Tableau II.1	Coordonnées géographiques (GPS) et topographie des Stations	29
Tableau II.2	Récapitulatif des jaugeages effectués sur le canal collecteur (Canal Oued Righ) Le Débit (m ³ /s) [ANRH, 2015]	30
Tableau II.3	Répartition de débit moyen des stations hydrométriques	32
Tableau II.4	Résultats de la mesure la section mouillée à l'amont	40
Tableau II.5	Résultats des mesures de la section mouillée à l'aval	41
Tableau II.6	Résultats des mesures de la section mouillée moyenne pour le tronçon de mesure	41
Tableau II.7	Résultats du calcul de la vitesse de la surface (Vs)	42
CHAPITRE III : ETUDE HYDRAULIQUE SANS AMENAGEMENT		
Tableau III.1	Valeurs estimées pour le coefficient de Manning Strickler en fonction de la nature des Parois	50
Tableau III.2	Les valeurs de la rugosité du cours d'eau	55
Tableau III.3	Résultats de la simulation	58
CHAPITRE IV : ETUDE HYDRAULIQUE AVEC AMENAGEMENT		
Tableau IV.1	Les caractéristiques géométriques d'un canal à section trapézoïdale	66
Tableau IV.2	Les paramètres de l'écoulement du canal	70

LISTE DES FIGURES

FIGURE	TITRE	PAGE
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE		
Figure I.1	Situation géographique de la vallée de l'Oued Righ (A.N.R.H 2007)	6
Figure I.2	plan de situation de Sidi Amran selon découpage administratif de la wilaya d'El Meghaier (2021).	7
Figure I.3	Carte topographique du la région de oued Righ (Global Mapper	8
Figure I.4	Carte des sous bassins versants du Sahara algérien et des stations météorologiques d'après cahier de sécheresse, N 1/98(Internet	9
Figure I.5	Histogramme de distribution de la précipitation moyenne annuelle – station de Touggourt durant la période (2010 – 2020).	10
Figure I.6	Histogramme de distribution de la précipitation moyenne mensuelles – station de Touggourt durant la période (2010 – 2020).	11
Figure I.7	Courbe de distribution de la température moyenne mensuelle au niveau de station de Touggourt durant la période (2010 – 2020	12
Figure I.8	Courbe de distribution de la température moyenne annuel – station de Touggourt durant La période (2010 – 2020).	13
Figure I.9	Diagramme Ombrothermique de Oued righ durant la période (2010-2020)	15
Figure I.10	Histogramme de l'humidité moyenne mensuelle de l'air de la station de Touggourt, période (2010 – 2020).	15
Figure I.11	Répartition de la Durée moyenne mensuelle d'insolation de la station de Touggourt, période (2010 – 2020)	16
Figure I.12	Répartition de vitesse des vents moyens mensuels du (m/s), Période (2010-2020)	17
Figure I.13	Litho- stratigraphie synthétique d'Oued Righ	19
Figure I.14	Coupe hydrogéologique de la région de l'Oued Righ (ANRH, 2006)	20
Figure I.15	Carte de l'extension géographique des aquifères de continental intercalaire et complexe terminal (UNISCO, 1972).	21
CHAPITRE II : ETUDE HYDROMETRIQUE		
Figure II.1	Trajectoire du canal d'Oued Righ [Google Earth, 2021]	25
Figure II.2	Schéma des Stations hydrométriques	28
Figure II.3	Variation du débit moyen à travers la station de jaugeage de sidi Amran durant période (1993- 2015)	32
Figure II.4	Localisation de site d'étude (Shatt)	33
Figure II.5	Vue 2D et 3D de la topographie de la zone (shatt) à sidi amran sous logiciel (SURFER)	34
Figure II.6	La trace de notre tronçon d'étude sur le canal collecteur d'oued righ sur l'extrait de Google Earth	36
Figure II.7	Schéma de principe du jaugeage au flotteur	37
Figure II.8	Schéma de principe du jaugeage au flotteur	38
Figure II.9	Schéma de mesure profondeur et largeur a l'amont	40
Figure II.10	Schéma de mesure profondeur et largeur a l'aval	41
CHAPITRE III : ETUDE HYDRAULIQUE SANS AMENAGEMENT		
Figure III.1	Types de canaux	45
Figure III.2	Propriétés géométriques d'un canal naturel à section transversale irrégulière	45
Figure III.3	éléments géométriques pour cinq différents types de section	47
Figure III.4	Schéma des écoulements permanents et non permanents	48

Figure III.5	Conservation de la charge entre deux sections	52
Figure III.6	Méthode de subdivision du débit par le modèle HEC-RAS	53
Figure III.7	fenêtre principale de HEC-RAS	54
Figure III.8	Modèle géométrique du cours d'eau sous-HEC-RAS	55
Figure III.9	Illustration d'un profil en travers sous- HECRAS	56
Figure III.10	Présentation des conditions aux limites	56
Figure III.11	Fenêtres de simulation pour le régime permanent	57
Figure III.12	Profil en long du cours d'eau à l'état naturel.	59
CHAPITRE IV : ETUDE HYDRAULIQUE SANS AMENAGEMENT		
Figure IV.1	Caractéristique du canal de forme trapézoïdale	65
Figure IV.2	Proposition des dimensions du canal	69
Figure IV.3	Profil en long du canal	71
Figure IV.4	Visualisation en 3D sous HEC-RAS d'après l'aménagement de tronçon (2950-50)	71

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GENERALE

En parlant de rivières et de cours d'eau, étant donné la situation géographique et la superficie de l'Algérie, elle contient de nombreuses vallées, dont la plupart sont concentrées au nord, considérant que le taux de précipitations y est important par rapport au sud. Mais malgré cela, le sujet de notre étude se concentre sur l'une des vallées les plus importantes du sud de l'Algérie, qui se situe exactement au sud-est de l'Algérie (les wilayas de Touggourt et d'El Meghaier), qui est connu sous le nom de Oued Righ.

Cette vallée est classée comme l'une des types de vallées qui coulent en continu tout au long de l'année, et cela est dû au fait que la source de l'eau qui y coule provient de l'eau d'irrigation et des eaux usées.

Malgré qu'il existe un grand réservoir d'eau souterraine, surtout l'albien dans cette région, il n'y a pas de rivières ou ruisseaux qui nous aident à drainer les eaux usées. Pour cette raison, la population de cette vallée, elle a creusé ce canal artificiel par des étapes et à plusieurs reprises jusqu'à ce format actuel.

Ce canal collecteur de Oued Righ a connu de nombreuses opérations d'étude et de construction avant d'atteindre son état actuel, de l'époque coloniale jusqu'à l'après indépendance.

Oued Righ est pratiquement la seule région qui possède un réseau de canaux équipé d'un collecteur principal pour évacuer les eaux de drainage qui proviennent des retours d'irrigation et, ces derniers temps pour évacuer même les eaux usées. [1]

Ces dernières années, la région a connu un développement remarquable du secteur agricole, qui s'est traduit par une augmentation du débit des eaux d'irrigation, notamment avec l'exploitation du niveau de la nappe phréatique, et la nouvelle expansion du grand développement sur le terrain a conduit à l'extension des réseaux de drainage agricole, ce qui a conduit à une augmentation de la quantité d'eau déversée dans le canal principal, ce qui a conduit à l'émergence de problèmes de détérioration et d'érosion des berges et du lit qui interagissent avec le bon fonctionnement du canal et cette condition se résulte aussi automatiquement avec d'autres paramètres de la zone tels que le niveau de la nappe phréatique, la salinité du sol, le réseau de drainage et le rendement des palmiers et autres cultures.

La commune de Sidi Amrane est située à l'extrême sud de la wilaya d'El Meghaier et, elle est traversée par Oued Righ, parmi les plus grandes villes qui contiennent des oasis de palmiers, ce qui a contribué à déverser de grandes quantités de surplus d'eau d'irrigation dans le canal, ce qui a posé à son tour des problèmes dans ce canal, notamment l'élévation du niveau d'eau et l'érosion.

Pour résoudre ces problèmes, notre étude vise à :

- Apporter des solutions pour développer cette partie du canal collecteur de Oued Righ située à proximité de la commune de Sidi Amrane.

Nous proposons dans le travail suivant, un aménagement hydraulique pour cela canal D'OUED RIGH sis à Sidi Amrane wilaya d'El Meghaier. Et nous avons utilisé jaugeage au flotteur, qui est une méthode de calcul des débits aux niveaux des cours d'eau, cette méthode elle consiste à se mettre à un bon endroit en amont et calculer la largeur du cours d'eau et sa profondeur sur une distance ne dépassant pas les vingt mètres, nous mettons notre flotteur sur l'eau de surface et nous calculons sa vitesse. Le recueil de ces données nécessite de visiter le terrain et donc avoir une meilleure perception sur le chantier.

Finalement, Pour aboutir à un résultat, notre travail est subdivisé sur quatre chapitres :

- Le premier chapitre : présentation de la zone d'étude de Oued Righ, avec ses caractéristiques climatique, topographiques, géologiques et hydrogéologiques.
- Le deuxième chapitre : étude hydrométrique, qui présente le canal collecteur d'Oued Righ, et l'évaluation du débit au niveau de la longueur du canal et la méthode de jaugeage au moulinet et au flotteur.
- Le troisième chapitre : étude hydraulique sans aménagement, où nous avons fait la modélisation de notre tronçon d'étude à l'état naturel avec le logiciel HEC-RAS, ainsi que la simulation par le même logiciel.
- Le quatrième chapitre : étude hydraulique après aménagement, c'est une exploitation des résultats des études précédentes pour atteindre l'objectif escompté.
- Conclusion.

CHAPITRE I

PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

I.1. Introduction:

La région dite Oued-Righ dans le Sahara algérien septentrional, est connue par le développement considérable de ses oasis qui produisent des dattes de bonne qualité. Ces oasis sont alignées du nord au sud, elle se compose de 50 palmeraies contenant environ 2 millions de palmiers [2]. En partant de l'importante oasis d'Ourir jusqu'à celle de Témacine, sur une longueur de 150 Km environ, la largeur de la zone varie entre 20 et 30 Km, la culture du palmier dattier dans cette région était pratiquée par la population locale bien avant l'arrivée des français en algérie, et grâce aux efforts de la population la vallée de Oued-Righ est devenue la principale région productrice et exportatrice des dattes d'Algérie.

L'essor de la culture de la datte dans cette région est dû non seulement aux efforts de la population, mais surtout aux conditions climatiques particulières, aux caractéristiques favorables du sol et à l'existence des nappes souterraines importantes.

Géographiquement parlant, le Oued Righ n'est pas un cours d'eau, mais en le survolant, on se rend compte que cette dénomination correspond à une réalité. Le tracé de l'Oued est marqué par l'échelonnement des petits « Chotts » exécutoires des eaux. Le grand canal Oued Righ relie ces petits chotts et sert à l'évacuation vers le grand chott Merouane des eaux de drainage et des eaux usées tout au long de la vallée.

I.2. Présentation de la région d'oued Righ :

I.2.1 Situation géographique :

La région de l'Oued Righ est située au Nord –Est du Sahara septentrional, en bordure du grand Erg oriental et au sud du massif des Aurès. [3]

Elle commence au nord Oum-Thiours a 110 km au sud de Biskra et se termine sur une distance de 150 km plus au le village d'El Goug (Touggourt), la largeur de la région varie entre 20 et 30 km.

Elle s'étend sur un axe Sud- Nord entre les :

- Latitudes : 32°54` à 34°9` **Nord**,
- Longitudes : 05°50`, 05°75` **Est**

I.2.2 Situation Administrative de la région de l'Oued Righ :

Du point de vue administratif, elle fait partie de deux nouvelles wilayas [Touggourt - El Meghaier] passant par onze communes, du sud vers le nord :

- Beldet Amar, Témacine, Touggourt, Mégarine, Sidi Slimane appartiennent à Touggourt.
- Sidi Amran, Djamaa, Zaouiet Riab, Tindla, Sidi khilil, El Meghaier appartiennent à El Meghaier

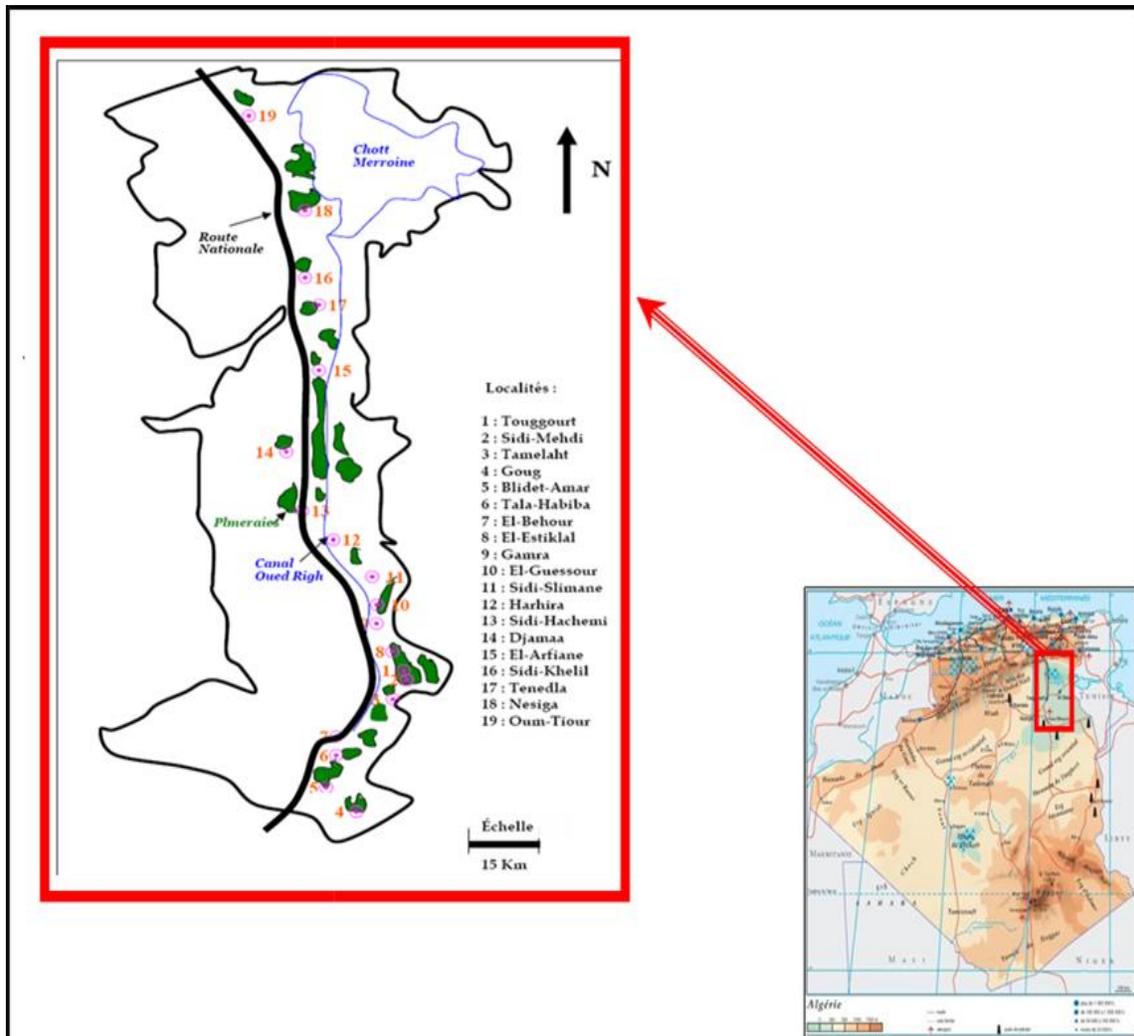


Figure I.1: Situation géographique de la vallée de l'Oued Righ (A.N.R.H 2007)

I.2.3. La zone d'étude :

I.2.3.1. Sidi Amrane :

Sidi Amrane est une commune de la wilaya d'El Meghaier en Algérie, le territoire de cette commune se situe au sud de la wilaya d'El Meghaier, Avec une superficie de 552 km².

Elle est limitée par :

- ✚ Daïra de Djamaâ au nord
- ✚ La wilaya de Tougourt au sud
- ✚ La wilaya d'El Oued (Oued Souf) à l'est.
- ✚ La commune de Merara à l'ouest.

Ces coordonnées géographiques sont :

- **Longitude** : 06° 01 00° Est
- **Latitude** : 33° 30° 00° Nord
- **Altitude** : 17 m

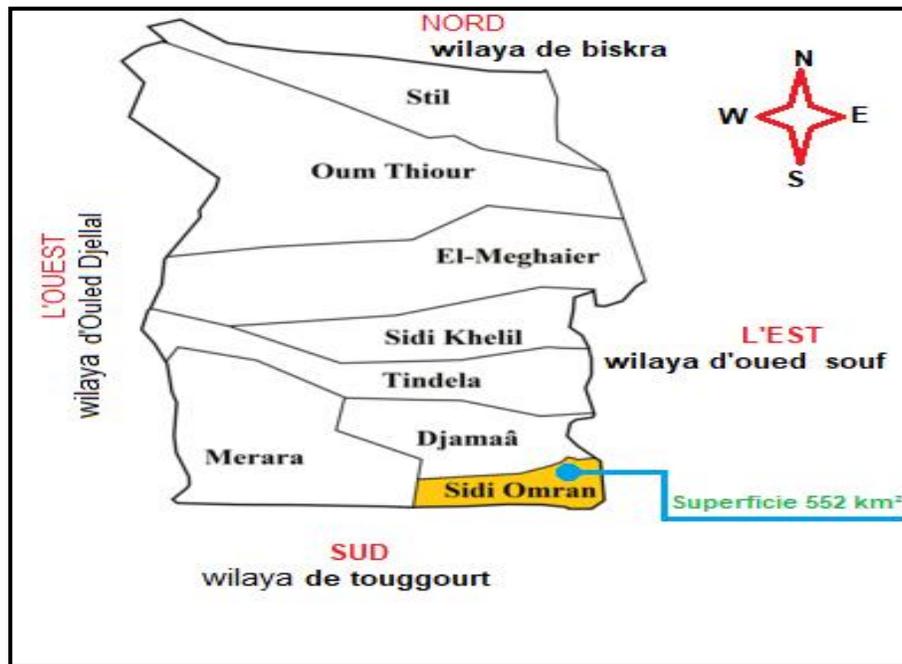


Figure I.2 : plan de situation de Sidi Amrane selon le découpage administratif de la wilaya d'El Meghaier (2021).

I.3. La Topographie de la région de l'Oued Righ : [4]

La région de l'Oued Righ fait partie d'un large fossé de direction Sud Nord. Cette région est connue sous le nom de Bas Sahara, à cause de sa basse altitude, notamment dans la zone des chotts au nord, où les altitudes sont inférieures au niveau de la mer. Les altitudes s'élèvent progressivement du nord

au Sud : Négatives à Ourir et El Meghaier (entre -16 et -10 m), elle atteint (+75 m) à Touggourt et (+100 m) à Témacine).

La pente générale est très faible, elle est de l'ordre de 1‰. Cependant, le profil longitudinal de la vallée est très irrégulier : on note une succession de petits chotts communiquant entre eux par des Seuils bas. Une coupe géologique transversale fait apparaître à la partie supérieure, un niveau quaternaire ancien constitué par une croûte gypso calcaire recouverte de formation dunaire (Erg).

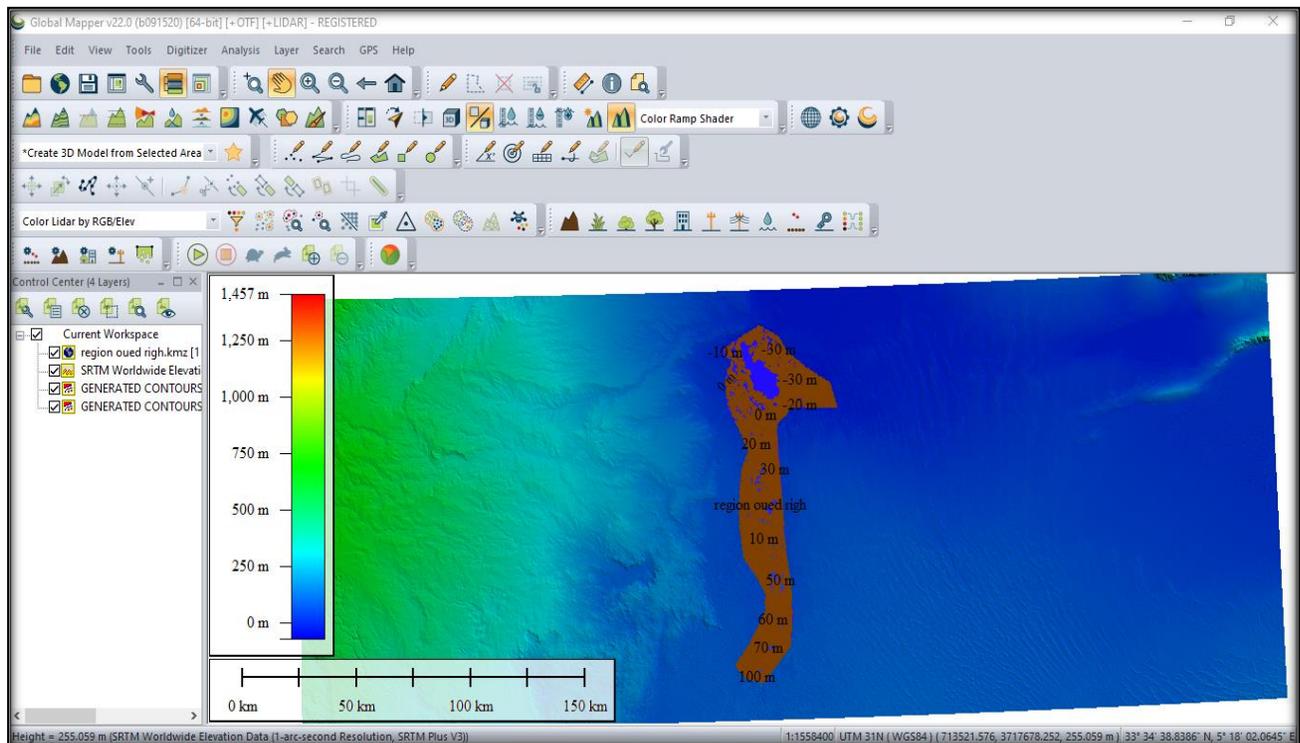


Figure I.3: Carte topographique de la région de Oued Righ (Global Mapper)

I.4. Etude climatique de la région de l'Oued Righ :

Le climat de la vallée de l'Oued Righ est un climat désertique, caractérisé par des précipitations faibles et irrégulières, et, par des températures accusant des amplitudes journalières et annuelles importantes et, par une faible humidité de l'air et par des vents de sable parfois très violents. Pour décrire le climat de la vallée, nous avons fait une synthèse climatique de dix 10 dernières années.

I.4.1 station de mesure :

La carte ci-dessous configure les différents sous bassins versants du bassin versant Sahara N° 13 au sud d'Algérie, ainsi que les principales stations météorologiques actuellement en activité. Selon cette carte, basée sur le découpage hydrologique adopté par l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydriques), la zone étudiée appartient au sous bassin versant (N° 04), incluse dans le grand bassin versant sahara.

Dans notre région d'étude, on dispose d'une seule station, celle de Touggourt (Sidi mahdi) dont les coordonnées sont les suivantes :

Latitude : 33°03'36''N

Longitude : 6° 05' 14''E

Altitude : 85m

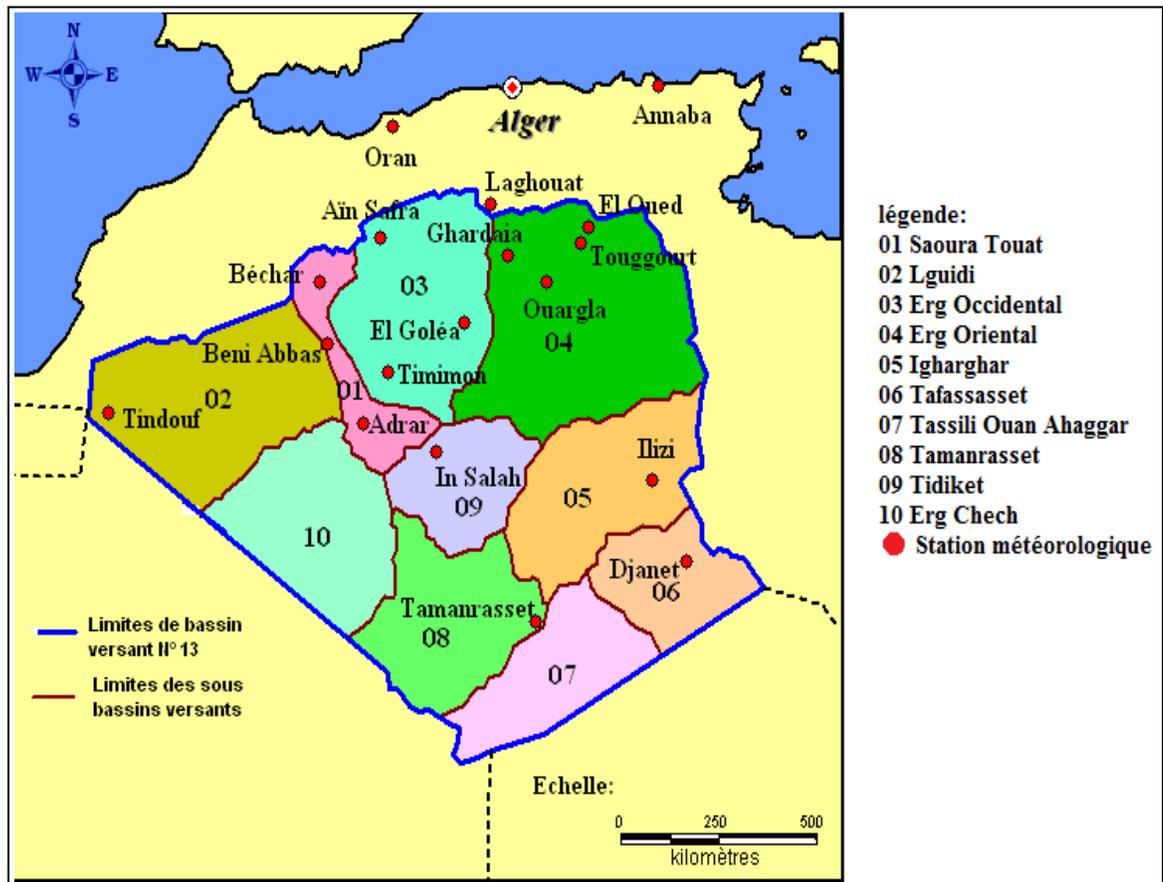


Figure I.4 : Carte des sous bassins versants du bassin Sahara et des stations météorologiques d'après cahier de sécheresse, N 1/98. [5]

I.4.2. Analyse des paramètres climatiques :

I.4.2.1. Précipitations :

Les précipitations sont les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle) et les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,...).

a) Précipitations annuelles observées à la station de Touggourt

Dans notre région d'étude, les précipitations sont très rares et irrégulières à travers les saisons et les années.

Tableau I.1 : Précipitations moyenne annuelle – station de Touggourt durant la période (2010-2020). [6]

Année	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Précipitation Annuel (mm)	29.4	30.3	18.5	56.8	81.6	27.6	36.5	97.6	32.8	46.2	39.2

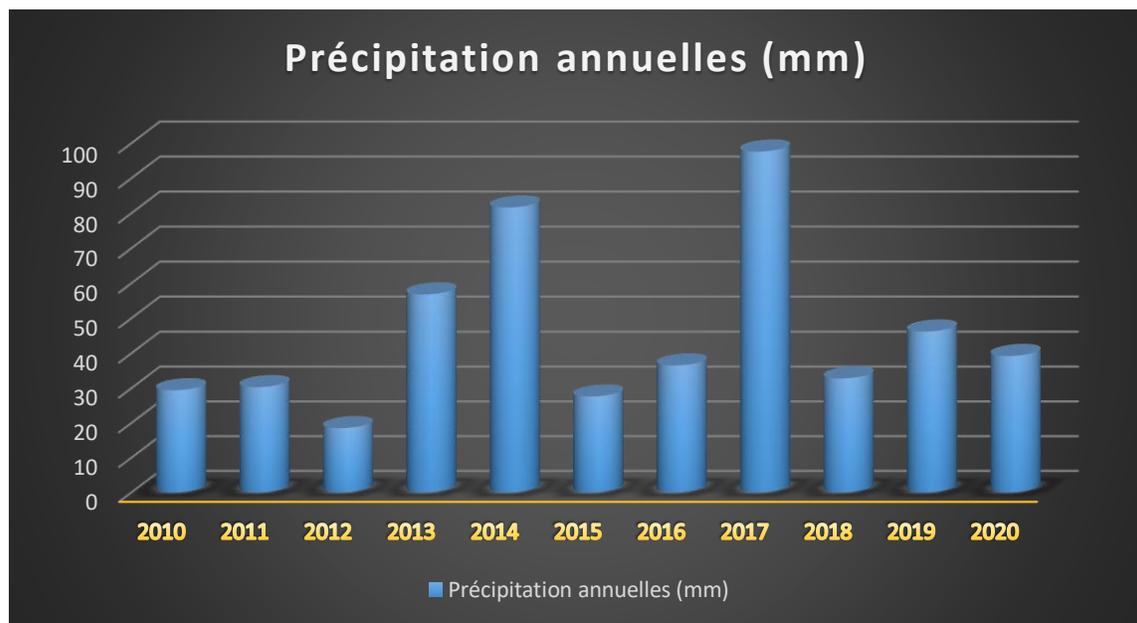


Figure I.5: Histogramme de distribution de la précipitation moyenne annuelle – station de Touggourt durant la période (2010 – 2020).

Cette répartition est très aléatoire avec **un maximum** de **97.6** mm/an en 2017 et **un minimum** de **18.5** mm/an en 2012.

b) Précipitations mensuelles observées à la station de Touggourt :

Tableau I.2: Précipitation moyennes mensuelles (mm) pour la station de Touggourt, période (2010 - 2020). [6]

mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
Pré en (mm)	1.6	1.6	6.3	8.7	2.6	0.1	0.1	1.5	6.7	1.5	11.6	2.6

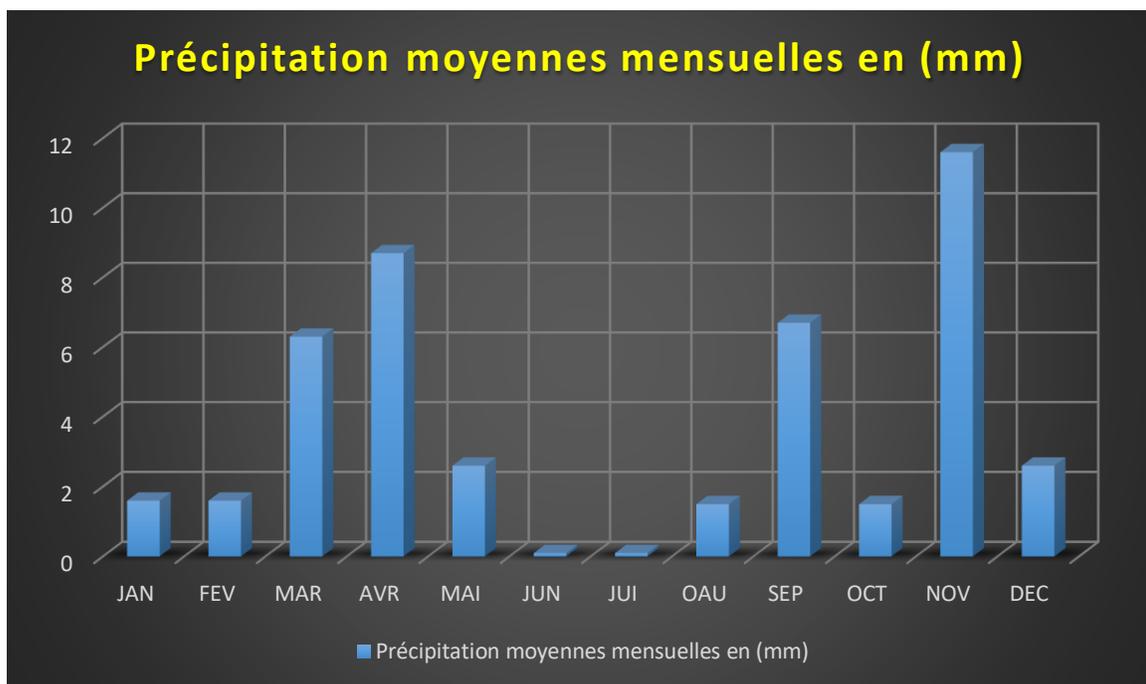


Figure I.6 : Histogramme de distribution de la précipitation moyenne mensuelle – station de Touggourt durant la période (2010 – 2020).

L'Histogramme est marquée par une sécheresse presque absolue au mois de juin et Juillet de l'ordre de 0.1 mm et le maximum en novembre avec 11.6 mm.

1.4.2.2. Température :

La température est un élément très important et fondamental pour le calcul du bilan hydrique, le rôle de ce paramètre a plus d'ampleur et influe grandement sur les autres paramètres météorologiques tels que l'évaporation et le taux d'humidité de l'atmosphère.

a) la température moyenne mensuelle :

La variation mensuelle de température moyenne est donnée au (Tableau I.3 et Figure I.7)

Tableau I.3 : Températures minimales et maximales et leurs moyennes mensuelles pour la station de Touggourt, période (2010 – 2020). [6]

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	JUI	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
Max	18.4	20.1	24.2	29.5	33.7	38.8	42.3	41.1	36.6	30.5	23.6	18.8
min	4.8	6.4	10.4	15.0	19.1	24.0	27.2	26.5	22.9	16.6	10.3	5.9
$\frac{\text{Max} + \text{min}}{2}$	11,6	13.2	17.3	22.2	26.4	31.4	34.7	33.8	29.7	23.55	16.95	12.3

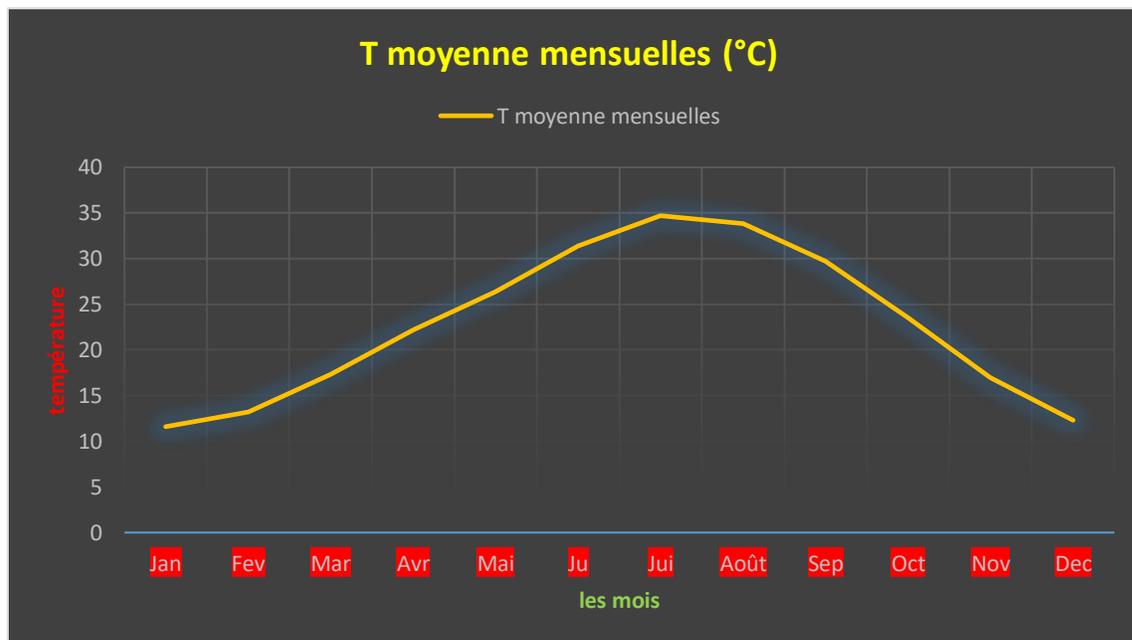


Figure I.7: Courbe de distribution de la température moyenne mensuelle au niveau de station de Touggourt durant la période (2010 – 2020).

Comme le montre le (Tableau I.3) les mois les plus chauds sont: **Juillet** et **Août** avec des valeurs moyennes de **34.7** et **33.8**°C respectivement. Les mois les plus froids sont: **Décembre** et **Janvier** avec des températures de **12.3** et **11.6** °C respectivement.

B) la température moyenne annuelle :

La variabilité de la température moyenne annuelle est illustrée dans (le **Tableau I.4** et **Figure I.8**)

Tableau I.4 : Températures moyennes annuelle (°C) pour la station de Touggourt, période (2010 – 2020). [6]

Année	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
T _{moyen} annuel	22.906	22.227	22.927	22.700	23.332	22.296	23.386	22.374	23.000	22.900	23.00

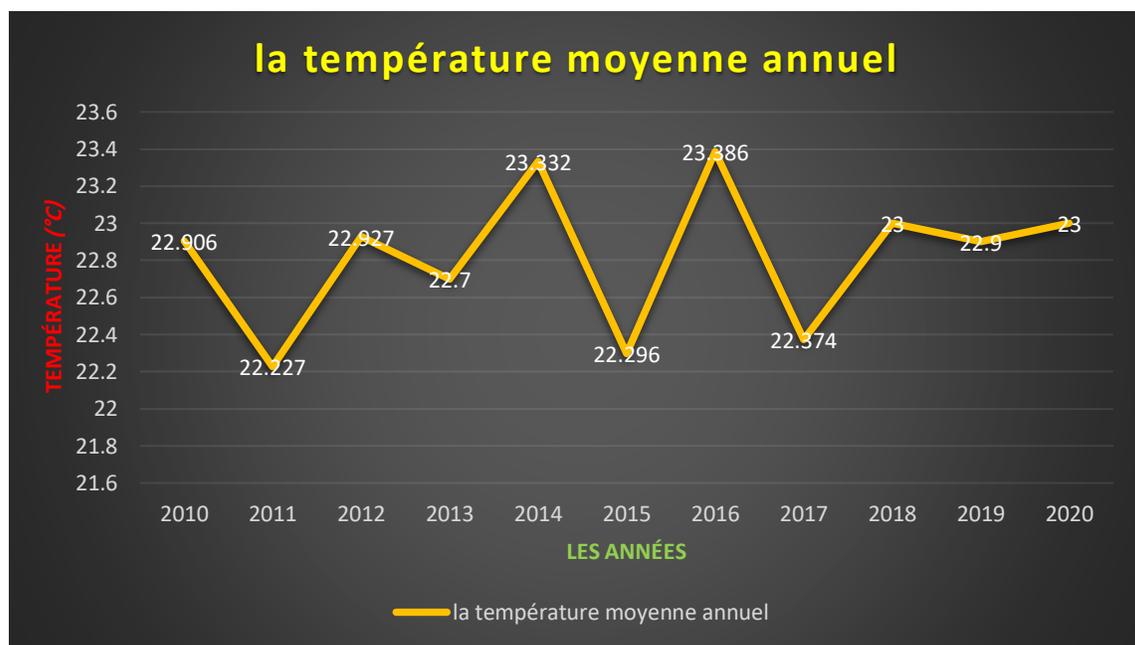


Figure I.8: Courbe de distribution de la température moyenne annuelle – station de Touggourt durant La période (2010 – 2020).

I.4.3. Détermination du type de climat :

- **Diagramme ombro-thermique :**

Pour l'établissement de ce diagramme, les températures y sont portées à l'échelle double que la précipitation, $P = 2T$ °. Il met en évidence la période sèche selon Gaussen et Bagnouls est considérée sec, le mois pendant lequel la totalité des précipitations est inférieur ou égale au double de la température moyenne du même mois $P \text{ mm} \leq 2T$ °. La période déficitaire en eau, ou sèche, correspond à la zone où la courbe des températures est au-dessus de la courbe des précipitations. Par contre la période humide où la courbe des températures est au-dessous de la courbe des précipitations. Ce diagramme montre que le climat saharien est caractérisé par une période sèche, dont Oued Righ a qui correspond un hiver froid sec et un été chaud beaucoup plus sec.

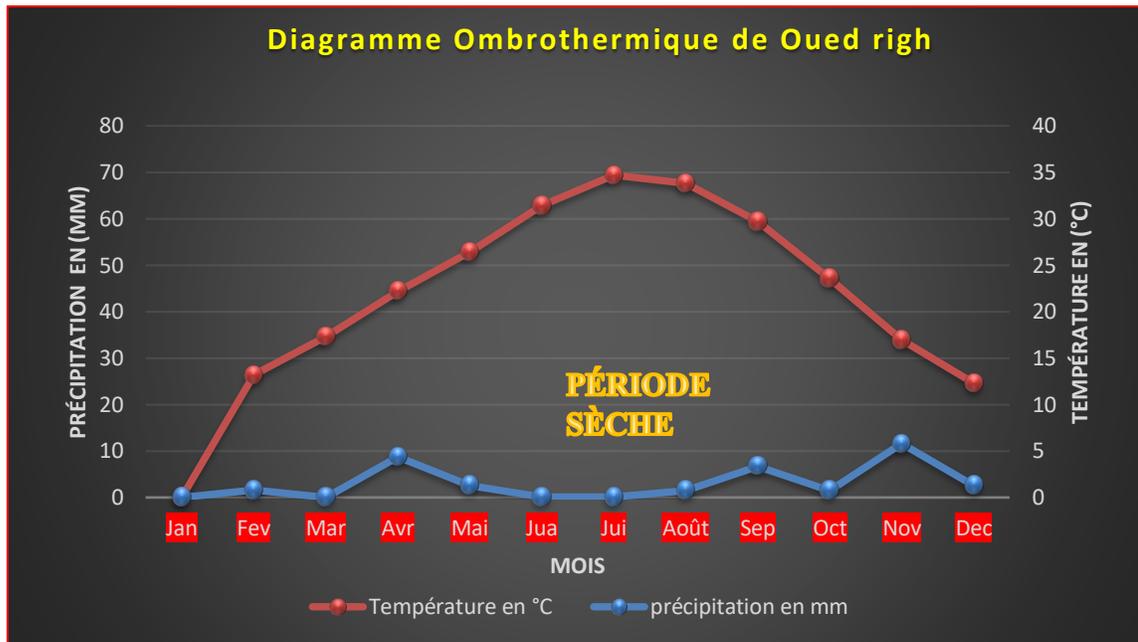


Figure I.9 : Diagramme Ombrothermique d'Oued Righ durant la période (2010-2020).

I.4.3.1. Humidité de l'aire :

Les valeurs de l'humidité relative de la région d'étude sont relativement homogènes. Les moyennes mensuelles varient entre **27.3%** et **67.6%**, sachant que la moyenne annuelle est de l'ordre de **47.5%**. Juillet est le mois le plus sec et décembre est le mois le plus humide.

Tableau I.5 : Humidité moyenne interannuelle (%) pour la station de Touggourt, période (2010 - 2020). [6]

Mois	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Août	Sép	Oct	Nov	Déc	Moyenne
H.min (%)	38,7	30,5	27	23,4	21,9	19,6	17,1	19,7	26,7	29,5	34,3	39,9	27,3
H.max (%)	81,7	75,9	71,9	66,6	59,3	53,2	48,9	53,4	65,7	71,3	79	84,8	67,6
H.moy (%)	60,2	53,2	49,4	45	40,6	36,4	33,6	36,5	46,2	50,4	56,6	62,3	47,5

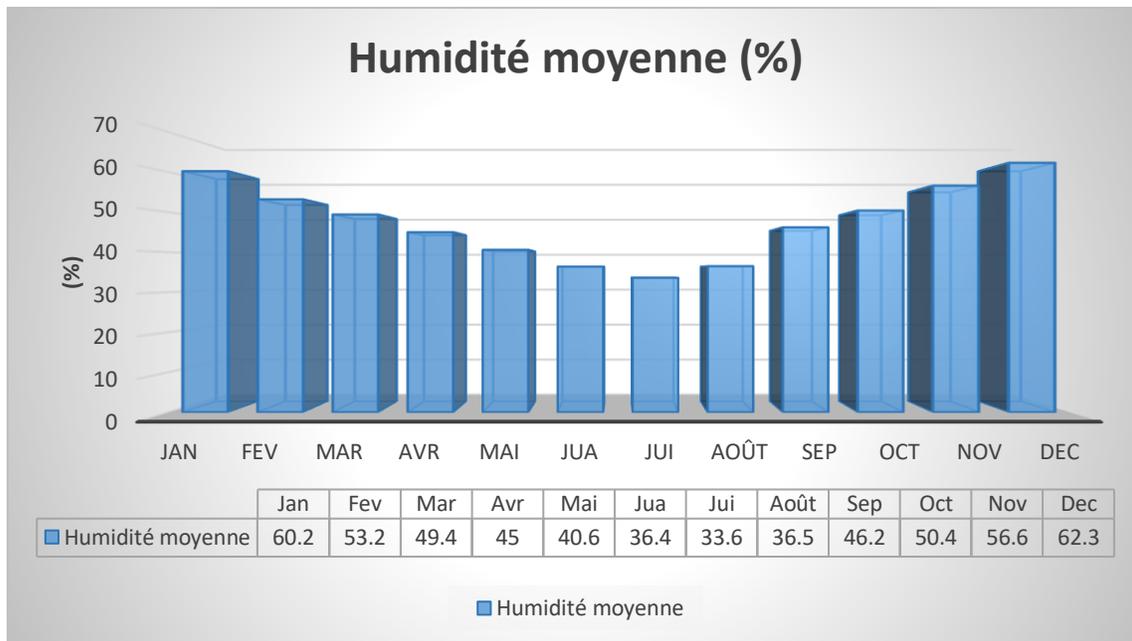


Figure I.10 : Histogramme de l'humidité moyenne mensuelle de l'air de la station de Touggourt, période (2010 – 2020).

Pour notre zone d'étude les valeurs d'humidité moyennes mensuels sont homogènes, varie entre **33,6%** et **62,3%**. le pourcentage de taux d'humidité est maximum au mois de décembre et minimum au mois juin.

I.4.3.2. Durée de l'insolation :

La région d'Oued Righ caractérisée par une lumière solaire relativement très forte. Ce qui a un effet desséchant en augmentant la température. Les durées d'insolation sont évidemment très importantes au Sahara (de 9 à 10 heures par jour).

La variabilité de la durée de l'insolation est illustrée dans le (**Tableau I.6 et la Figure I .11**)

Tableau I.6 : données de la durée de l'insolation de la station de Touggourt période (2010 – 2020) [6].

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Moyenne
l'insolation (h)	258	274	249	274	307	319	377	363	123	284	241	230	295

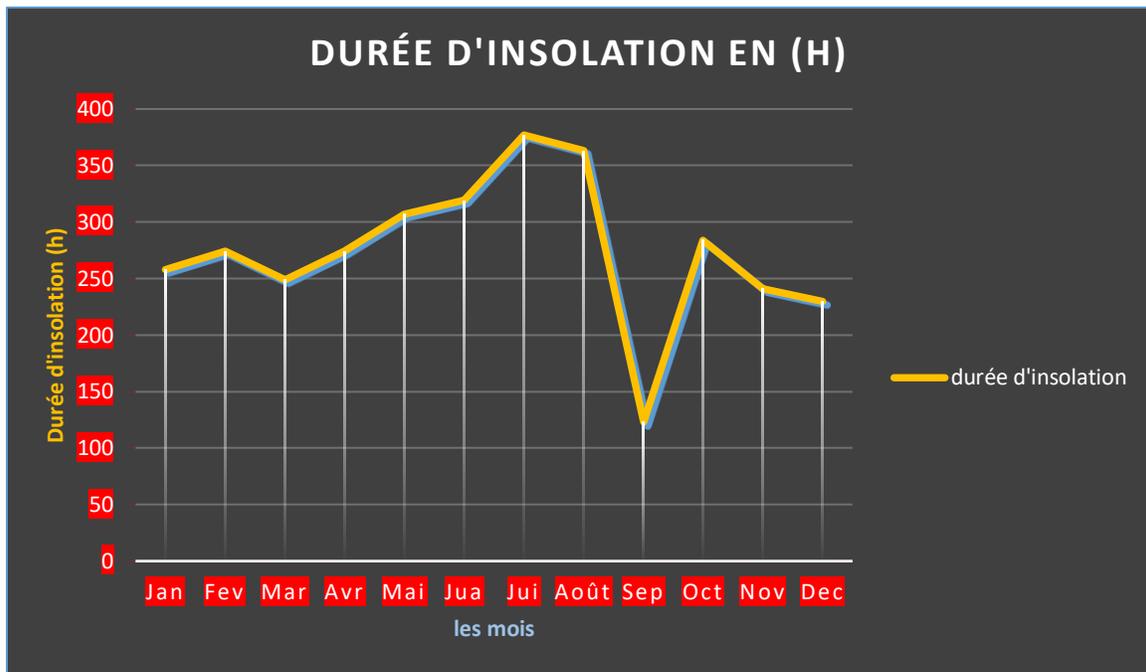


Figure I.11 : Répartition de la durée moyenne mensuelle d'insolation de la station de Touggourt, période (2010 – 2020).

D'après la courbe de distribution de la durée d'insolation, on remarque que la valeur maximale est enregistrée au mois de **Juillet (377 heures)**, et la valeur minimale est enregistrée au mois de **septembre (123 heures)**.

I.4.3.3. Vents:

Les vents sont relativement fréquents dans la région de Oued Righ. En hiver, ce sont les vents de l'Ouest qui dominent, tandis qu'au printemps se sont ceux du Nord-est, alors qu'en été se sont ceux du Sud-Ouest. (O.N.M, 2001).

La variabilité de la *vitesse du vent* est illustrée dans le Tableau I.7 et la Figure I.12, pour le période (2010-2020) D'après (l'ANRH).

Tableau I.7 : Les vitesses moyennes mensuelles du vent en (m/s) pour la station de Touggourt, Période (2010-2020).[6]

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Août	Sép	Oct	Nov	Déc	Moyenne
Vents (m/s)	10.10	12.00	15.27	16.36	16.18	12.72	11.27	11.54	9.54	7.90	7.80	7.00	11.47

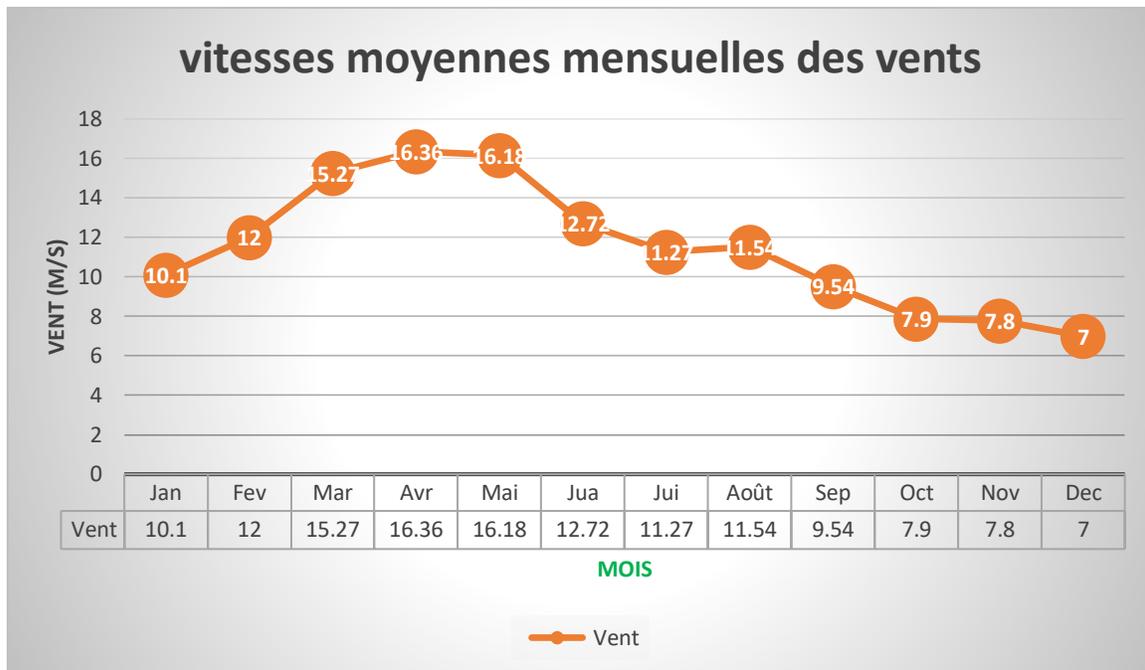


Figure I.12 : Répartition de vitesses moyennes mensuelles des vents (m/s), Période (2010-2020).

Le mouvement de l'air le plus élevé se produit en **Avril** avec **16.36m /s**. Il est plus faible en **décembre** avec **7 m /s**. La moyenne annuelle de la vitesse du vent est de **11.47m/s**.

I.5. Pédologie de la région de Oued Righ : [1]

Les sols de la vallée de Oued Righ sont d'origine alu-colluviale, à partir du niveau quaternaire ancien encroûté, avec des apports éoliens sableux, essentiellement en surface. Ce sont des sols meubles et bien aérés en surface, en majorité salés, l'influence de la nappe phréatique est déterminante et on observe parfois un horizon hydro-morphe ou un encroûtement gypso-calcaire ; dans les sols non encroûtés, les propriétés hydrodynamiques sont bonnes, améliorées par des apports de sable en surface et la réserve facilement utilisable RFU varie entre 78 et 106 mm, La salure est du type sulfaté calcique dans les sols les moins salés (CE < 6 mmhos/cm) et de type chlorure sodique pour les sols les plus salés.

I.6. Cadre géologique : [1]

La géologie reste primordiale en hydrogéologie, car elle permet la connaissance des formations susceptibles de constituer de bons aquifères et de suivre leurs évolutions dans l'espace du terrain d'étude.

La région de Oued Righ appartient à la plateforme saharienne, elle s'étend sur des ensembles géologiquement différents, totalement aplatis au début de l'Ere secondaire ; elle se comporte actuellement comme une vaste dalle rigide et stable.

La région de Oued Righ apparaît comme un vaste fossé synclinal dissymétrique qui est limité :

- Au Nord, par l'accident Sud Atlasique ; et les premiers contreforts des monts des Aurès ;
- Au Sud, par la falaise méridionale du TINHERT ;
- A l'est par les affleurements crétacés du DAHAR ;
- A l'Ouest par la dorsale du Mzab.

C'est donc entre la bordure septentrionale du Hoggar et la bordure méridionale de l'Atlas saharien que se situe le grand bassin sédimentaire du Bas-Sahara, s'étend des pieds de l'Aurès au Nord jusqu'au Tassilis au Sud. Une grande partie du bassin est recouverte par le grand Erg Oriental, soit 125000 Km². La vallée de Oued Righ fait partie de cet ensemble.

I.6.1. Description stratigraphique: [7]

Les formations géologiques de la zone d'étude seront décrites du plus récent au plus Ancien :

I.6.1.1. 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.

I.6.1.2. Tertiaire:

a) Miopliocène

- Miopliocène supérieur : de formation sablo gréseuses ; renferme la première nappe CT1.
- Miopliocène inférieure : sable de la deuxième nappe CT2.

b) Eocène inférieur

Calcaire de la troisième nappe CT3 ces différents aquifères sont séparés par des niveaux imperméables à dominance argileuse.

I.6.1.3. Secondaire:

a) Sénonien

Constitué de calcaires blanc et une alternance de calcaire, de marne et des couches de gypse.

b) Turonien

Représenté par un dépôt marin, calcaire-marneux, l'épaisseur du turonien reste à peu près constante.

c) Cénoomanien :

Il est composé essentiellement de dépôts lagunaires marneux où prédominance des couches d'anhydrite et parfois même du sel.

d) L'albien :

Se présente comme une série très épaisse formée d'une alternance de couches gréseuses avec des passées d'argiles schisteuses.

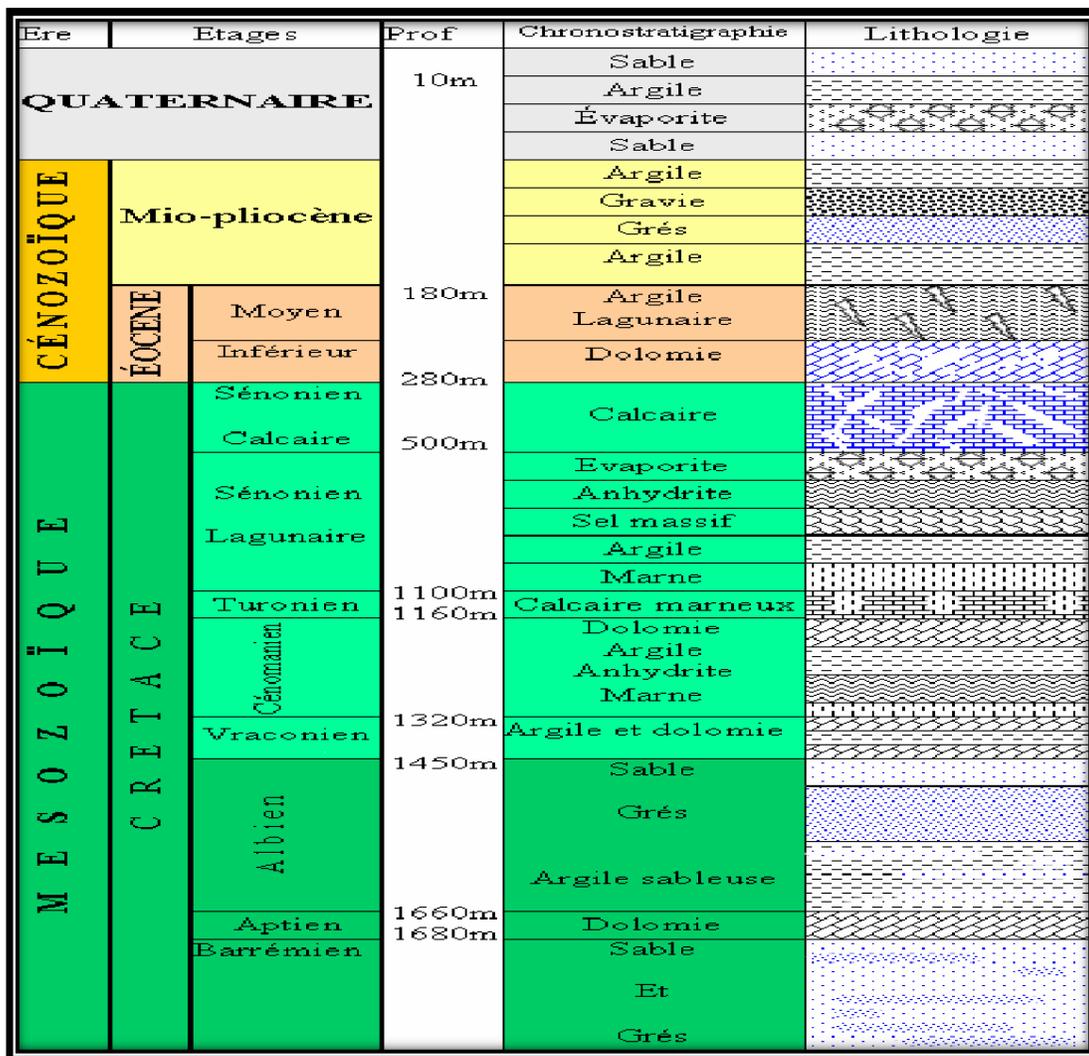


Figure I.13 : Litho- stratigraphie synthétique d'Oued Righ [8]

I.7. Hydrogéologie de la région de Oued Righ :

➤ Présentation des nappes :

Les ressources en eaux souterraines du Sahara septentrional sont contenues dans deux grands aquifères, qui s'étendent au-delà des frontières Algériennes qui sont ceux du (CI) et (CT). Dans la région d'étude, on rencontre les trois nappes suivantes (du haut vers le bas):

- La nappe phréatique.
- La nappe du Complexe Terminal (CT).
- La nappe du Continental Intercalaire (CI).

I.7.1. La nappe phréatique : [1]

C'est une nappe libre dont la profondeur varie entre 0-60m. Elle affleure sur le sol en plusieurs endroits de la vallée ; la lithologie dominante est constituée de sables ou sables argileux avec gypse.

Son eau est généralement très salée et excessivement chargée dans les zones mal drainées ; le résidu sec dépasse 13g/l ; l'alimentation de cette nappe provient essentiellement de l'excédent d'eau d'irrigation et avec un très faible pourcentage des précipitations, elle est rarement exploitée dans le Oued Righ, Sauf dans les zones hors vallée ou on l'utilise comme par exemple, Berkadjia (El-Meghaier) et Taibet pour l'irrigation des petits périmètres éloignés de la palmeraie.

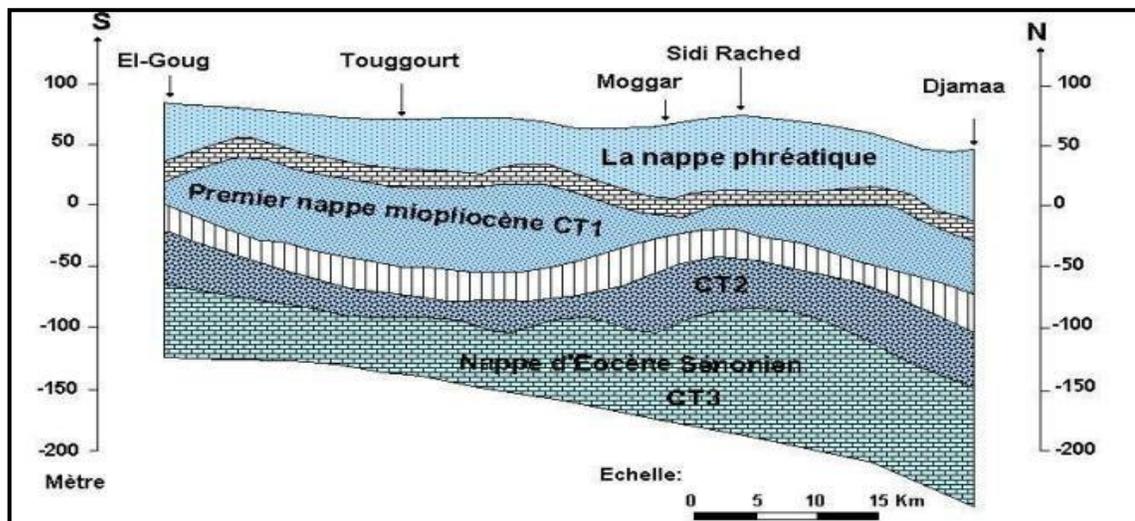


Figure I.14 : Coupe hydrogéologique de la région de Oued Righ (ANRH, 2006)

I.7.2. Nappe du Complexe Terminal (CT) : [9]

La nappe du complexe terminal (CT) couvre une importante partie du Sahara septentrional (environ 350,000 Km²) avec une profondeur varie entre 100 et 500 m, leurs eaux se caractérisent par :

- De l'ordre de 20 à 30 C° en tête de forage la température peut élever ;
- Moins chargées en sel sur les bordures et relativement élevées au centre (plus de 3g/l) ;
- L'écoulement généralement se fait vers les Chotts ;
- Cette nappe regroupe deux systèmes aquifères appelés nappe des sables et nappe de calcaire.

✚ La nappe de sable (moi-pliocène)

Représenté par un ensemble important de sable et d'argile, présente dans tout le bassin oriental. Cette nappe regroupe 2 nappes.

- ✚ **La première nappe de sable :** Elle est contenue dans des sables à grains fins et moyens rouges, plus ou moins argileux avec rare passage de calcaire. La profondeur de son toit varié entre 40 et 80 m; et son épaisseur varie entre 10 et 50 m.
- ✚ **La deuxième nappe de sable :** Elle circule dans les terrains constitués de sable jaune et de gravier siliceux faiblement marneux. Son épaisseur est de 15 à 50 m et sa profondeur varié entre de 100 à 300 m. Elle est la plus exploitée dans la région de Oued Righ.
- ✚ **La nappe de calcaire (sénonien carbonaté) :** Elle est constituée par des calcaires blancs siliceux de l'éocène. La profondeur du toit de cette nappe variée entre 160 et 200 m. les calcaires du sénonien devient moins exploitée.

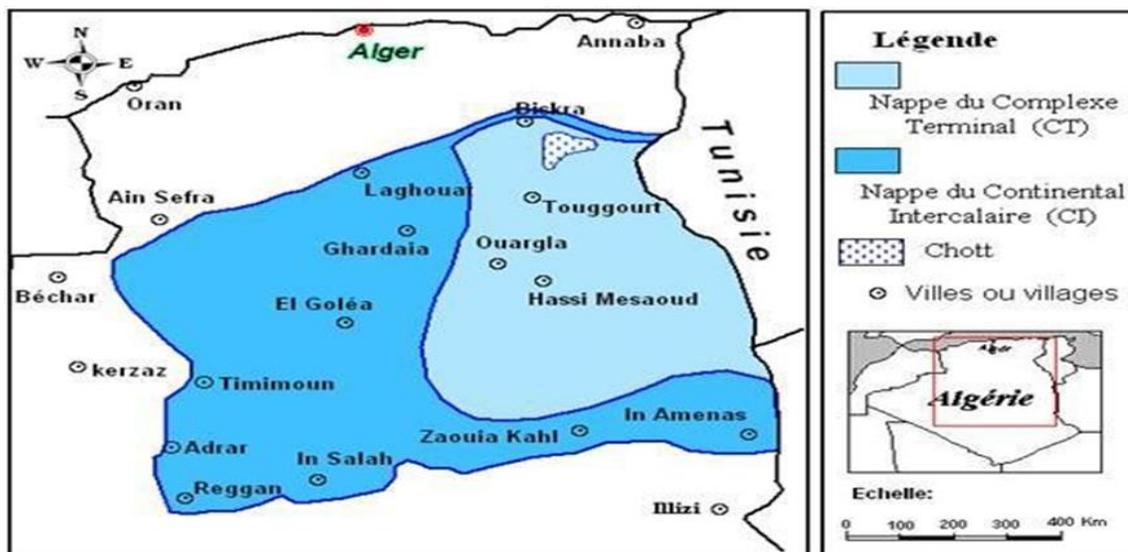


Figure I.15 : Carte de l'extension géographique des aquifères de continental intercalaire et complexe terminal (UNISCO, 1972).

I.7.3. Nappe du Continental Intercalaire (CI) : [6]

C'est un aquifère de 1500 m et plus de profondeur; composé de sables gréseux ou argileux qui s'étend sur plus de 600 000 Km², son épaisseur peut atteindre 1000 m au Nord-Ouest du Sahara. Il se situe entre 700 et 2000 m de profondeur. De point de vue lithologique, le continental intercalaire est formé par une succession de couches de sables, de grès, de grès argileux et d'argile.

La qualité de l'eau du Continental est bonne (la minéralisation totale est généralement < 3,5 g/l).

L'eau d'Albien est relativement peu minéralisée de conductivité électrique de 3 mmhos/cm, mais dont la température est supérieure à 50 °C quand elle jaillit, ce qui pose des problèmes de refroidissement préalable à l'irrigation. Cette eau provoque des dépôts abondant de carbonate de calcium qui rendent sa distribution délicate.

I.8. Conclusion:

La région d'oued Righ est caractérisée par un climat aride avec de faibles précipitations, est des vents de dominance (Sud - Ouest). Le terrain de la vallée est pratiquement plat, avec une dénivellation très faible 1% vers le Nord, le sol de la vallée est constitué de dépôt de sable argileux.

La région de Oued Righ repose sur trois principaux réservoirs d'eau, qui sont :

La nappe phréatique ;

La nappe du complexe terminal (CT) ;

La nappe du continental intercalaire (CI).

CHAPITRE II

ETUDE HYDROMETRIQUE

II.1. Introduction :

Dans la plupart des études d'aménagement, le débit des cours d'eau est la variable dépendante; ce dernier variant en fonction du temps. Par conséquent certaines études nécessitent des mesures instantanées des débits; on exécute alors des jaugeages aux instants choisis. Mais dans la majorité des cas, c'est l'évolution du débit dans le temps qui nous intéresse ; on installe alors des stations hydrométriques ou de jaugeage. En pratique il est difficile d'obtenir le débit (Q) d'une manière continue ou directe.

Dans ce chapitre L'étude hydrométrique vise à calculer le débit dans le canal de Oued Righ dans la partie de la commune de Sidi Amrane, par lequel il affectera les dimensions des ouvrages hydrauliques existants ou en projet.

II.2. Historique du Canal de Oued Righ : [7]

Le canal passe par les trois grandes villes à savoir : la ville de Touggourt, Djamaä et El-Meghaïer qui sont entourées à leur tour par les palmeraies, ce canal a été creusé avec des méthodes traditionnelles et manuelles par la population de la région pour but de faire drainer les eaux en excès d'irrigation des palmeraies et l'évacuation des eaux usées, donc le canal joue le rôle de collecteur principales de ces eaux sur une longueur de 150 km à partir d'El-Goug jusqu'au chott Merouane (exutoire naturel).

Les trois premiers kilomètres du canal sont des conduites enterrées en béton armé de diamètre 1000 mm. Le reste du canal est à ciel ouvert et de forme trapézoïdale d'une largeur de 10 m, une profondeur de 4 m et une pente de 1‰. Les 2/3 Sud du canal ont été creusés, tandis que 1/3 Nord est d'origine naturel (Oued Khrouf).

Le canal de Oued Righ est passé par deux étapes avant d'aboutir à l'état actuel:

1- Étape de la réalisation pendant la colonisation:

Initialement, l'étude du canal collecteur a été lancée avant 1910 après l'apparition de la remontée des eaux de la nappe phréatique à partir du village de Témacine jusqu'à la zone des lacs de Sidi Slimane a été réalisé en tronçon manuellement par les fellahs en 1912, Entre 1925 et 1926 il a été remarqué que la région présente une dénivelé naturelle moyenne de 1‰ à partir de la commune de Blidet Amor (Daïra de Témacine wilaya de Touggourt) jusqu'à Dendouga (Daïra d'El Mghaïer wilaya d'El Mghaïer) sur une longueur d'environ 136 km.

Sur la base de cette dénivelé des travaux manuels ont été lancés pour le creusement de l'actuel Oued Righ représentant le début de ce canal collecteur, Le canal est resté dans cet état de bon fonctionnement grâce au nettoyage périodique assuré par les autorités de cette époque jusqu'à l'indépendance.

2- Etape de la réalisation après l'indépendance:

Dans cette étape, l'efficacité de canal était très faible à cause du manque de nettoyage et curage, avec la croissance du nombre de forages créé dans les nouveaux périmètres irrigués ou même dans les anciennes palmeraies, sans oublier le débit d'assainissement provoqué par les agglomérations urbaines. C'est pour cela que l'état a proposé plusieurs études d'aménagement dans la région à savoir:

a)- **Le projet ERESS (Etude des Ressources en Eau du Sahara Septentrional)** en 1972 concernant les nappes souterraines.

b)- **l'étude de bureau TESCO (HONGRIE).**

Pour le canal collecteur les travaux d'aménagement ont commencé en 1980, et pour les canaux secondaires en 1984, Le canal de Oued Righ joue un rôle très important dans :

- ✚ Le rabattement de la nappe phréatique ;
- ✚ L'assèchement des sols de la vallée par l'évacuation des eaux d'irrigation ;
- ✚ L'évacuation des eaux d'assainissement des zones urbaines qui sont situées de part et d'autre du canal.

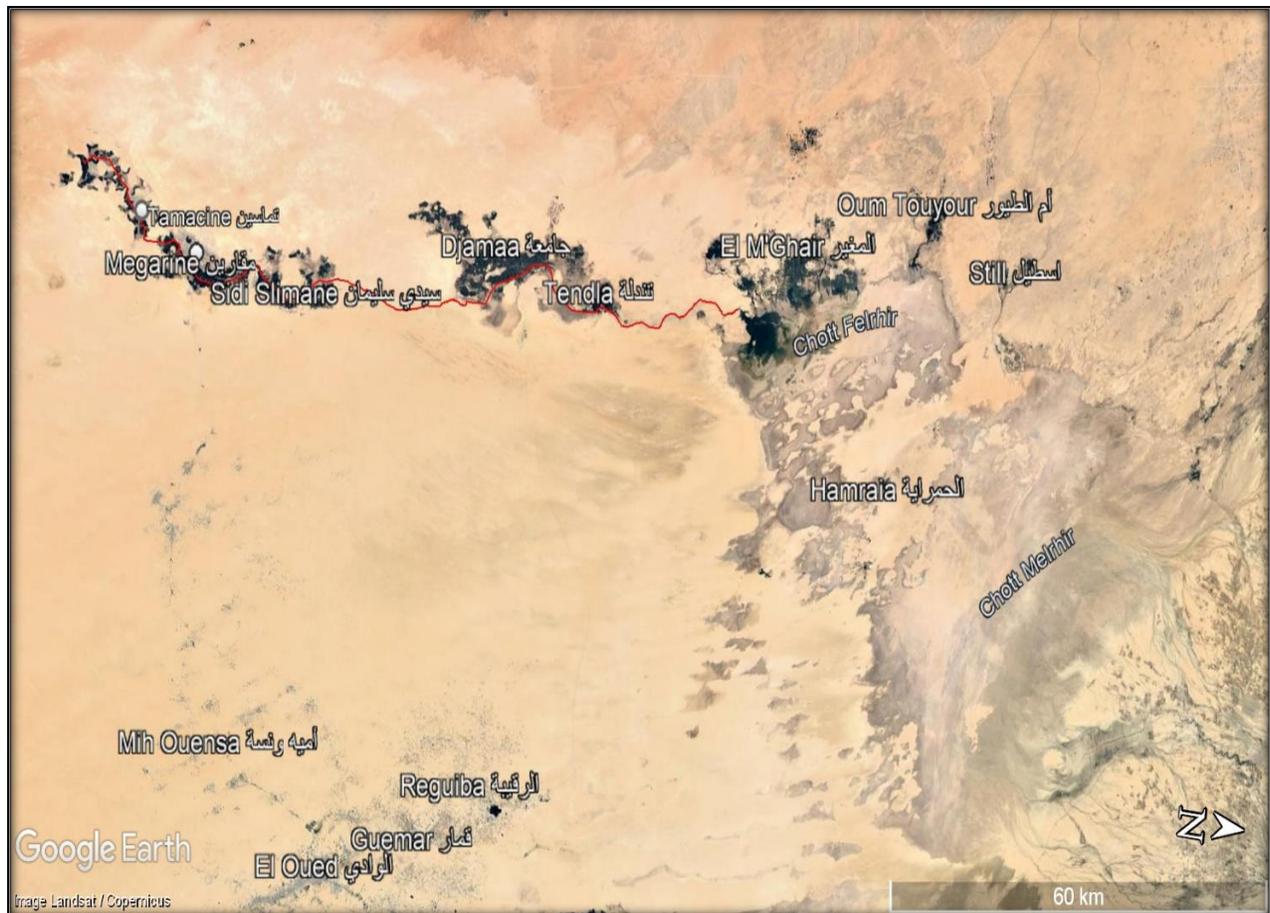


Figure II.1: Trajectoire du canal d'Oued Righ [Google Earth, 2021].

II.3. Avantages et inconvénients des canaux en terre :

✚ Avantages

- Economiques ;
- Favorisent le développement de la faune et la flore (indicateurs et facteurs environnementales) ;
- Favorisent le comportement naturel du cours d'eau ;
- Facilitent l'interaction entre le cours d'eau et la nappe souterraine (recharge des nappes...etc).

✚ Inconvénients : [7]

Ils sont malheureusement nombreux. Nous pouvons citer par exemple :

- Les pertes d'eau par infiltration à travers les parois et le fond ;
- L'érosion des profils même pour des vitesses assez faibles ;
- Le ravinement par le ruissellement des eaux pluviales et passage des animaux ;
- Les travaux d'entretien importants et permanent (lutte contre les mauvaises herbes, dévasement et le maintien de la cuvette au profil) ;
- Enfin, si le terrain est sableux (terrains perméables sans cohésion en général), la réalisation des canaux en terre s'avère difficile voire impossible.

Malgré ces défauts très importants les canaux en terre sont encore utilisés à cause de leur très faible coût de revient dans les régions où l'eau est surabondante, ou bien dans les périmètres d'eau de crue en Afrique du Nord dont la rentabilité marginale impose des équipements peu coûteux..

II.4. Les problèmes qui affectent le canal collecteur de Oued Righ : [10]

Le canal collecteur tend vers une dégradation importante à cause:

- Des végétations (roseau) sur les berges Le long du canal provoquant un obstacle à l'écoulement des eaux et détruit les berges non protégées, ce qui conduit à un comblement de son lit ;
- Dans quelques zones de la vallée, on observe que certaines parties du canal sont presque détruites par l'érosion ce qui affecte la stabilité des berges ;
- Des glissements au niveau des berges provoqués par une mauvaise gestion de système de drainage (collecteur principal et canaux secondaires), à cela on rajoute d'autre problème d'ordre environnemental (pollution) ; Les eaux du collecteur sont polluées par des rejets des habitants qui y vivent à proximité :
 - La présence des algues le long du canal est due à la présence de phosphate (détergent) et qui dégage une mauvaise odeur ;
 - Le développement des parasites et prolifération d'insectes dont les larves sont aquatiques, peuvent transmettre des maladies parasitaires parfois mortelles pour l'être humain.

II.5. Caractéristiques des Stations : [7]

Il y a (10) stations hydrométriques réparties sur une longueur de 125 Km qui représentent les points les plus favorables pour prendre les mesures des paramètres hydrauliques du canal en aval des grandes agglomérations et palmeraies de Oued Righ. Il s'agit des stations : Kerdache, Ranou, Zaouia-El abidia, Sidi Slimane, Bourkhis à Oued Righ Sud zone de Touggourt Sidi Amrane, Zaouiet Riab, Tinedla Amont, Tinedla Aval, Boufeggoussa à Oued Righ Nord zone de Djamaa et El Mghaïer.

- 1)- **Station de Kerdache** : en amont du canal il réunit les drains et les rejets de Beldet amor;
- 2)- **Station de Ranou** : en amont aussi du canal il réunit les drains et les rejets de Témacine et Beldet amor;
- 3)- **Station de Zaouia-El abidia** : contrôle les rejets et les drains de Touggourt ;
- 4)- **Station de Bourkhis** : contrôle les rejets et les drains de Mégarine et de Touggourt ;
- 5)- **Station de Sidi Slimane** : contrôle les rejets et les drains de daïra de Mégarine et de Touggourt;
- 6)- **Station de Sidi Amrane** : Premier point dans la région de Djamaa ;
- 7)- **Station de Zaouiet Riab** : rassemble les rejets et les drains de la commune Djamaa ;
- 8)- **Station de Tinedla amont** : rassemble les rejets et les drains de la daïra de Djamaa ;
- 9)- **Station de Tinedla aval** : rassemble ceux de la daïra de Djamaa, ses villages et ses palmeraies;
- 10)- **Station de Boufeggoussa** :(exutoire), englobe tous les rejets et tous les drains.

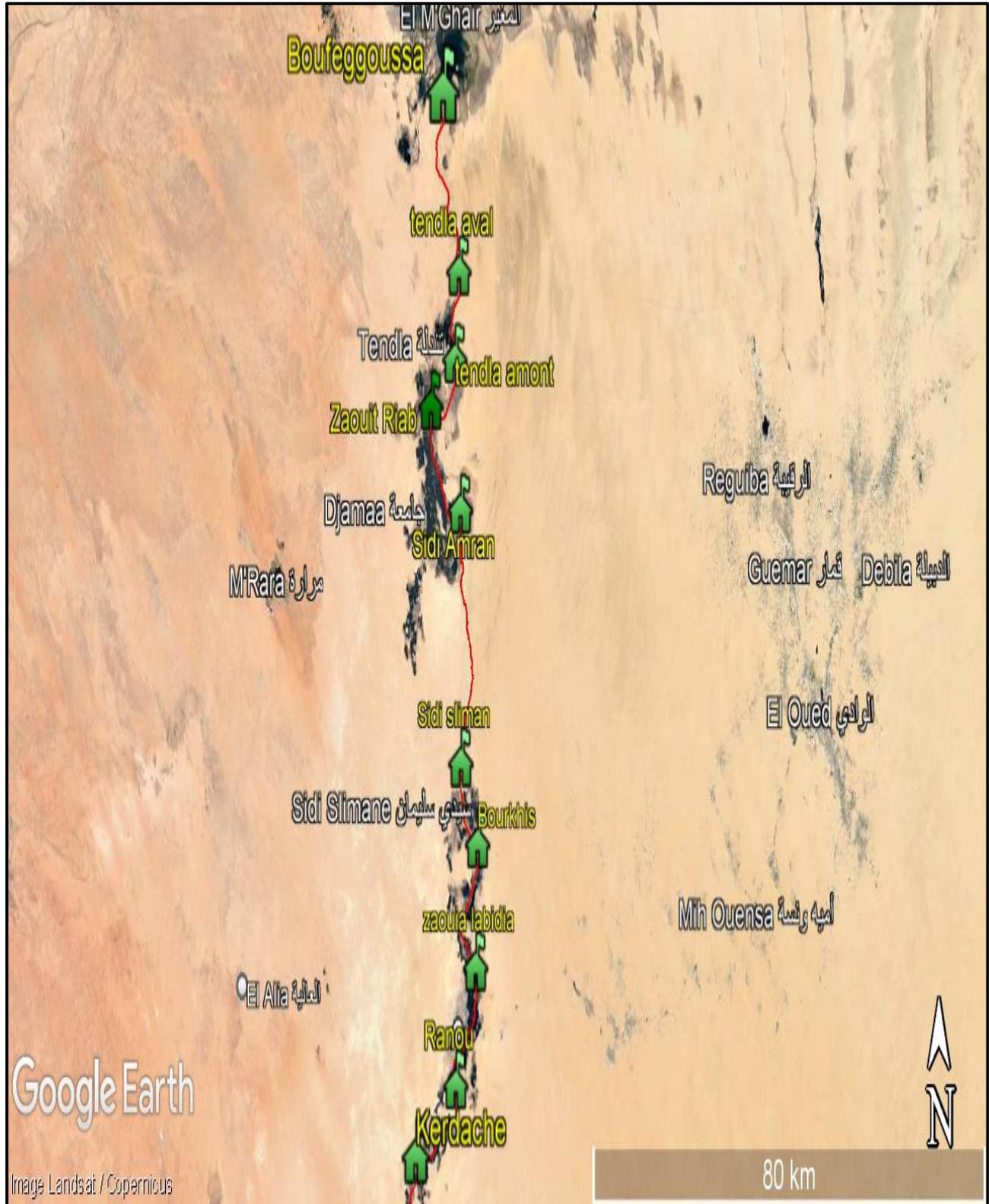


Figure II.2 : Schéma des Stations hydrométriques (Google Earth, 2021)

Tableau II.1 Coordonnées géographiques (GPS) et topographiques des Stations [7]

N°	Station	Cordonnée s			La pente I (‰)	Longueur cumulée (Pk)(km)
		X	Y	Z (m)		
01	Kerdache	05°58'59''	32°59'05''	83	0,85	12
02	Ranou	06°03'38''	33°02'48''	69	1,072	24,5
03	Zaouia-Labidia	06°06'14''	33°08'16''	52	2,39	34,5
04	Bourkhis	06°06'28''	33°14'23'	51	0,28	50
05	Sidi Slimane	06°04'42''	33°17'73''	37	0,48	55,92
06	Sidi Amrane	06°04'22''	33°30'21''	17	1,20	68
07	Zaouiet Riab	06°00'20''	33°35'59''	15	0,65	100
08	Tinedla Amont	06°02'45''	33°39'00''	15	0,2	111,25
09	Tinedla Aval	06°03'41''	33°42'46''	14	0,2	114
10	Boufeggoussa	06°01'41''	33°51'31''	0	1	125

X, Y : coordonnées géographiques des stations.

Z: Altitude (m).

I: pente (‰)

II.6. Evolution du débit du canal au niveau des stations hydrométriques : [7]

L'évolution de la région de Oued Righ se fait sentir à travers la multiplication du nombre de forages suite à l'augmentation du nombre d'habitants, du développement, de leurs nécessités socio-économiques et de l'extension des palmeraies par de nouveaux périmètres irrigués.

Cette évolution a provoqué des débits de forages et des réseaux de drainages supplémentaires et une importante évolution spatiale et chronologique du débit du canal.

Le tableau suivant représente cette situation :

Tableau II.2 : Récapitulatif des jaugeages effectués sur le canal collecteur (Canal Oued Righ) Le Débit (m³/s) [6]

date station	03/10/1993	08/05/1994	10/10/1994	30/01/1995	02/12/1996	20/03/98	04/05/1999	29/01/2001	01/03/2006
Kerdache	0,258	0,265	0,340	0,166	0,225	0,340	0,200	0,263	1,030
Ranou	0,470	0,420	0,588	0,728	-	0,530	0,394	0,813	0,615
Z- labidia	1,843	1,386	1,418	2,213	1,230	1,530	1,283	-	-
Bourkhis	1,484	1,570	1,886	-	-	2,150	1,33	2,14	-
Sidi Slimane	1,758	1,990	2,00	2,585	-	2,00	1,93	2,45	2,50
Sidi Amrane	1,832	2,058	2,14	2,73	2,55	2,14	1,51	2,915	2,680
Z-Eriab	2,795	3,120	3,52	4,912	-	4,00	2,272	4,66	-
Tinedla amont	2,855	-	3,75	5,34	4,39	4,18	2,84	-	-
Tinedla aval	3,036	3,325	3,87	4,935	4,00	4,69	3,18	4,68	4,80
Boufeggoussa	2,783	3,114	3,32	4.2	-	3.185	-	5,075	-

date						
station	04/04/2007	28/01/2008	25 /12/2012	17/11/2014	24/03/2015	27/11/2017
Kerdache	-	-	0,132	0,262	0,279	-
Ranou	0,75	0,75	0,856	0,760	0,785	-
Z- labidia	-	3,66	1,47	1,54	1,87	-
Bourkhis	-	2,61	1,68	1,95	2,32	-
Sidi Slimane	1,95	2,8	2,10	2,16	2,57	-
Sidi Amrane	-	2,88	1,91	2,33	2,68	2.671
Z-Eriab	-	-	3,47	3,945	4,16	-
Tinedla amont	3,765	4,86	4,22	4,615	5,01	-
Tinedla aval	-	-	5,32	4,85	5,06	-
Boufegg oussa	4,31	5,35	3,24	4,75	4,36	-

Tableau II.3 : Répartition de débit moyen des stations hydrométriques : [6]

N°	Station	L [Km]	Débit moyen [m ³ /s]
1	Kerdache	12	0,313
2	Ranou	24,5	0,651
3	Z - Labidia	34,5	1,768
4	Bourkhis	50	1,912
5	Sidi Slimane	55,92	2,215
6	Sidi Amrane	68	2,335
7	Z - Riab	100	3,685
8	Tinedla Amont	111,25	4,166
9	Tinedla Aval	114	4,312
10	Boufeggoussa	125	3,972

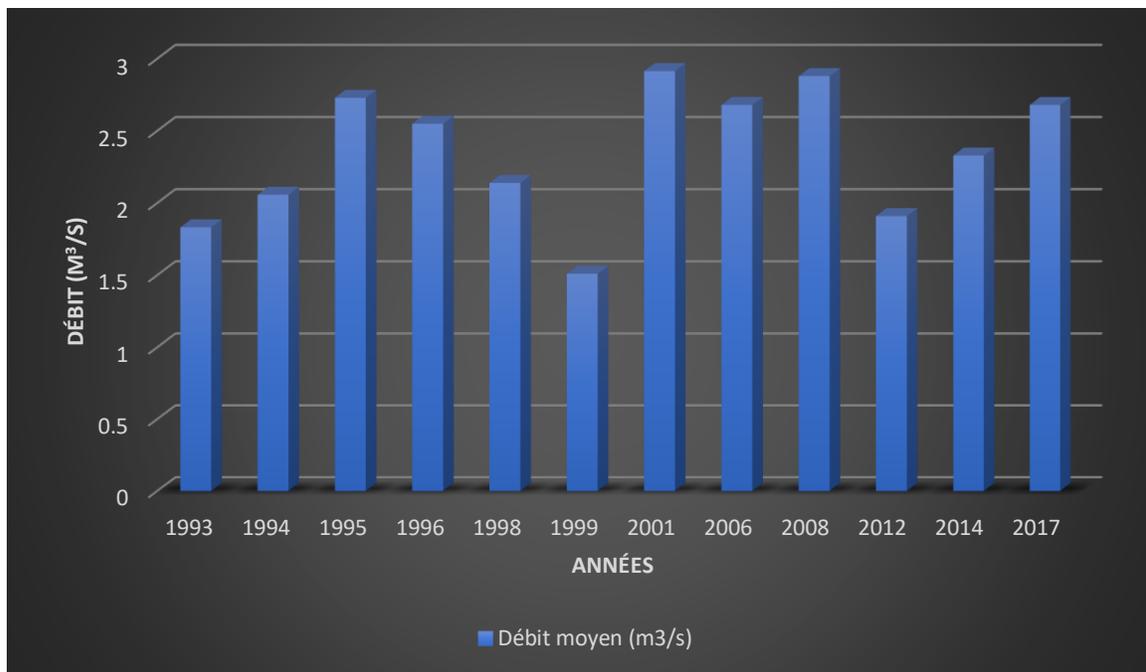


Figure II.3 Variation du débit moyen à travers la station de jaugeage de Sidi Amrane durant la période (1993- 2017)

D'après la figure II.3, on remarque que la variation du débit moyen à travers la station de jaugeage de Sidi Amrane la fluctuation (la montée et la descente) du débit d'eau durant la période de 1993 à 2017, est due à plusieurs raisons, dont l'efficacité des opérations de curage et d'entretien du canal.

II.7. Choix de la zone d'étude :

Nous avons choisi cette zone car c'est l'une des zones où les problèmes de dégradation structurelle du canal et de montée du niveau d'eau, notamment en période hivernale sont observés du fait de l'augmentation du pourcentage d'eau d'irrigation drainée, sachant que cette partie du canal que nous étudions traverse un ensemble de forêts de palmiers sur une longueur de trois (03) kilomètres.

II.7.1. Site de la zone d'étude :

Le courant d'eau de l'étude se situe à l'extrême est de la commune de Sidi Amrane, où cette zone est connue de la population locale sous le nom de zone de (**Shatt**). C'est une zone agricole notamment pour les palmiers.

À partir de ce point, nous avons estimé les limites et la superficie de la zone, pour étudier la topographie de la région, ce qui est important dans la réalisation du projet de d'aménagement de cours d'eau.

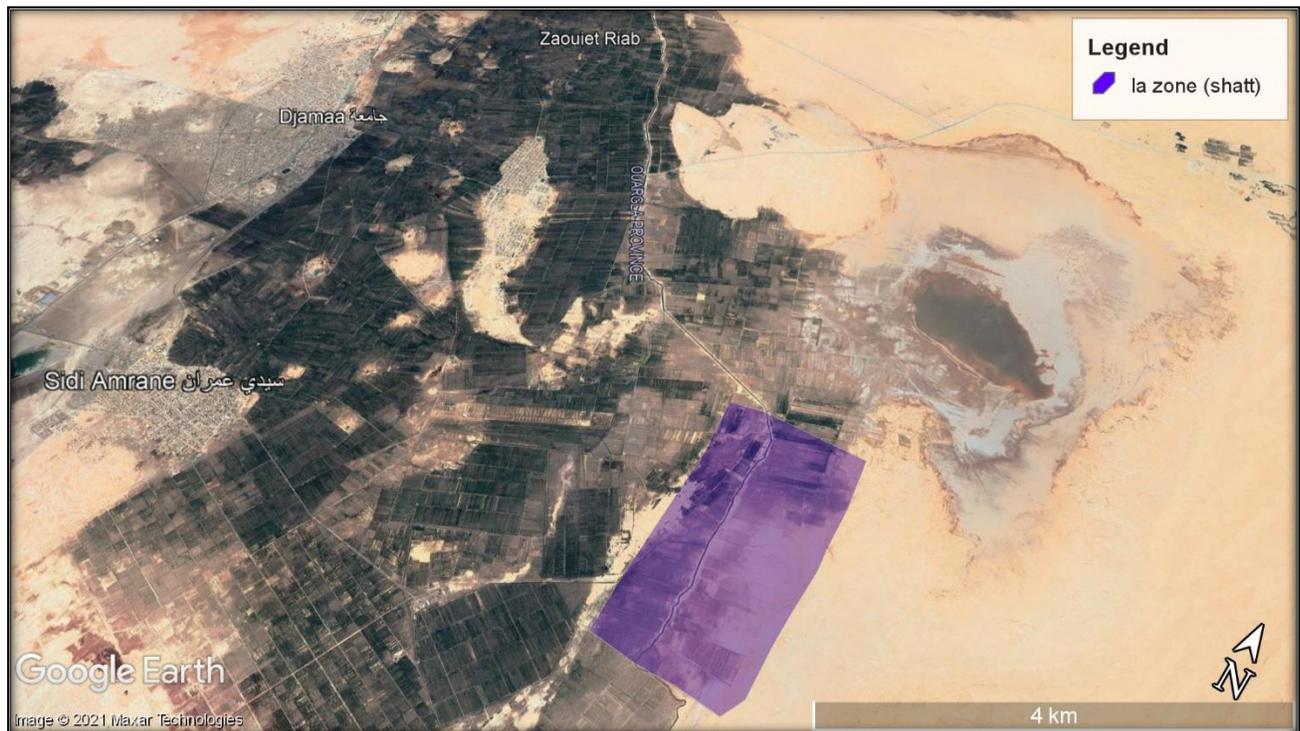


Figure II.4 : Localisation de site d'étude (Shatt)

Périmètre : 8.91 km

Superficie : 4.55 km²

[Mesures prises et faites à l'aide de **Google earth**]

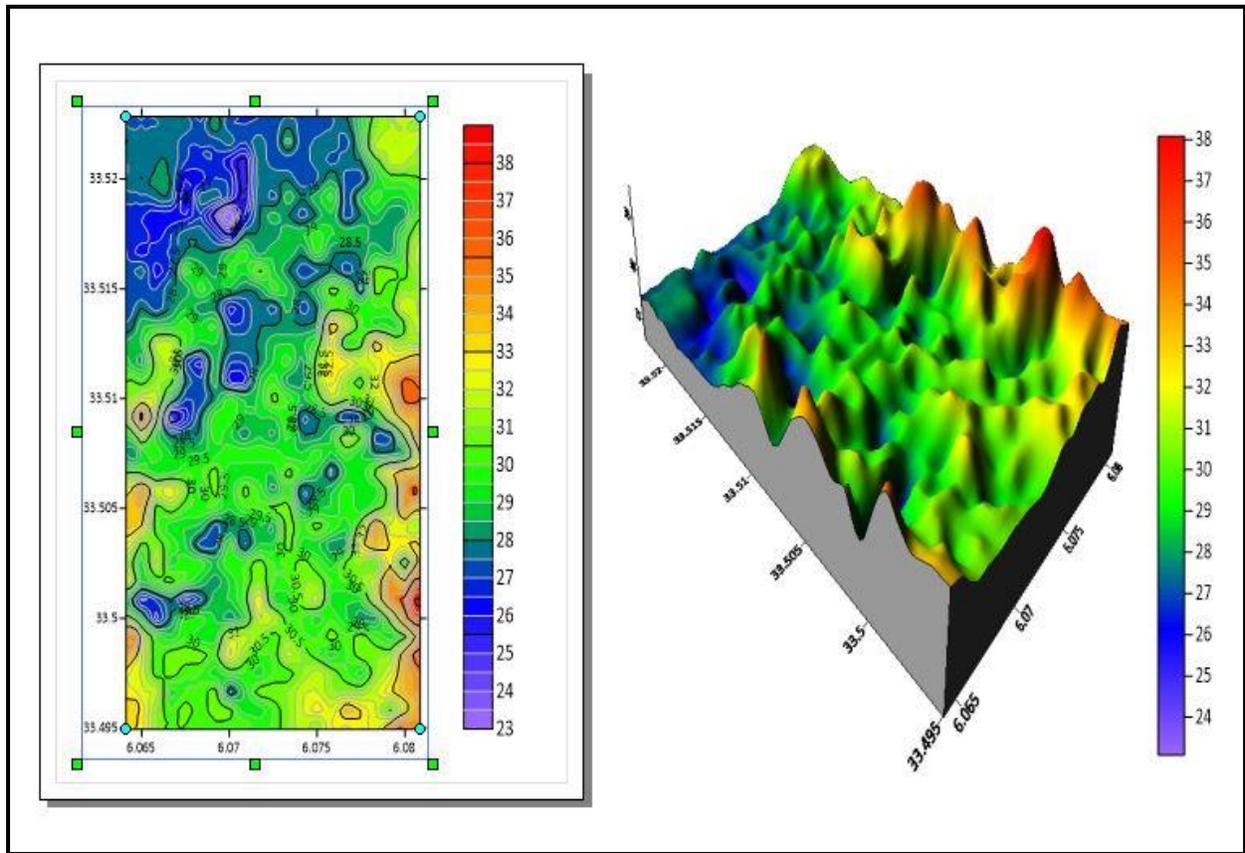


Figure II.4 : Vue en 2D et 3D de la topographie de la zone (shatt) à Sidi Amrane sous logiciel (Surfer)

II.7.2. Caractéristique de tronçon d'étude :

[Mesures prises et faites à l'aide de **Google Earth** :

- La longueur de talweg : **2956 m**
- La largeur au miroir maximum de tronçon : **15.7 m**
- La largeur au miroir minimum de tronçon : **5.9 m**
- La pente : **1%**

[Mesure calculées par le logiciel **TCX Converter** :

- Élévation a l'amont : **30 m**
- Élévation a l'aval : **27 m**



Figure II.6: Le trace de notre tronçon d'étude sur le canal collecteur de Oued Righ [l'extrait de Google Earth].

II.8. Généralités sur les matériels et les méthodes de mesure :

Les techniques de mesure des paramètres caractérisant un écoulement dans un cours d'eau naturel ou artificiel ou encore dans une conduite sont regroupées sous le terme « hydrométrie ». Cependant, l'hydrométrie comprend la méthodologie et la technologie de la mesure des débits et des hauteurs d'eau dans les milieux suscités.

Le débit Q (m^3/s) qui traverse une section de mesure est défini par:

$$Q = V_m \times S_m \dots \dots \dots (II.1)$$

Avec :

V_m : vitesse moyenne (m/s) ;

S_m : Surface de la section mouillée (m^2).

Il existe différentes méthodes de mesure de débit :

- ✚ Par jaugeage ;
- ✚ Par application de formule de Chézy.

Parmi les jaugeages connus utilisés en hydrologie on peut citer le jaugeage au moulinet, le jaugeage au déversoir, le jaugeage au flotteur, le jaugeage chimique...etc. Dans notre cas nous avons utilisé la méthode de jaugeage au flotteur étant donné que cette méthode ne présente pas de difficultés opérationnelles sur le terrain d'une part et donne des résultats qui se rapprochent plus de la réalité d'autre part.

Mais avant cela, nous parlerons du jaugeage au moulinet car c'est la principale méthode utilisée pour mesurer le débit à travers les stations du canal, cela nous aidera à comparer nos résultats de mesure et les leurs.

II.8.1. Jaugeage au moulinet : [7]

Cette méthode consiste à explorer le champ des vitesses le long de la section "S" considérée. La vitesse de l'écoulement n'est pas uniforme sur la section transversale d'un cours d'eau. Il est donc nécessaire d'explorer le champ des vitesses en réalisant des mesures en plusieurs points de la section, généralement situés le long de verticales judicieusement réparties sur la largeur de l'oued. Pour effectuer une bonne mesure certains critères doivent être réunis :

- les vitesses doivent être parallèles entre elles (pas de remous) et perpendiculaires à la section de jaugeage ;
- La vitesse doit être suffisamment constante dans le temps pour une même hauteur d'eau (écoulement permanent) ;
- La profondeur de l'eau doit être suffisante par rapport au diamètre de l'hélice ;
- Le fond ne doit pas contenir d'obstacles ;
- La mesure de la vitesse est basée sur la transformation du mouvement rectiligne de l'eau en un mouvement rotatif de l'hélice du moulinet.

II.8.1.1. Tarage des moulinets : [11]

Tarer ou étalonner un moulinet c'est définir la relation entre la vitesse de l'eau dans laquelle il est plongé, et les paramètres qui sont effectivement détectés : nombre de tours "n" de l'hélice dans un temps "t" donné avec le moulinet à séparation électrique.

Le principe de fonctionnement du moulinet repose sur la linéarité de la relation entre la vitesse de l'écoulement de l'eau et la vitesse de rotation de l'hélice. L'organe mobile mis en mouvement par le fluide, actionne un système de signalisation approprié qui permet de compter ou d'enregistrer le nombre de tours effectués "N" pendant un temps "t".

La vitesse d'écoulement est calculée à partir du nombre de tours par seconde ($n = N/t$) de l'hélice et de la formule de tarage du moulinet.

En raison des frottements mécaniques sur l'axe des pertes hydrauliques diverses, la relation théorique est une hyperbole. Pratiquement l'expérience montre que cette hyperbole peut être assimilée à une ou plusieurs droites, d'équation de forme suivante :

$$V = a.n + b \dots \dots \dots (II.2)$$

Avec:

V : vitesse du courant (m/s) ;

a : pas réel de l'hélice (m) ;

n : nombre de tours d'hélice par seconde ;

b : vitesse dite de frottement ou vitesse de démarrage (m/s).

Les coefficients a et b sont déterminés expérimentalement pour chaque appareil. Les constructeurs livrent leurs appareils avec un certificat d'étalonnage sur les équations à utiliser pour calculer la vitesse.

II.8.1.2. Mesure de la vitesse : [7]

L'estimation de la vitesse moyenne sera obtenue en plaçant le moulinet en différents points de la section repérés en abscisse et en ordonnée. En général, le moulinet est placé en des points répartis sur des verticales espacées régulièrement en travers la section.

II.8.1.3. Nombre des verticaux : [7]

Le nombre des verticales dépend des caractéristiques du profil et des conditions d'écoulement, d'une manière générale. Il convient de rapprocher des verticales aux endroits où il se produit une variation de vitesse dans le sens horizontal.

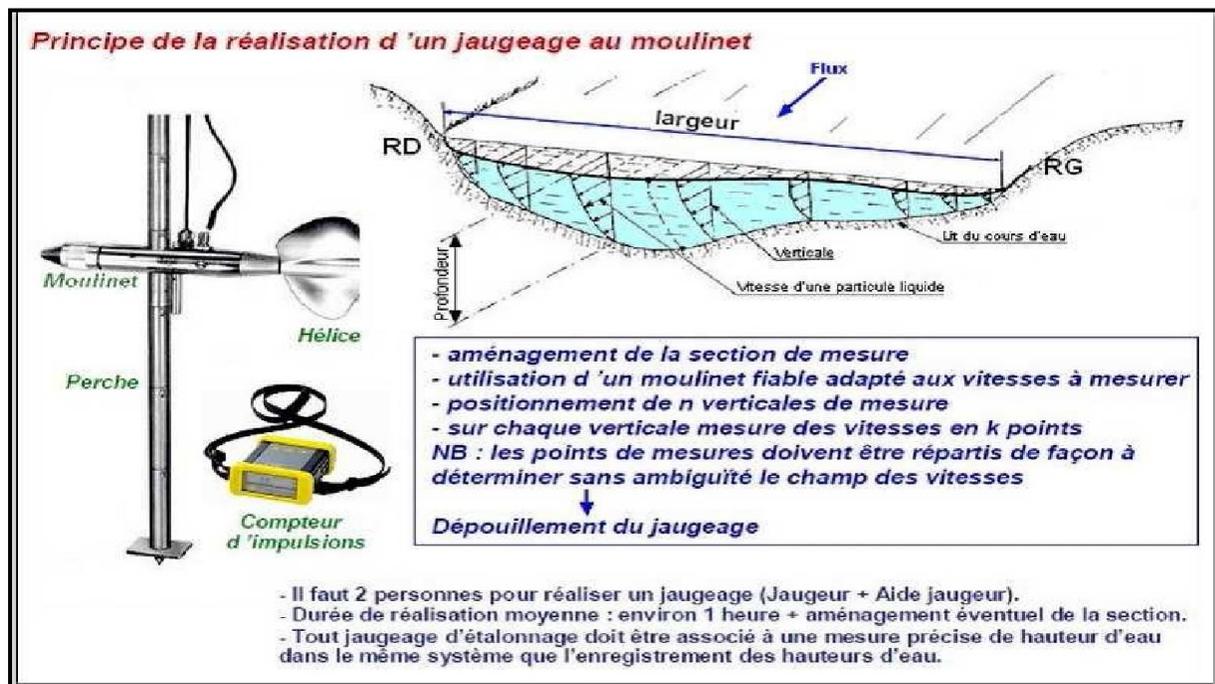


Figure II.7. Schéma de principe du jaugeage au flotteur

II.8.2. Le jaugeage au flotteur : [website : www.inmtn.com]

Le jaugeage au flotteur Il s'agit dans cette méthode de mesurer uniquement des vitesses de surface, ou plus exactement les vitesses dans la tranche superficielle de l'écoulement. Les flotteurs peuvent être soit artificiels (bouteilles en plastiques...etc) soit naturels (tronc d'arbres, grosses branches, etc.). Le déplacement horizontal d'un flotteur de surface durant un temps t permet de déterminer la vitesse de l'écoulement de surface. Plusieurs mesures de vitesse du flotteur doivent être réalisées. La moyenne de ces mesures est ensuite multipliée par un coefficient approprié pour obtenir la vitesse moyenne de l'élément de section. En général, la vitesse moyenne dans la section est de l'ordre de 0,4 à 0,9 fois la vitesse de surface (mesurée).

Puis en multipliant cette vitesse par la largeur et la profondeur moyenne du canal (section mouillée). Le débit sera calculé par la formule suivante :

$$Q = k \times VMS \times S_{Mm} \dots \dots \dots (II.3)$$

Avec :

k : coefficient de débit de l'ordre de 0,4 à 0,9 (sans dimension) ;

VMS : vitesse moyenne de la surface, en (m/s), donnée par le temps moyen mis par le ou les flotteurs pour parcourir une distance ;

S_{Mm} : Section mouillée moyenne en (m²).

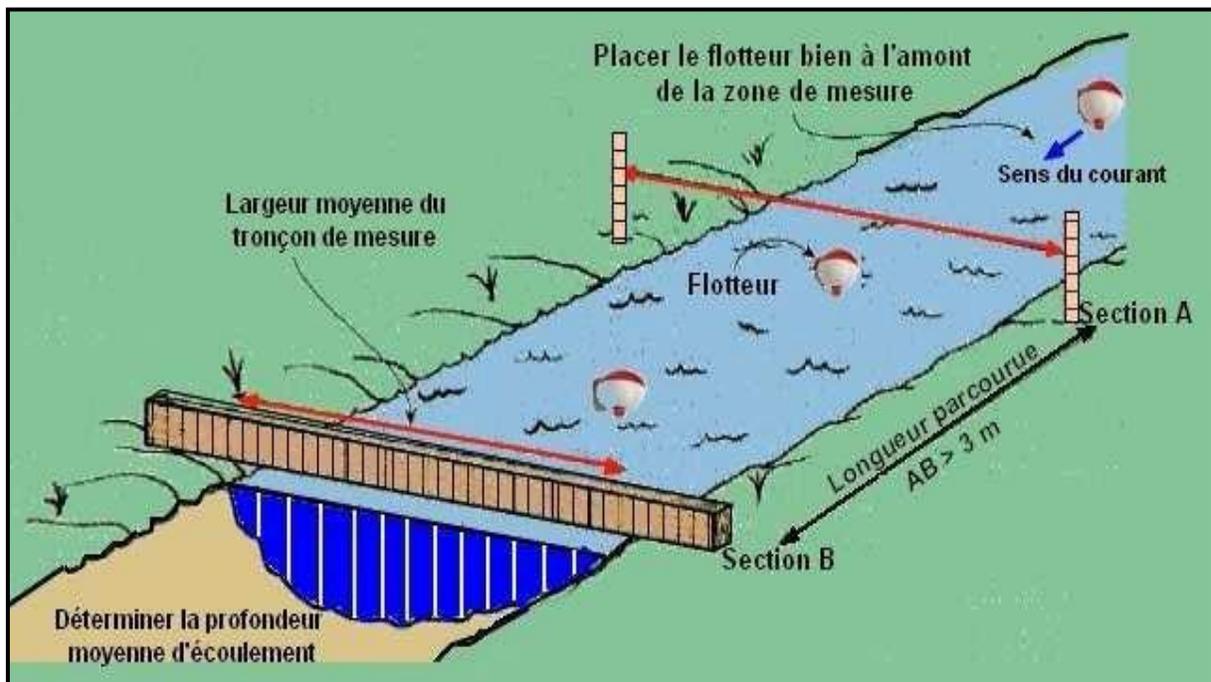


Figure II.8. Schéma de principe du jaugeage au flotteur

II.8.2.1. Matériels de mesure :

Pour la réalisation de notre travail, nous avons utilisé les matériels suivants :

- ✚ Mètre à ruban ;
- ✚ Chronomètre ;
- ✚ Mètre bâton pour mesurer la profondeur ;
- ✚ Un objet flottant très visible tel que des bâtons ou des bûches, un pin ou une balle de tennis, il devrait également l'être (objets suffisamment lourds pour ne pas être affectés par le vent) ;
- ✚ Roches pour ancrer le ruban à mesurer aux rives des canaux (peuvent servir de marqueurs).

II.8.2.2. Les opérations de mesure de la vitesse de surface (Vs) :

L'idée de base est de mesurer le temps qu'il faut à un objet flottant pour parcourir une distance spécifiée (distance en aval).

Elle est exprimée en (m/s) :

$$V_s = D/t \dots \dots \dots (II.4)$$

D : la distance (m) ;

t : le temps (s).

Pour déterminer la vitesse moyenne de surface on procède de la manière suivante:

- ✚ Nous choisissons une section de canal appropriée avec un minimum de turbulence.
- ✚ Utilisez un bâton pour mesurer la profondeur à intervalles réguliers à travers le canal.
- ✚ Mesure de la largeur et de la profondeur du canal sur le plan transversal.
- ✚ Nous marquons le début et la fin de la distance que notre objet flottant parcourra. Nous recommandons un minimum de 20 mètres.
- ✚ On jette l'objet flottant dans le ruisseau en amont du marqueur amont.
- ✚ On démarre le chronomètre lorsque l'objet franchit le repère amont et on arrête le chronomètre lorsqu'il franchit le repère aval ;
- ✚ Pour obtenir une meilleure mesure, nous répétons la mesure au moins 3 fois et utilisons la moyenne en additionnant les trois mesures et en divisant ce nombre par 3.

II.8.2.3. Mesure de la section mouillée (Sm):

Pour obtenir une mesure de la section mouillée du canal, on mesure simplement la largeur du canal, puis on effectue 4 lectures de profondeur ou plus sur toute la largeur. Essayant de prendre ces lectures de profondeur par 1 mètre d'intervalle (selon la largeur du canal).

Après avoir pris les lectures de profondeur, on ajoute simplement les profondeurs et on divise ce nombre par le nombre de lectures de profondeur qu'on a mesurées.

$$S_m = H_m \times L_m \dots \dots \dots (II.5)$$

H_m : La profondeur moyenne (m) ;

L : la largeur au miroir moyenne (m).

II.9. Mesure du débit au niveau de l'amont du tronçon d'étude :

II.9.1. La méthode de Le jaugeage au flotteur :

✚ Coordonnées de la station de mesure :

➤ A l'amont du tronçon de mesure :

Longitude : $6^{\circ} 4.218'E$ / Latitude : $33^{\circ} 29.750'N$

- La largeur de tronçon = **5.9 m**

➤ A l'aval de tronçon de mesure :

- La largeur de tronçon = **6.1 m**

Donc la largeur moyen de tronçon = **6 m**

Sachant que la distance (**d**) de tronçon pour mesure la vitesse = **20 m**

Tableau II.4 : Résultats de la mesure de la section mouillée à l'amont :

point	Profondeur (H) en [m]	La distance (d) sur le plan de La largeur superficielle de la surface libre [m]	section mouillée à l'amont [m ²] $S_m = H_m \times L$
1 ^{er}	0.14	0.25	3.54
2 ^{ème}	1.13	2.25	
3 ^{ème}	0.98	4.25	
4 ^{ème}	0.15	5.65	



Figure II.9. Schéma de mesure profondeur et largeur à l'amont

Tableau II.5 : Résultats des mesures de la section mouillée à l'aval :

point	Profondeur (H) en [m]	La distance (L) sur le plan de La largeur superficielle de la surface libre [m]	section mouillée à l'amont [m ²] $S_m = H_m \times L$
1 ^{er}	0.16	0.25	3.68
2 ^{ème}	1.06	2.25	
3 ^{ème}	1.05	4.25	
4 ^{ème}	0.14	5.85	

**Figure II.9.** Schéma de mesure profondeur et largeur a l'aval**Tableau II.6 :** Résultats des mesures de la section mouillée moyenne pour le tronçon de mesure :

point	Profondeur (H) en [m]	La distance (d) sur le plan de la largeur au miroir [m]	section mouillée à l'amont $S_{Mm} = H_m \times L_m$ [m ²]
1 ^{er}	0.15	0.25	3.62
2 ^{ème}	1.10	2.25	
3 ^{ème}	1.02	4.25	
4 ^{ème}	0.145	6.00	

- Calcul de la section mouillée :

$$H_m = 0.604 \text{ m}$$

$$L_m = 6 \text{ m}$$

$$S_{Mm} = H_m \times L_m$$

$$S_{Mm} = 3.62 \text{ m}^2$$

Tableau II.7 : Résultats du calcul de la vitesse de la surface (Vs)

essais	Distance [m]	Temps [s]	Vitesse [m/s]
1 ^{er}	20	20.41	0.98
2 ^{ème}	20	21.07	0.94
3 ^{ème}	20	20.3	0.99

- ✚ Calcul de la vitesse moyenne de la surface VMS :

$$VMS = 0.97 \text{ (m/s)}$$

- ✚ Calcul de la vitesse moyenne de la section :

$$V_m = VMS \times k \dots \dots \dots (II.6)$$

On prend (k = 0.9) :

$$V_m = 0.873 \text{ (m/s)}$$

- Calcul du débit de la section :

Donc le débit égale :

$$Q = V_m \times S_{Mm}$$

$$Q = 3.16 \text{ m}^3/\text{s}$$

II.10. Conclusion :

A travers les données (Tableau II.3) que nous avons obtenues de l'ANRH pour les valeurs de débit au niveau du canal collecteur de Oued Righ, on remarque que le débit augmente vers le nord.

Quant à la partie de notre étude, nous remarquons une augmentation significative du débit par rapport à la dernière fois que le débit a été mesuré par l'A.N.R.H en utilisant la méthode de jaugeage au moulinet, qui remonte à 2017 (**2.671 m³/s**) (voir le tableau II.2).

Considérant que les deux méthodes de mesure du débit (jaugeage au moulinet et au flotteur) sont complètement différentes.

ETUDE HYDRAULIQUE SANS

AMENAGEMENT

III.1. Introduction:

Dans ce chapitre nous allons faire l'étude hydraulique de tronçon du ($L= 2956$ m) canal collecteur dans la commune de Sidi Amrane à l'état initial et cela pour déterminer la section d'aménagement à adopter en prenant des dimensions suffisantes pour évacuer le débit d'eau mesure dans l'étude hydrométrique, elle se fait en deux phases principales :

- ✚ détermination du niveau des plus hautes eaux (PFE) sans la présence de l'aménagement afin de déterminer l'influence directe de ce niveau sur la cote à donner à l'aménagement ;
- ✚ Estimation de l'effet de l'aménagement sur l'écoulement, traité dans la deuxième partie.

III.2. Généralités sur les écoulements à surface libre :

Les écoulements à surface libre sont caractérisés par l'existence d'une surface de séparation entre l'air et l'eau, appelée "surface libre". Cette dernière est soumise à la pression atmosphérique.

III.2.1. Les canaux :

On appelle un canal un système de transport dans lequel l'eau s'écoule et dont la surface libre est soumise à la pression atmosphérique.

III.2.1.1. Types de canaux :

On distingue deux catégories de canaux :

- ✚ Les canaux naturels;
- ✚ Les canaux artificiels.

➤ *Les canaux naturels*

Sont des cours d'eaux existant naturellement sur ou sous terre, tels que, les ruisselets, torrents, rivières et les fleuves...etc, 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.

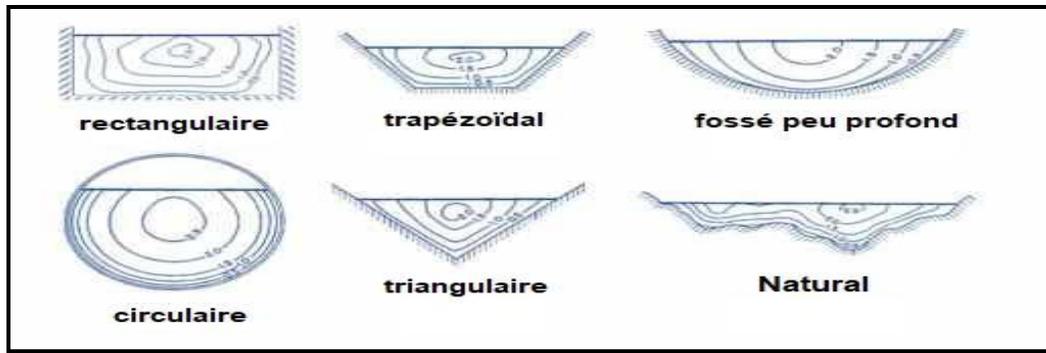


Figure III.1 : Types de canaux.

III.2.1.2. Propriétés géométriques et hydrauliques des canaux : [TOUMI ABDELOUAHEB]

Les propriétés géométriques et hydrauliques des canaux naturels sont irrégulières et l'application des théories hydrauliques donne des résultats approximatifs. Par ailleurs, les propriétés hydrauliques des canaux artificiels sont généralement assez régulières. L'application des théories hydrauliques sur ces derniers donne souvent des résultats réalistes.

Les éléments géométriques d'une section liquide en hydraulique à surface libre Ils sont définis sur le schéma de la figure suivante :

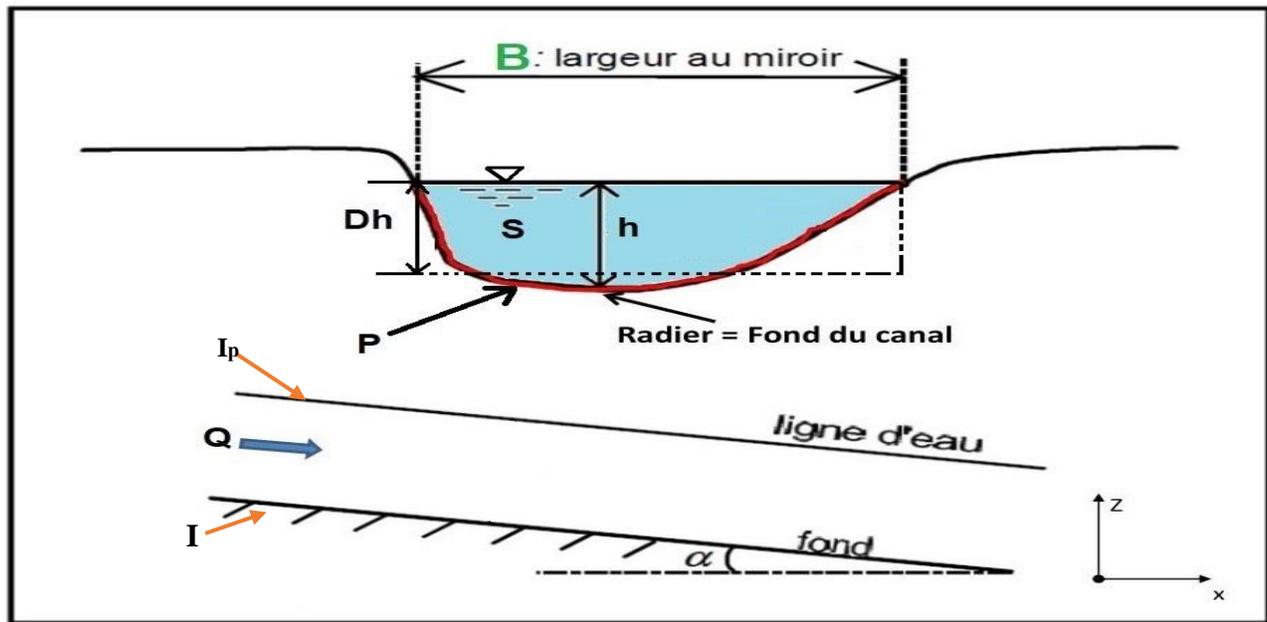


Figure III.2 : Propriétés géométriques d'un canal naturel à section transversale irrégulière

- ✚ **La largeur au la largeur au miroir (B)** : c'est la distance qui sépare la rive droite de la rive gauche normalement à la direction de l'écoulement.

✚ **La profondeur d'eau (h)** : c'est la profondeur du point le plus bas de la section transversale.

✚ **le périmètre mouillé (P)** : est formé par la longueur de la ligne de contact entre la surface mouillée et les parois de la section (la largeur de la surface libre n'entre pas en compte).

✚ **La section mouillée (S)** : est la portion de la section occupée par le fluide dans la section du canal.

✚ **Le rayon hydraulique (R_h)** : c'est le rapport entre la section mouillée et le périmètre mouillé

$$R_h = \frac{S}{P} \dots\dots\dots(III.1)$$

✚ **La profondeur hydraulique, (Dh)**, est donné par :

$$Dh = \frac{S}{B} \dots\dots\dots(III.2)$$

✚ **La pente géométrique (I)** : Elle est définie comme étant le rapport entre la différence de côtes de deux sections et la distance horizontale.

$$I = \frac{-\delta Z}{\delta X} \dots\dots\dots(III.3)$$

✚ **La pente piézométrique (Ip)** : Elle est définie comme étant le rapport entre la différence de la profondeur d'eau de sections et la distance horizontale qui les sépare.

$$I_p = \frac{h_1 - h_2}{L} = \frac{dh}{dL} \dots\dots\dots(III.4)$$

La pente de frottement (If) :

$$I_f = - \frac{\delta H}{\delta X} \dots\dots\dots(III.5)$$

La figure suivante donne les formules des éléments géométriques pour cinq différents types de section de canaux. Certains cours d'eau naturels ont une forme géométrique assez irrégulière, mais peuvent toutefois être approximés par des sections trapézoïdales ou paraboliques.

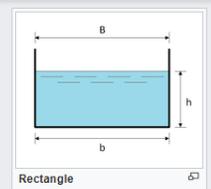
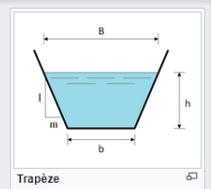
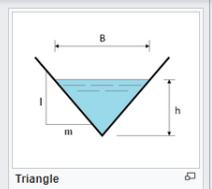
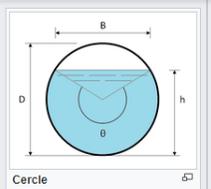
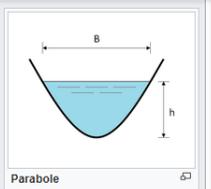
					
Largeur, B	b	$b + 2 \times mh$	$2 \times mh$	$(\sin \frac{\theta}{2}) \cdot D$ ou $2\sqrt{h \cdot (D - h)}$	$\frac{3}{2} \frac{S}{h}$
Surface, S	$b \times h$	$(b + mh) \cdot h$	$m \times h^2$	$\frac{1}{8}(\theta - \sin \theta) \cdot D^2$	$\frac{2}{3} Bh$
Périmètre mouillé, P	$b + 2h$	$b + 2 \cdot h \cdot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

Figure III.3 : éléments géométriques pour cinq différents types de section.

III.2.1.3. L'écoulement dans les canaux :

Les écoulements dans les canaux naturels (rivières...etc) et artificiels (irrigation, assainissement...etc) sont, dans la plupart des cas, des écoulements à surface libre. La surface libre est l'interface entre l'air et l'eau. La pression y est égale le plus souvent à la pression atmosphérique. L'écoulement à surface libre est dû à la différence de charge entre deux sections.

III.2.1.4. Type D'écoulement dans les canaux :

On peut définir les écoulements suivants la variabilité des caractéristiques hydrauliques tels que le tirant d'eau et la vitesse en fonction du temps et de l'espace.

A. Variabilité dans le temps :

- ✚ **L'écoulement permanent** : si les vitesses moyennes et ponctuelles (V et U) ainsi que les profondeur h ou D_h restent invariables dans le temps en tout point dans l'espace dans toutes les directions, par conséquent le débit est constant entre les divers sections du canal (sans apport latéral).
- ✚ **L'écoulement non permanent** : si la profondeur d'eau (D_h) ainsi que les autres paramètres (V et U) varient avec le temps et par conséquent le débit n'est pas constant.

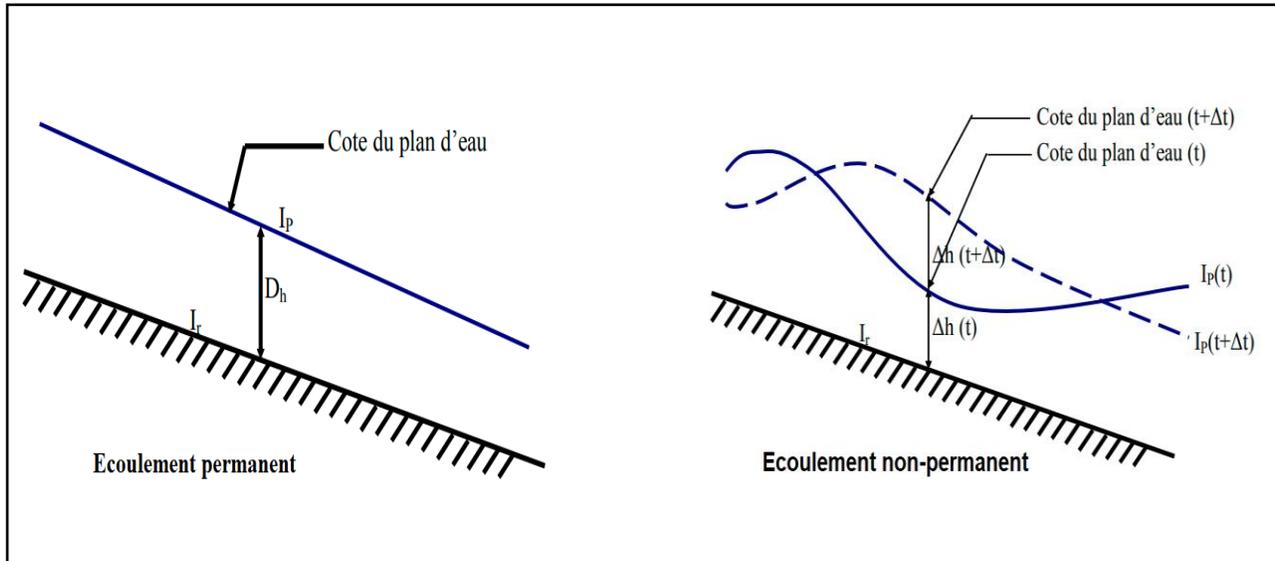


Figure III.4 : Schéma des écoulements permanents et non permanents.

B. Variabilité dans l'espace :

- Le mouvement est **uniforme** si les paramètres caractérisant l'écoulement restent invariables dans les diverses sections du canal. La ligne de la pente du fond est donc parallèle à la ligne de la surface libre.
- Le mouvement est **non-uniforme** ou varié si les paramètres caractérisant l'écoulement changent d'une section à l'autre. La pente de la surface libre diffère de celle du fond, $I \neq I_p$.

Un écoulement **non-uniforme** peut être accéléré ($\frac{du}{dx} > 0$) ou décéléré ($\frac{du}{dx} < 0$) suivant que la vitesse croît ou décroît dans le sens du mouvement.

- Lorsque le mouvement est **graduellement varié**, la profondeur ainsi que les autres paramètres varient lentement d'une section à l'autre.
- Lorsque le mouvement est **rapidement varié**, les paramètres caractérisant l'écoulement changent brusquement, parfois avec des discontinuités. Cela se manifeste en général au voisinage d'une singularité, telle qu'un seuil, un rétrécissement, un ressaut hydraulique ou une chute brusque.

C. Régime D'écoulement :

L'écoulement d'un fluide réel dans un canal à surface libre est soumis aux forces suivantes :

- ✚ Forces d'inertie ;
- ✚ Forces de gravité ;
- ✚ Forces de frottement (viscosité et rugosité) ;
- ✚ Force de pression.

Les équations réduites de mouvement font intervenir des coefficients ou nombres adimensionnels suivants :

✚ Le nombre de Froude :

Qui est le rapport entre les forces de gravité et celles d’inertie,

Cette formule est exprimé par :

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \times D_h}} \dots\dots\dots (III.5)$$

Ou :

V : représente la vitesse d’écoulement (m/s) ;

g : l’accélération de la pesanteur ;

D_h : La profondeur hydraulique (m).

Remarque :

Fr > 1 régime torrentiel. (Supercritique)

Fr < 1 régime fluvial. (subcritique)

Fr = 1 régime critique.

✚ Formule de Chézy :

Pour l’écoulement à surface libre et dans le cas du régime uniforme la vitesse moyenne d’écoulement est donnée par :

$$V = C \cdot \sqrt{R_h \times I} \dots\dots\dots (III.6)$$

Où :

C : le coefficient de résistance selon Chézy ($m^{1/2}/s$) ;

R_h : Rayon hydraulique (m) ;

I : Le gradient hydraulique ou la perte de charge par unité de longueur ; dans le cas de l’écoulement uniforme I = la pente du radier (du fond) du canal.

✚ Formule de Manning-Strickler :

C’est une formule expérimentale simple.

Pour le débit :

$$Q = S_m \times K_s \times R_h^{2/3} \times \sqrt{I} \dots\dots\dots (III.7)$$

Avec

S_m : Section mouillée (m^2) ;

K_s : coefficient de Strickler ($m^{1/3}.s^{-1}$) ;

R_h : Rayon hydraulique (m) ;

I : pente du tronçon de cours d'eau (pente du fond).

Tableau (III-1) : Valeurs estimées pour le coefficient de Manning Strickler en fonction de la nature des Parois. [web site: hmf.enseeih.fr]

Nature des parois	n (Manning) (s /m ^{1/3})	K (Strickler) (m ^{1/3} /s)
Béton lisse	0.011 à 0.013	77 à 91
Béton brut	0.013 à 0.016	62 à 77
Canal en terre, non enherbé	0.017	60
Canal en terre, enherbé	0.02	50
Rivière de plaine, sans végétation arbustive	0.025 à 0.029	35 à 40
Rivière de plaine, large, végétation peu dense	0.033	30
Rivière à berges étroites très végétalisées	0.067 à 0.1	10 à 15
Lit majeur en prairie	0.033 à 0.05	20 à 30
Lit majeur en vigne ou taillis	0.067 à 0.1	10 à 15
Lit majeur urbanisé	0.067 à 0.1	10 à 15
Lit majeur en forêt	>0.1	<10

Sachant que $K = \frac{1}{n}$

III.3. Methodology de simulation avec HEC-RAS:

III.3.1. Présentation du logiciel HEC-RAS : [12]

Le modèle HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center River Analysis System) est un modèle unidimensionnel et/ou bidimensionnel développé par l'US Corps of Engineers (version 6.0).il permet de faire des simulations hydrauliques en régime permanent et non permanent d'un cours d'eau en prenant en compte les effets de ponts et des seuils.

Il consiste en général à déterminer la hauteur d'eau dans la rivière à chaque débit entrant et aussi quelque, variable caractéristique d'un écoulement (subcritique, supercritique et critique), comme la charge et la vitesse de l'eau.

Le modèle hydraulique HEC-RAS contient dans sa géométrie des profils en travers des cours d'eau et des profils des ouvrages. Les profils en long sont calculés à l'altitude de profils en travers du thalweg, les profils en travers sont perpendiculaires au sens de l'écoulement et présentent des coordonnées et des altitudes topographiques. Ce logiciel est capable de modéliser des ouvrages hydrauliques tels que les ponceaux, les déversoirs, les digues, les évacuateurs de crue et les ponts qui se trouvent dans un tronçon du cours d'eau. Il permet de réaliser des sections transversales avec un coefficient de Manning variable, de différencier les zones actives et non actives dans un canal et de créer des sections transversales interpolées.

III.3.2. Théorie de base de calcul du modèle HEC-RAS pour l'écoulement permanent:

Le modèle HEC-RAS est capable d'exécuter des calculs unidimensionnels et/ou bidimensionnels de profil de la surface de l'eau pour l'écoulement permanent graduellement varié dans des canaux naturels et artificiels. Les profils de la surface de l'eau en régime d'écoulement sous critique (fluvial), supercritique (torrentiel), et mixte peuvent être calculés.

III.3.3. Équations de base entre deux sections :

Le logiciel HEC-RAS utilise les équations de Saint-Venant 1D ("shallow water equations" en anglais) pour relier les hauteurs d'eau et les débits. Ces équations se déduisent des équations de Navier-Stokes grâce à des simplifications liées au modèle de la rivière. La ligne d'eau est calculée d'une section à une autre en résolvant l'équation de l'énergie par une méthode itérative. Elle est obtenue à partir de l'équation de quantité de mouvement, et représente la conservation de la charge hydraulique de Bernoulli. L'équation résolue est la suivante :

$$H_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 \times V_1^2}{2 \times g} = H_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 \times V_2^2}{2 \times g} + \Delta H \dots\dots\dots (III.8)$$

H1, H2 : Profondeurs de l'eau au niveau des sections ;

Z1, Z2 : Côte du canal principal ;

V1, V2 : Vitesses moyennes (débit total /surface totale d'écoulement) ;

α_1, α_2 : Coefficients de pondération de vitesse ;

g : accélération de la gravité ;

ΔH : perte de charge.

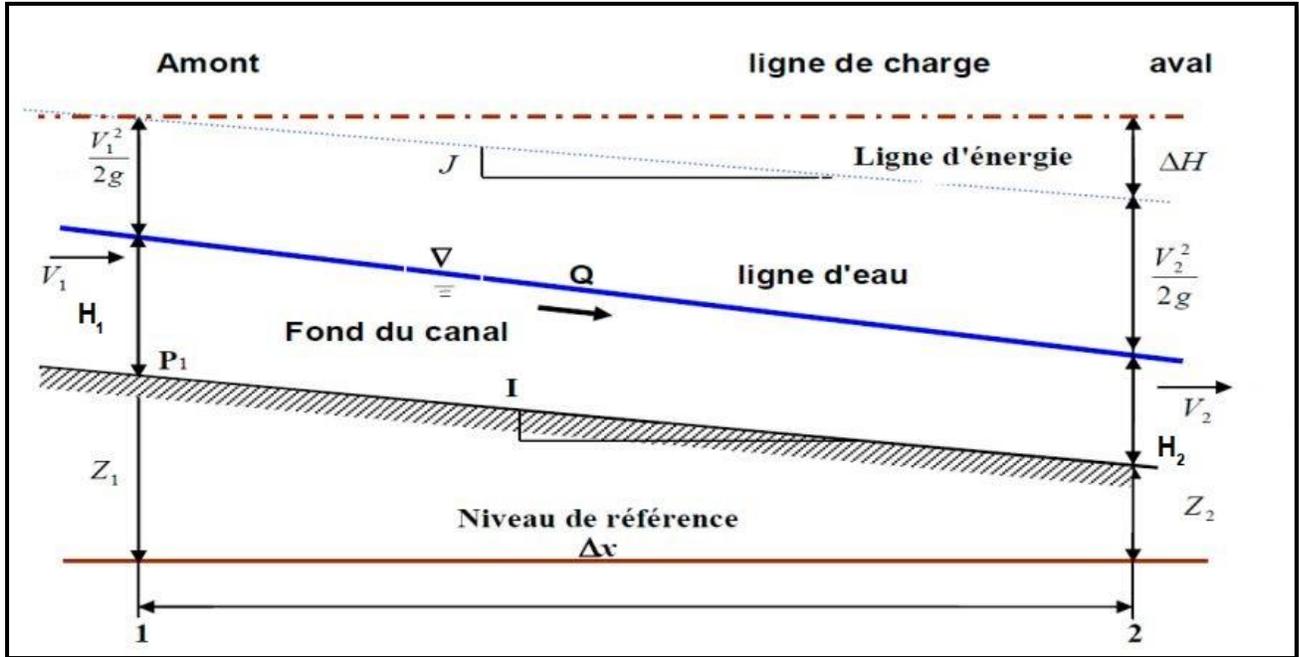


Figure III.5 : Conservation de la charge entre deux sections.

La perte totale d'énergie (ΔH) entre deux sections est composée des pertes par frottement et des pertes de contraction ou d'expansion. L'équation pour la perte totale d'énergie est comme suit:

$$\Delta H = L \times S_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \dots \dots \dots (III.9)$$

Avec :

L : longueur de la distance entre deux sections ;

S_f : Pertes de charges entre les deux sections;

C : coefficient de perte d'expansion ou de contraction.

III.3.4. Subdivision d'une section en travers pour le calcul du débit :

La détermination du transport total et du coefficient de vitesse pour une section de calcul exige que l'écoulement soit subdivisé en unités pour lesquelles la vitesse est uniformément distribuée.

L'approche utilisée dans HEC-RAS est de subdiviser l'écoulement dans les surfaces des rives en utilisant les points d'arrêt des valeurs de la rugosité n comme base de la subdivision (endroits où est observé le changement des valeurs du coefficient de rugosité n) comme le montre (Figure III.6). Le flux est calculé dans chaque subdivision sous la forme suivante en fonction de n (Equation de Manning) :

$$Q = K \times I^{1/2} \dots \dots \dots (III.11)$$

Avec:

$$K = \frac{1}{n} \times S \times R_h^{2/3} \dots\dots\dots (III.12)$$

K : flux pour la subdivision ;

n : coefficient de rugosité de Manning pour une subdivision ;

S : surface d'écoulement pour une subdivision (m²) ;

R_h: Rayon hydraulique pour une subdivision (surface mouillée/périmètre mouillé). (m)

Le programme cumule tous les débits dans les rives pour obtenir un flux pour la rive gauche et la rive droite. Le débit total d'une section de calcul est obtenu en additionnant les trois débits des trois subdivisions (gauche, canal, droite).

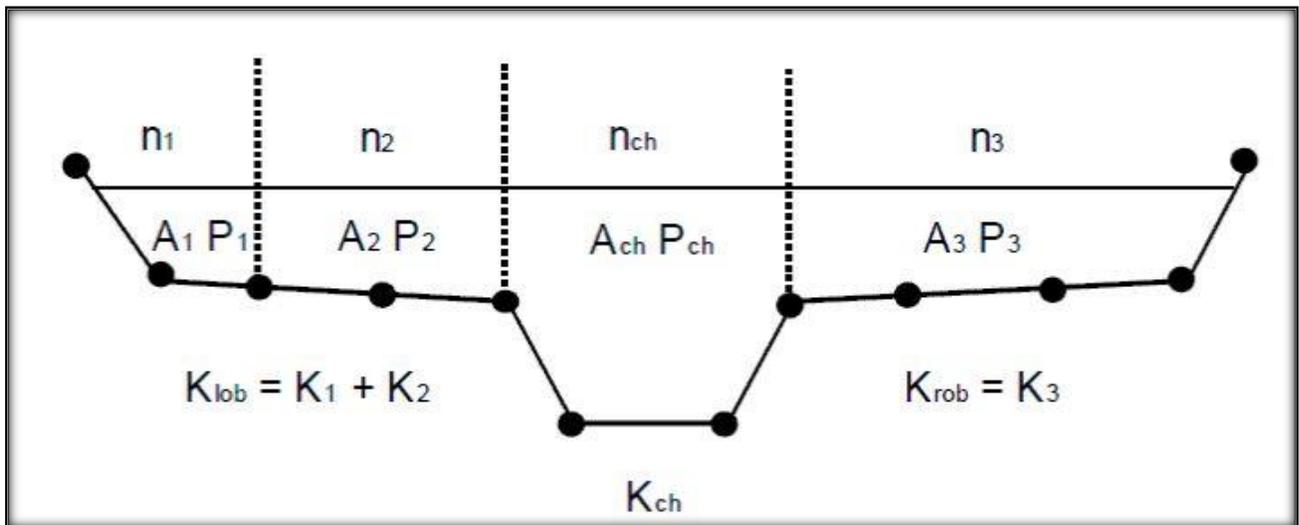


Figure III.6 : Méthode de subdivision du débit par le modèle HEC-RAS.

III.3.5. Banque de données nécessaires à l'application du modèle HEC-RAS :

L'application du modèle HEC-RAS nécessite une banque de données concernant le site étudié :

A. Les données géométriques relatives à chaque section :

- ✚ la section en travers, définie par une série de couples distance-altitude (x-y) ;
- ✚ la distance à la section en travers suivante (Rives gauche et droite et, axe du canal) ;
- ✚ les coefficients de rugosité ;
- ✚ les coordonnées dans le plan x, des limites gauche et droite du lit principal (Channel) de la rivière ;
- ✚ les coefficients de contraction et d'expansion.

B. Les données de l'écoulement et les conditions aux limites.

III.4. Application de HEC-RAS :

III.4.1. A l'état Naturel :

L'application du modèle HEC-RAS est basée sur la subdivision du réseau ramifié ou maillé en plusieurs sections perpendiculaires à l'écoulement.

L'application du modèle HEC-RAS a été faite sur un tronçon réel décrit par un levé topographique de la zone de shott à Sidi Amrane, Les sections géométriques introduites dans le modèle HEC-RAS sont extraites du logiciel AUTO-CAD CIVIL 3D.

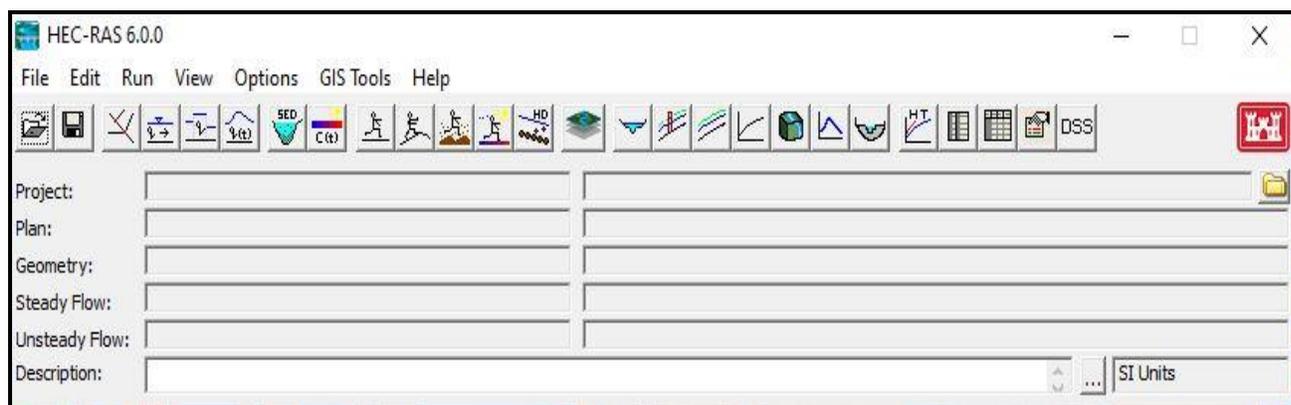


Figure III.7 : fenêtre principale de HEC-RAS (version 6.0).

III.4.1.1. création du maillage :

La réalisation de la géométrie des cours d'eau consiste à implanter des profils en travers représentatifs sur lesquels on calcule la hauteur d'eau et d'autres caractéristiques de l'écoulement. Le maillage du cours d'eau est réalisé à l'aide de logiciel AUTO-CAD CIVIL 3D, Le tronçon du cours d'eau objet d'étude est illustré dans la figure suivante :

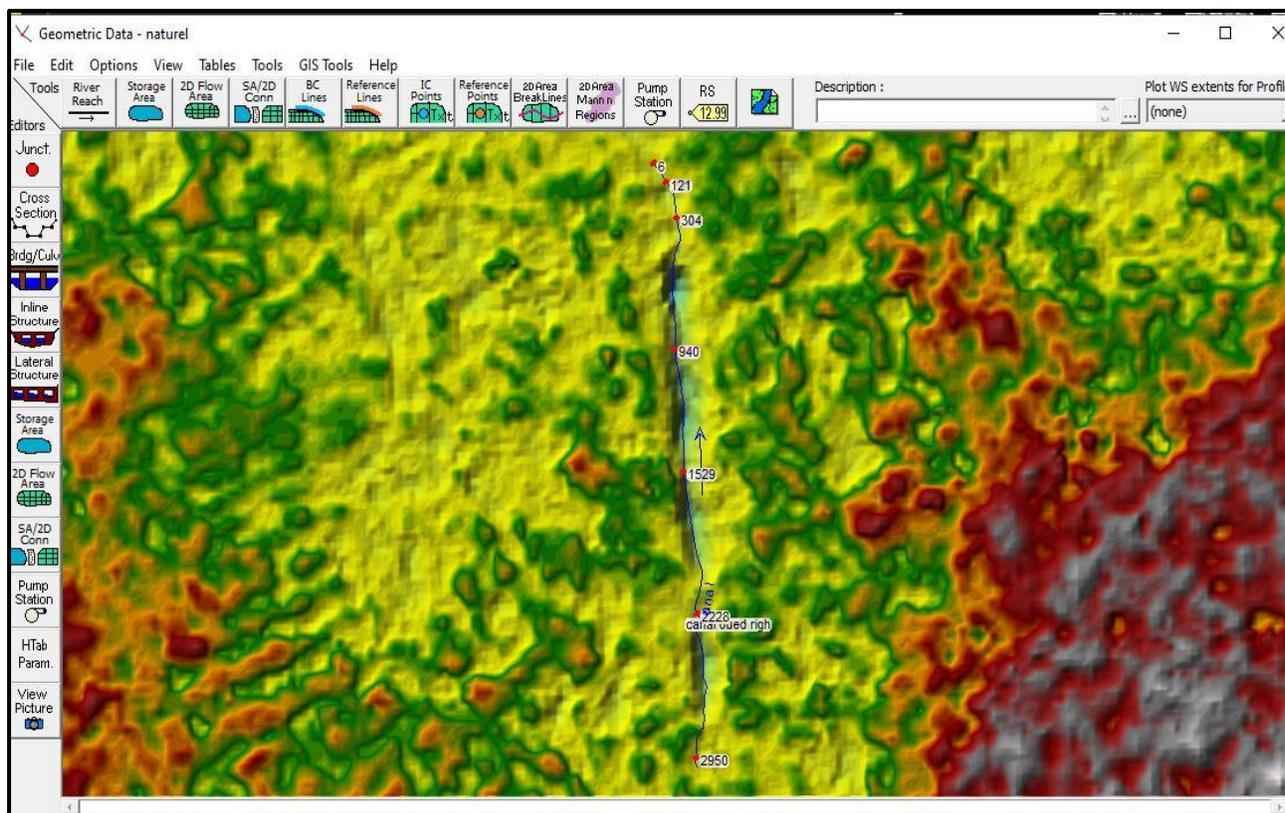


Figure III.8 : Modèle géométrique de tracé du cours d'eau du canal collecteur commune de Sidi Amrane sous-HEC-RAS.

III.4.1.2. Le choix des valeurs de rugosité de Manning :

Les valeurs de la rugosité ou le coefficient de Manning n sont indiqués pour la rive gauche, le canal principal, et la rive droite, ont été donnés selon la nature du canal et le matériau qui constitue les berges du cours d'eau.

Tableau III.2 : Les valeurs de la rugosité du cours d'eau. (Canal Oued Righ)

Berge droite	Lit mineur	Berge gauche
Rivière de plaine, large, végétation peu dense	Canal en terre, non enherbe	Rivière de plaine, large, végétation peu dense
0.033	0.017	0.033

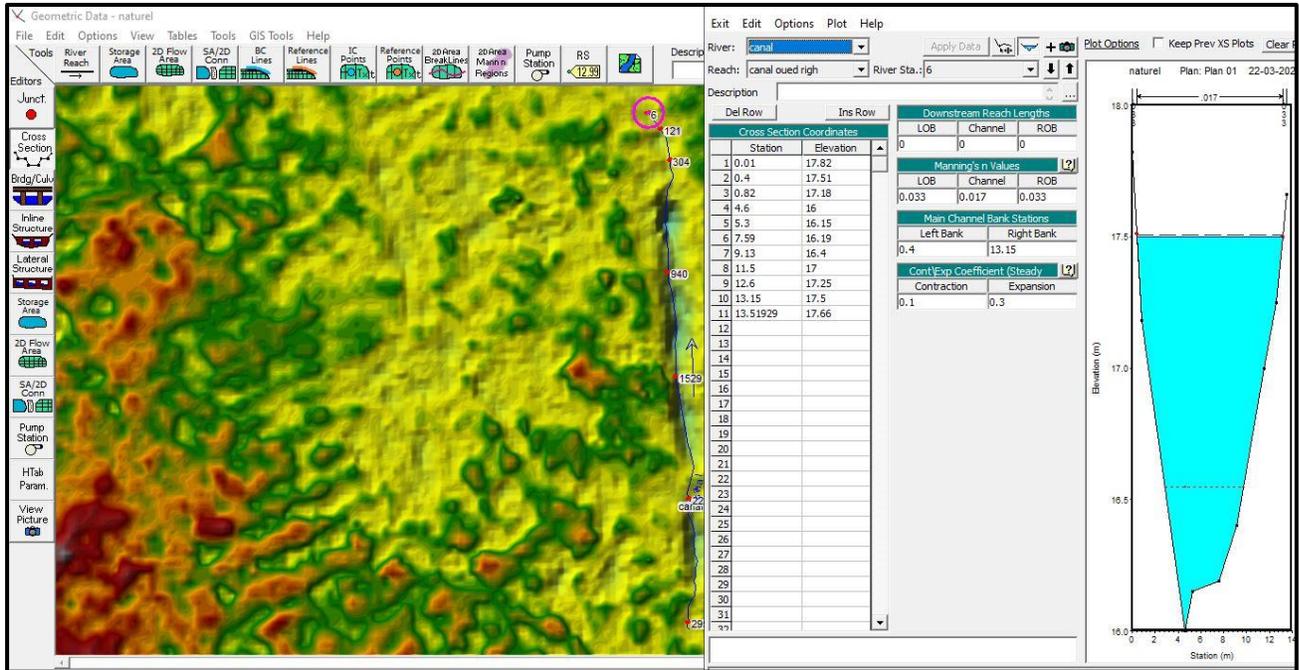


Figure III.9 : Illustration d'un profil en travers sous HEC-RAS de « River station 06 ».

III.4.1.3. Modélisation de l'écoulement :

Nous mettons Hypothèse d'introduire le débit a ($3.16 \text{ m}^3/\text{s}$) et pente a : (0.001) a l'amont

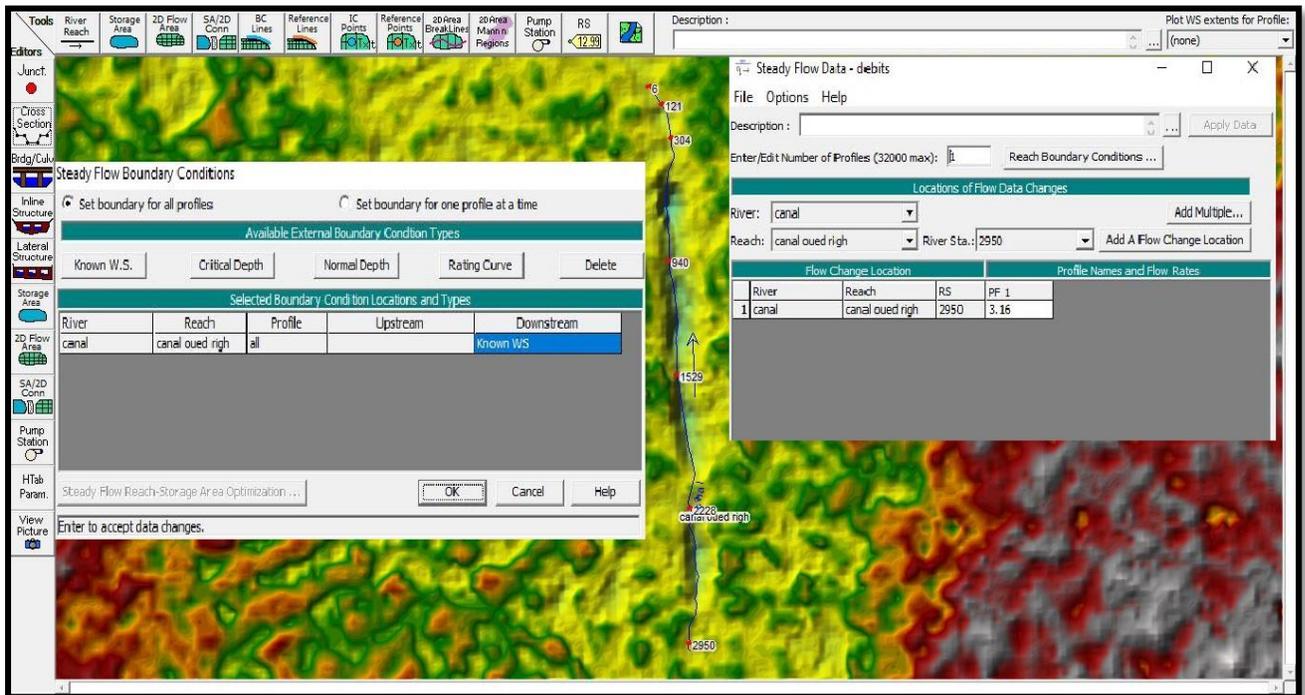


Figure III.10 : Présentation des fenêtres de débit et des conditions aux limites

III.4.1.4. Simulation numérique :

Après avoir défini la géométrie, les données hydrométriques nécessaires à la simulation ainsi, après avoir enregistré tous les fichiers correspondants, on choisit le type de régime supposé subcritical pour notre cas, on passe à l'avant dernière étape qui est la simulation hydraulique.

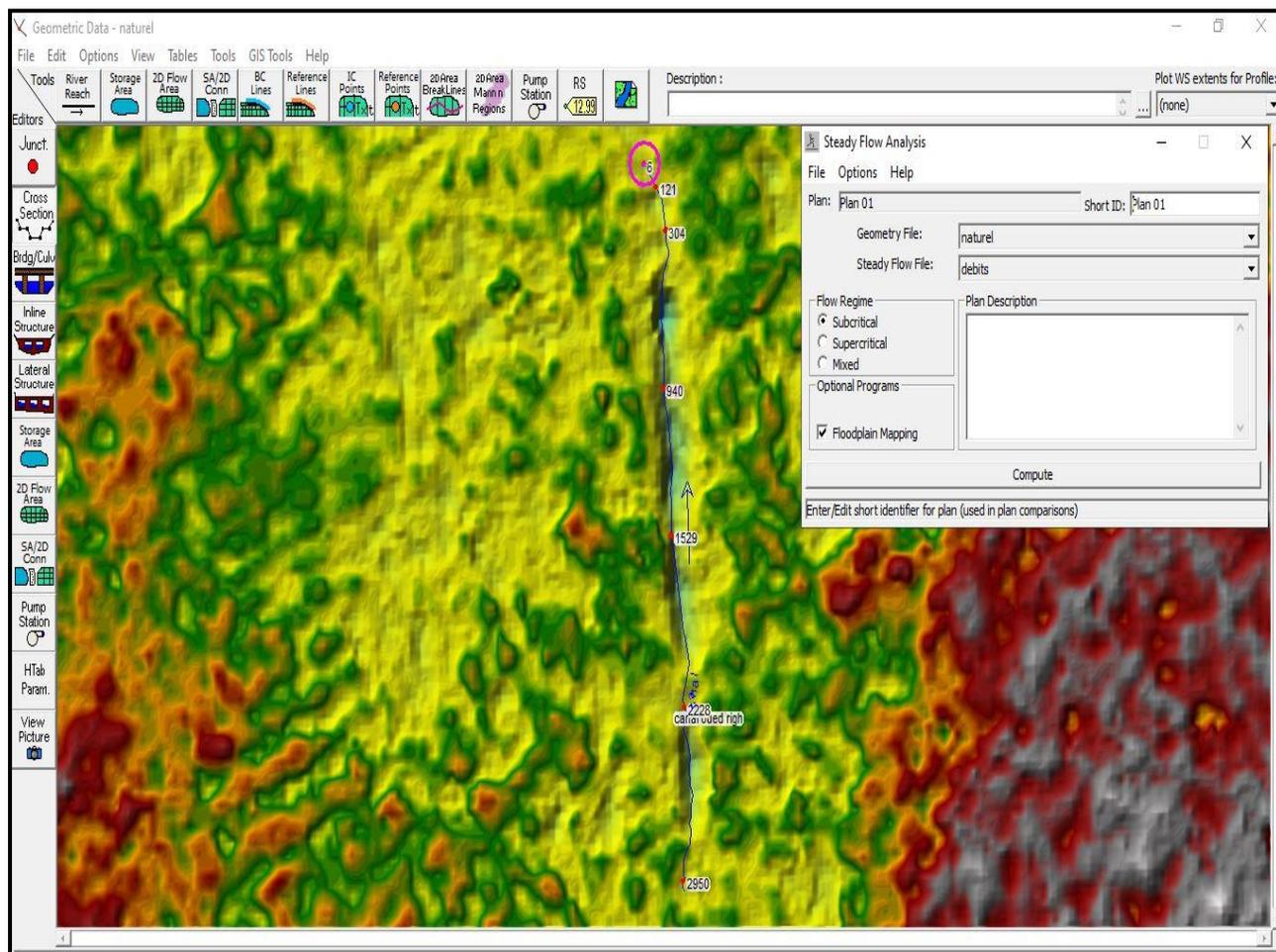


Figure III.11 : Fenêtre de simulation pour l'écoulement permanent, avec un régime subcritical

III.4.2. Résultats de la simulation:

Une fois que le modèle fini tous les calculs avec succès, on peut commencer à visualiser les résultats. Plusieurs options de visualisation des résultats de calcul sont disponibles et on peut visualiser et imprimer plusieurs types de résultats tabulés (Tableaux synoptiques) et graphiques qui sont présentés dans les figures suivantes :

Simulation de débits pour Le long du cours d'eau à l'état naturel :

Tableau III.3 : Résultats de la simulation :

River sta	Q	Min ch	W.S Elev	Crit w.s	E.G Elev	E.G Stlope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude	H Eau
	m ³ /s	m	m	M	m	m/m	m/s	m ²	M	/	m
2950	3.16	19.56	19.94	19.94	20.10	0.003964	1.84	2.06	6.97	0.99	0.30
2228	3.16	18.00	18.89	18.55	18.95	0.000546	1.27	4.22	9.91	0.43	0.43
1529	3.16	17.34	17.93	17.93	18.14	0.003783	2.03	1.67	4.60	0.99	0.36
940	3.16	16.68	17.55	17.40	17.56	0.000069	0.43	9.52	13.88	0.15	0.69
304	3.16	16.30	17.54	17.55	17.54	0.000014	0.24	14.42	14.16	0.07	1.02
121	3.16	16.20	17.52	16.59	17.53	0.000051	0.50	10.06	11.16	0.14	0.90
6	3.16	16.00	17.50	16.55	17.51	0.000041	0.46	11.78	12.75	0.13	0.92

- **River sta** : Station sur la rivière
- **Q (m³/s)** : Débit
- **Min ch (m)** : Cote minimale de la section
- **W.S Elev (m)** : Cote de niveau d'eau
- **Crit w.s (m)** : Cote de niveau d'eau pour un écoulement critique
- **E.G Elev (m)** : Cote d'énergie
- **E.G Stlope (m/m)** : Pente de la ligne d'énergie
- **Vel Chnl (m/s)** : Vitesse de la zone centrale de la section
- **Flow Area (m²)** : Surface hydraulique de la section (surface mouillée)
- **Top Width (m)** : Largeur hydraulique de la section (largeur au miroir)
- **Froude** : Nombre de Froude

Remarque :

On remarque que les vitesses d'écoulements dans le tronçon considéré pour notre étude variées entre 0.24 et 2.03 m/s nonobstant les vitesses supérieures peuvent entrainer une érosion du lit de oued et les berges, la pente est non uniforme.

Les résultats sont illustrés dans les figures suivantes :

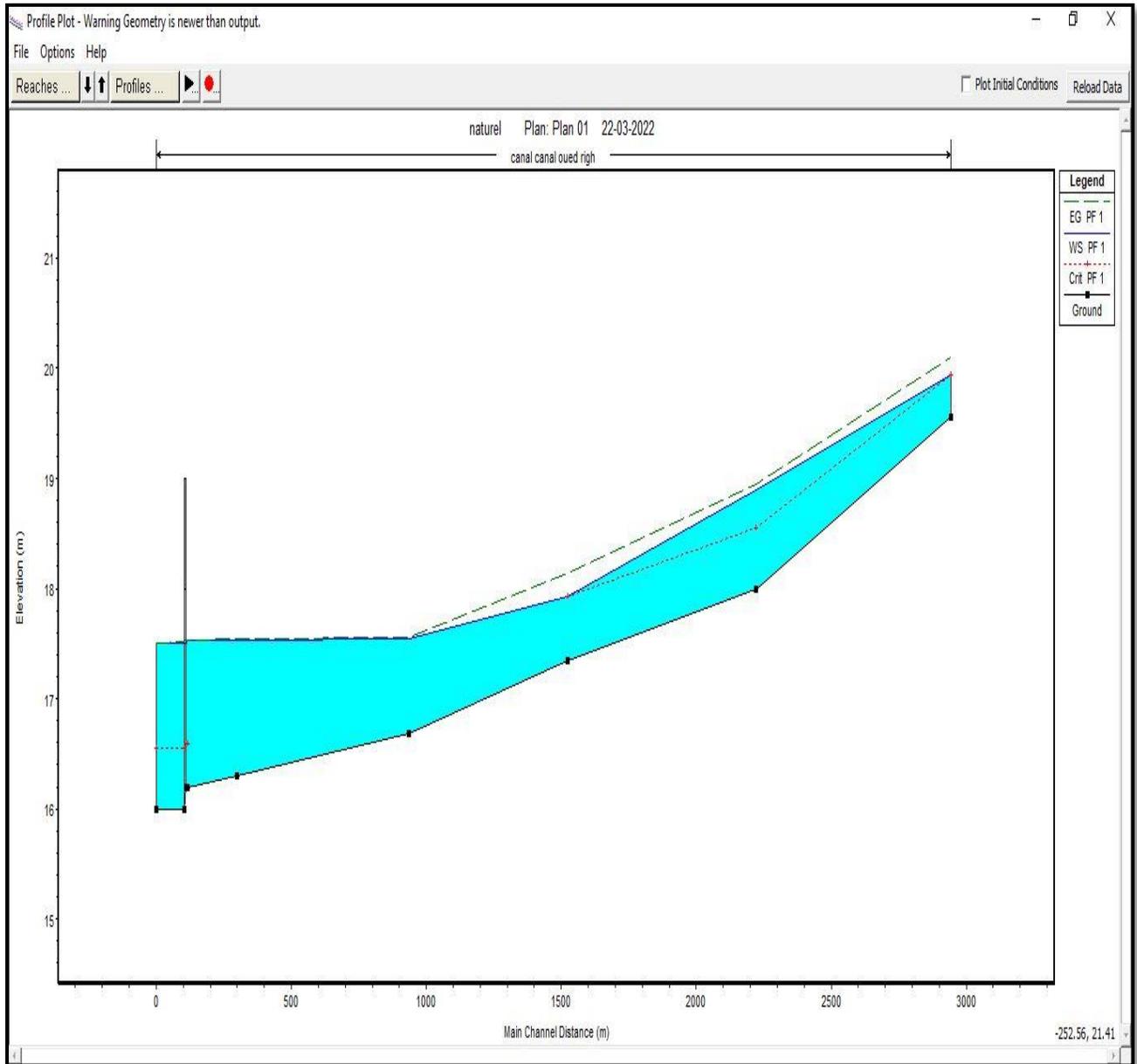
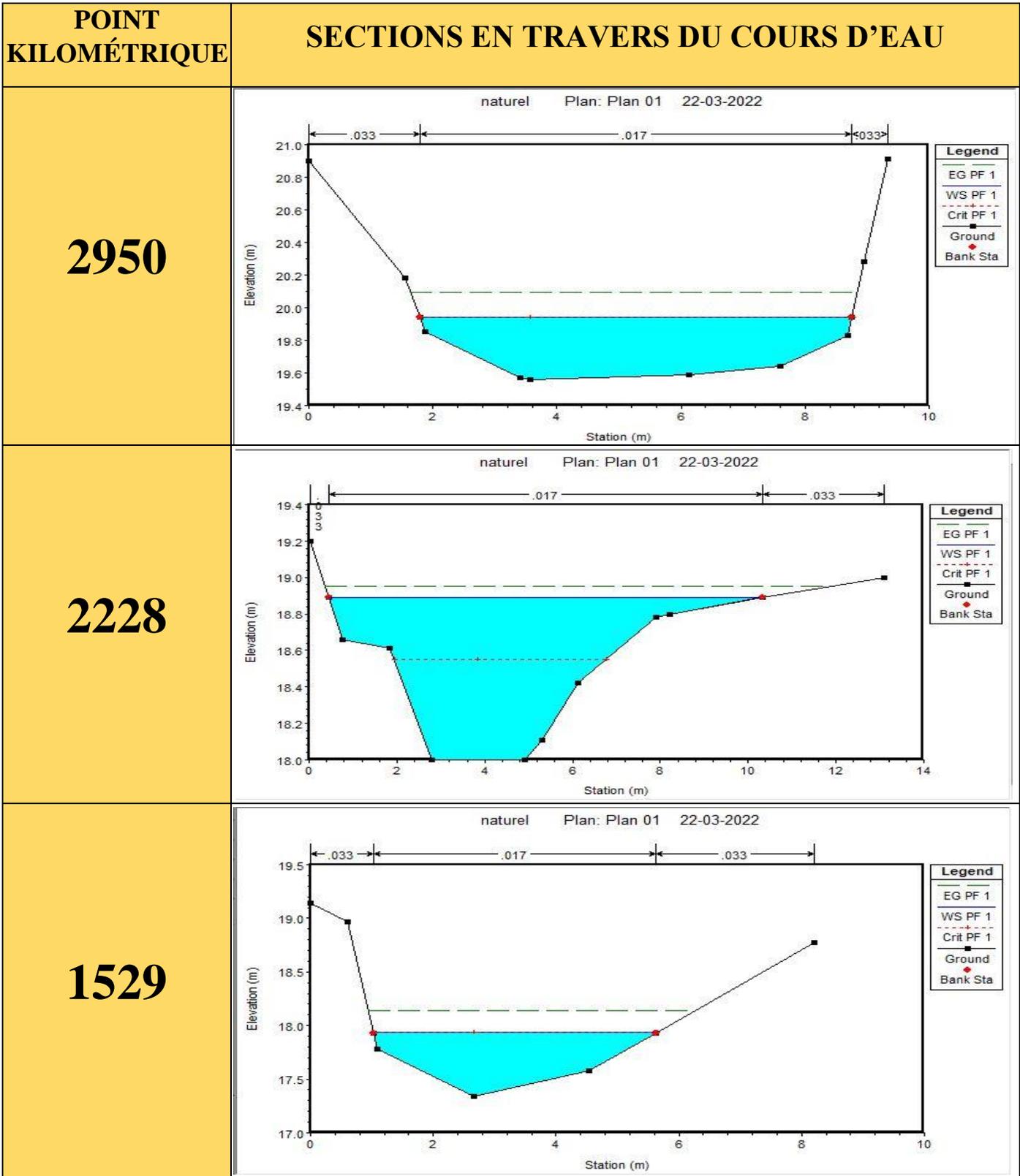
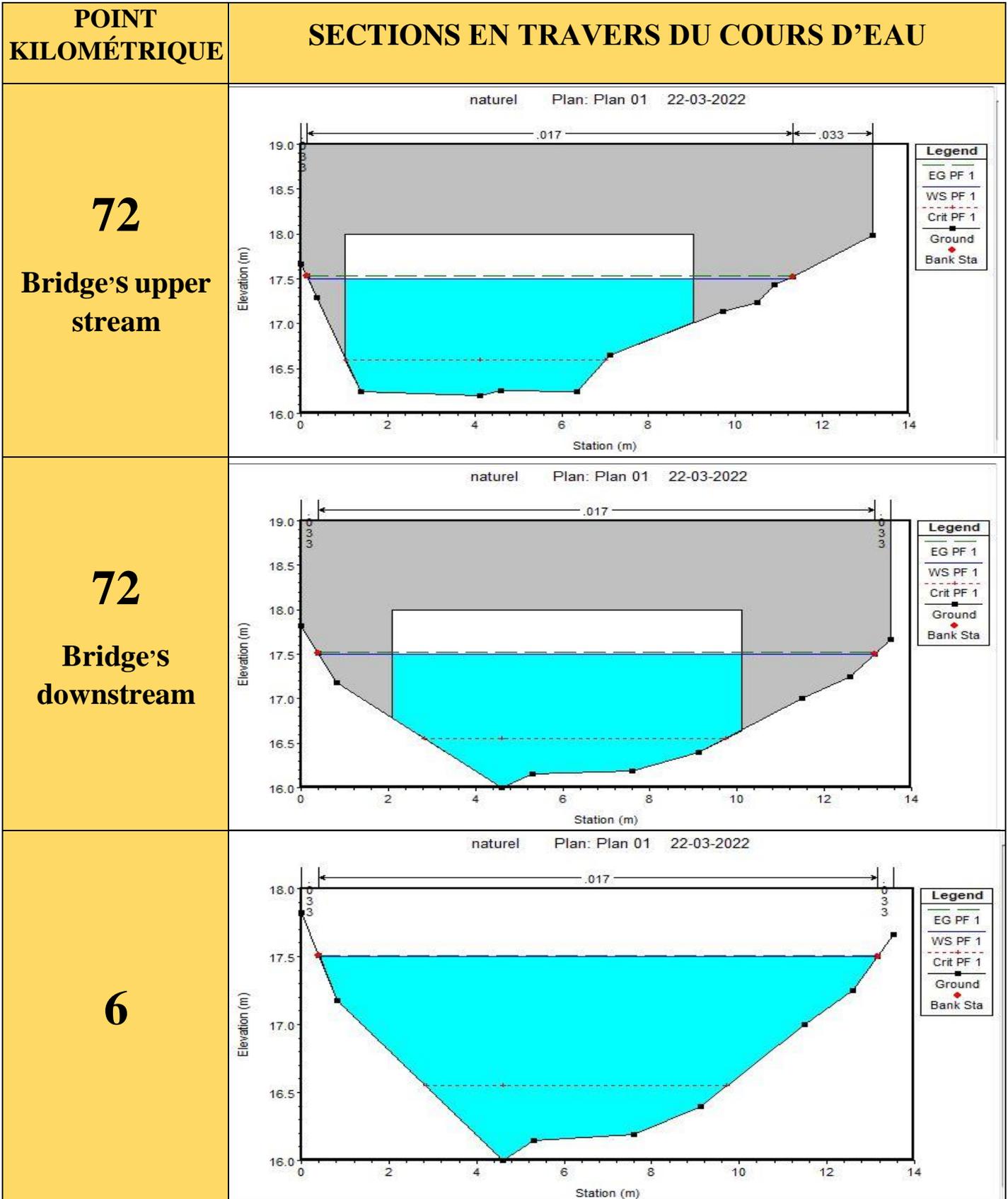


Figure III.12 : Profil en long du cours d'eau à l'état naturel.

ANALYSE : Pour un débit de **3.16 m³/s** subséquent ce qui suit :



POINT KILOMÉTRIQUE	SECTIONS EN TRAVERS DU COURS D'EAU
940	<p style="text-align: center;">naturel Plan: Plan 01 22-03-2022</p> <p style="text-align: center;">Elevation (m)</p> <p style="text-align: center;">Station (m)</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;"> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> EG PF 1 WS PF 1 Ground Bank Sta </div>
304	<p style="text-align: center;">naturel Plan: Plan 01 22-03-2022</p> <p style="text-align: center;">Elevation (m)</p> <p style="text-align: center;">Station (m)</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;"> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> EG PF 1 WS PF 1 Ground Bank Sta </div>
121	<p style="text-align: center;">naturel Plan: Plan 01 22-03-2022</p> <p style="text-align: center;">Elevation (m)</p> <p style="text-align: center;">Station (m)</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;"> <p>Legend</p> <ul style="list-style-type: none"> EG PF 1 WS PF 1 Crit PF 1 Ground Bank Sta </div>



III.5. Conclusion:

La simulation hydraulique que nous avons obtenue grâce à l'utilisation du model HEC-RAS, de l'oued à l'état initial (état actuel sans aménagement) a permis d'identifier les différents niveaux de la ligne d'eau à plusieurs points du lit et de déterminer les différents paramètres hydrauliques à l'état naturel.

Ce chapitre nous a permis de modéliser la géométrie et simuler l'écoulement sur Partie de la vallée objet d'étude, ce que nous avons remarqué qu'il y a des problèmes dans le mouvement du débit d'eau en certains endroits, à ce titre, le prochain chapitre sera consacré à l'étude du dimensionnement du canal qui peut résoudre ce problème.

CHAPITRE IV :
ETUDE HYDRAULIQUE AVEC
AMENAGEMENT

IV.1. Introduction:

Dans ce présent chapitre nous allons simuler la partie de oued objet d'étude après l'aménagement, c.à.d. à son état aménagé tout en fixant les dimensions du canal à projeter, ces dimensions sont choisies sur la base de la simulation hydraulique de oued à l'état initial (sans aménagement) et certaines normes d'écoulement et les conditions naturelles.

IV.2. Proposition d'aménagement:

Sur la base des résultats obtenus à partir des chapitres précédents et, en fonction de l'analyse de notre zone d'étude. Le schéma d'aménagement sera proposés Uniformiser et recalibrer la section d'écoulement par des travaux de terrassement ; nous proposons un canal trapézoïdal à ciel ouvert en terre à tout le long du notre zone d'étude. Ce choix de forme du canal revient à leur faible coût de revient et surtout à sa fiabilité et viabilité en pareil environnement.

- **Avantages d'un canal trapézoïdal :**

- ✚ Assurance d'un profil de meilleure conductivité.
- ✚ Facilité de nettoyages en cas d'obstruction.
- ✚ Simple à réaliser et économique.

IV.3. Calcul des paramètres géométriques :

IV.3.1. Paramètres géométriques d'un canal à section trapézoïdale :

La section la plus avantageuse est la section optimale qui véhicule le débit maximum, où le rayon hydraulique R_h est maximal et la section est minimale.

Par cella notre choix s'est porté sur un canal à section trapézoïdale, dont les caractéristiques géométriques sont résumées dans le Figure et tableau suivants :

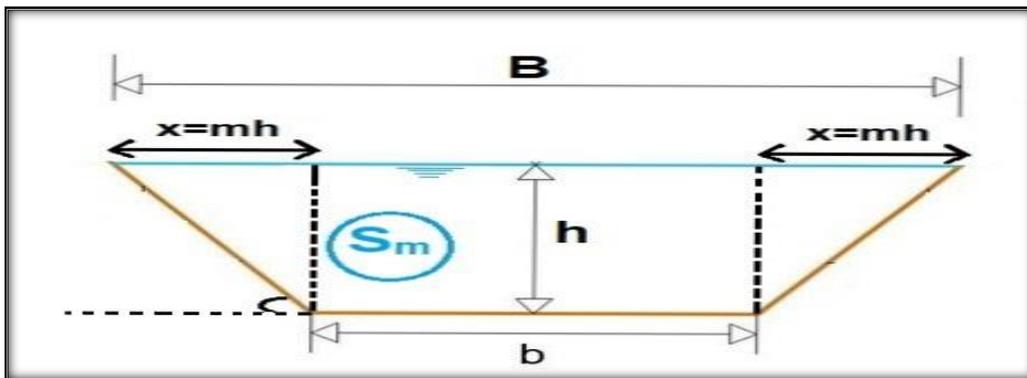


Figure IV .1 : Caractéristique du canal de forme trapézoïdale

Tableau IV.1 : Les caractéristiques géométrique d'un canal à section trapézoïdale.

b	$2h(\sqrt{1+m^2} - m)$	Largeur inferieur du canal
B	$b+2mh$	Largeur au miroir
S_m	$h(b+mh)$	Surface mouillé
P_m	$b+2h\sqrt{1+m^2}$	Périmètre mouillé
R_h	$h(b+mh)$	Rayon hydraulique
m	$\frac{1}{\text{tg}\alpha}$	Fruit du talus

IV.3.2. Équation de Chézy:

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

Chézy a été, en 1768, le premier à présenter une formule pour décrire les écoulements à surface libre et uniforme dans les canaux. Elle est présentée sous la forme suivante :

$$V = C \cdot \sqrt{R_h \cdot I} \dots\dots\dots(\text{IV.1})$$

Avec :

V : La vitesse moyenne (m/s) ;

C : Coefficient de CHEZY (m^{1/2} /s) ;

R_h: Rayon hydraulique (m) ;

I : La pente de fond du canal (m/m)

IV.3.3. Section de débit maximum:

Prenons la formule de débit suivante :

$$Q = V \cdot S = \frac{1}{n} \cdot S \cdot R_h^{2/3} \cdot \sqrt{I} \dots\dots\dots(\text{IV.2})$$

Ou l'on écrira pour $(\sqrt{I}/n) = \text{Cste}$

$$Q = \text{Cste} \times (S^{5/3} \cdot P^{-2/3}) \dots\dots\dots (\text{IV.3})$$

Pour une section mouillé S, restant constante, les expressions montrant que le débit sera maximal, Q → Q_{max}, si le rayon hydraulique est maximal, R_h → R_{hmax} ; donc si le Périmètre mouillé est minimal, P → P_{min}.

On suppose ensuite que dS est nul puisque la surface S , reste constante ; on a :

$$dS = h db + (b + 2mh) dh = 0 \dots \dots \dots (IV.4)$$

Si l'on désire que le périmètre mouillé P , soit minimal, on pose :

$$dP = db + 2\sqrt{1 + m^2} dh = 0 \dots \dots \dots (IV.5)$$

En éliminant db et dh de ces dernières équations, on obtient :

$$b = 2h (\sqrt{1 + m^2} - m) \dots \dots \dots (IV.6)$$

Il suffit de porter cette valeur b , dans les relations pour S et P et l'on tire le rayon hydraulique :

$$R_h = \frac{h}{2} \dots \dots \dots (IV.7)$$

Qui reste indépendant de l'angle de repos.

IV.3.4. Profondeur normale h_n :

La profondeur h_n , est la profondeur d'eau dans un canal de pente J_f , donné, parcouru par un débit Q . Les éléments géométriques de la section qui correspondent à la profondeur normale h_n , sont appelés éléments normaux, tels que R_n , S_n , ou P_n .

Le procédé de calcul consiste à introduire les expressions de la surface mouillée (S_m), le rayon hydraulique (R_h), les valeurs de coefficient de streckler (K_s), et de la pente de fond de canal (J_f) dans l'équation suivante :

$$Q = \frac{1}{n} S . R^{2/3} \sqrt{I} \dots \dots \dots (IV.8)$$

Ensuite, on fixe la valeur de largeur de fond (b), et en fin, on fait varier les valeurs de h et on aura des valeurs de débits (Q), la valeur de h_n est obtenue quand le débit trouvé égal au débit max ($Q = Q_{max}$).

IV.3.5. Profondeur critique h_c :

La hauteur critique étant définie comme étant $Fr (h_c) = 1$, on tire que :

$$h_c = \left(\frac{Q^2}{g B^2 . \cos(\theta)} \right)^{1/3} \dots \dots \dots (IV.9)$$

Avec Q le débit total et B la largeur au miroir. Dans le cas d'un canal rectangulaire, en introduisant le débit par unité de largeur $q = Q/B$, on tire :

$$h_c = \left(\frac{q^2}{g . \cos(\theta)} \right)^{1/3} \dots \dots \dots (IV.10)$$

Dans la plupart des ouvrages, le terme $\cos(\theta)$ est omis car la pente est faible et donc $\cos(\theta) = 1$.
Alors :

$$h_c = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{1/3} \dots\dots\dots(IV.11)$$

IV.3.6. La pente critique Ic:

La pente critique pour un débit donné est celle pour laquelle ce débit s’écoule en régime critique et uniforme, elle est donnée par :

$$I_c = \frac{Q^2}{C^2 .S^2.R_h} \dots\dots\dots (IV.12)$$

IV.3.7 Calcul de la ligne d’eau:

IV.3.7.1. Equation de la ligne d’eau:

Le calcul des profils de la ligne d’eau est obtenu à l’aide de l’équation de la continuité et de l’équation de la conservation de l’énergie. Supposons connu la géométrie et la rugosité du chenal ainsi que la valeur le débit permanent. Nous cherchons la ligne d’eau, c’est-à-dire la relation entre le tirant d’eau et l’abscisse.

✚ L’équation de l’énergie : $H = Z + \frac{V^2}{2g} + h \dots\dots\dots (IV.13)$

✚ L’équation de continuité : $Q = V.S \dots\dots\dots(IV.14)$

IV.3.7.2. Calcul de la surface d’eau :

Pour procéder aux calculs et à la construction des formes de la surface d’eau, on doit passer par l’intégration de l’équation (IV.14). Et pour cela on désigne trois méthodes de calcul :

- ✚ Par approximation successive.
- ✚ Par intégration directe.

IV.4. Calcul hydraulique du canal :

Le choix de la forme du canal a été porté sur la forme trapézoïdale revêtue en terre avec les caractéristiques suivantes :

IV.4.1. Le fruit de talus :

La valeur du fruit ‘m’ a été choisie selon la nature du terrain et pour notre cas en prend ‘m’ égale à 0.73.

IV.4.2. La rugosité :

Pour un canal en terre, la rugosité (n) égale à 0.017.

IV.4.3. La largeur du canal:

On prend b = 10.8 m, elle correspond à largeur moyenne.

IV.4.4. le profondeur du canal :

H = 1.20 m.

IV.5. Calcul des paramètres de l'écoulement :

Le code HEC-RAS nous permet de déterminer les différents paramètres hydrauliques tels que la hauteur normale, la vitesse d'écoulement, le type du régime et la nouvelle capacité de oued après l'aménagement. Les résultats de la simulation sont donnés dans le tableau et les figures suivants :

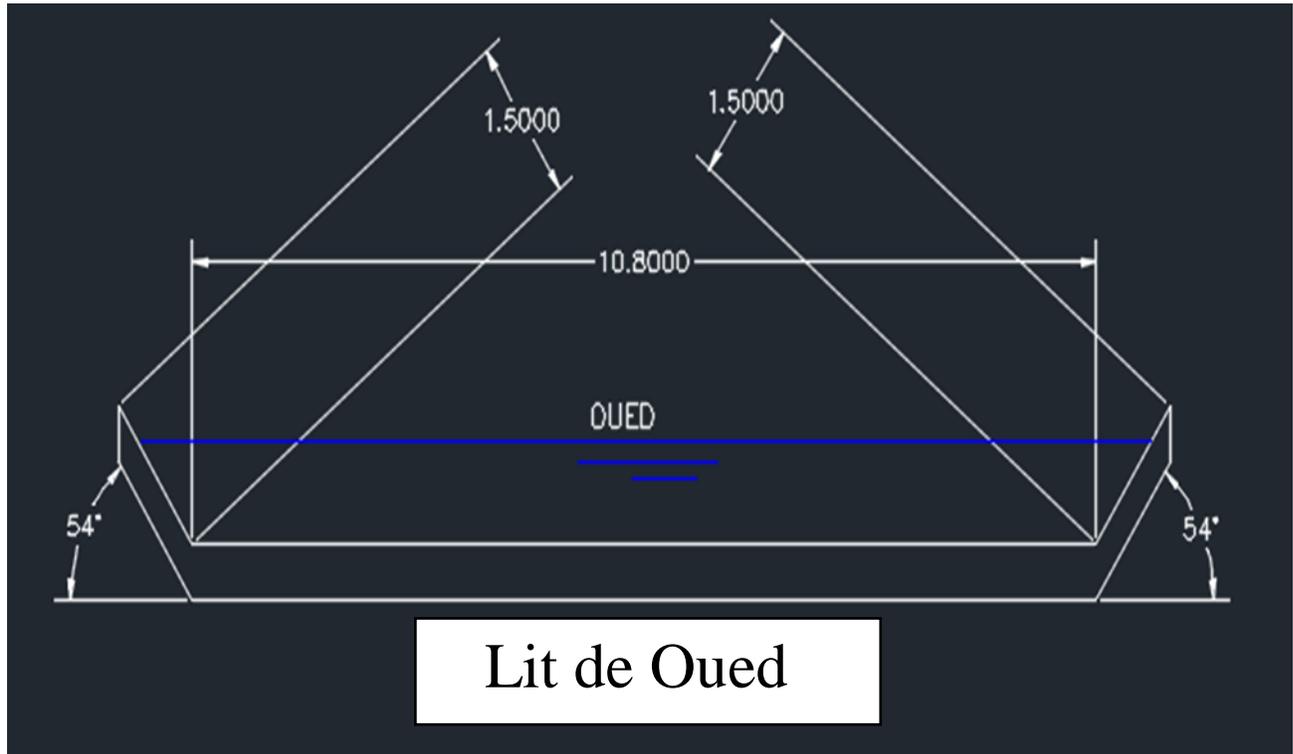


Figure IV.2: Proposition des dimensions du canal.

✚ Remarque :

Après avoir fixé les sections en travers référentielles on a rajouté à ces dernières par interpolation des nouvelles sections, car il est recommandé d'avoir une distance raisonnable entre deux sections transversales successives afin d'augmenter la stabilité des calculs de niveau par le modèle HEC-RAS.

Tableau (IV.2) : Les paramètres de l'écoulement du canal.

River sta	Q	Min Ch El	W.S.Elev	Crit.W.S	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Hydr depth	Froude
	m ³ /s	m	m	m	M	m/m	m/s	m ²	m	m	/
50	3.16	10.18	10.40	10.40	10.50	0.018288	1.40	2.21	11.12	0.22	1.01
121	3.16	10.42	10.72	10.65	10.77	0.001361	0.94	3.29	11.23	0.29	0.55
200	3.16	10.71	10.93	10.93	11.03	0.018290	1.30	2.39	11.12	0.22	0.89
304	3.16	11.07	11.30	11.31	11.38	0.003569	1.26	2.45	11.12	0.22	0.86
350	3.16	11.23	11.45	11.45	11.56	0.018286	1.26	2.47	11.12	0.22	0.85
650	3.16	12.29	12.51	12.51	12.62	0.018290	1.26	2.47	11.12	0.22	0.85
800	3.16	12.82	13.04	13.04	13.15	0.018288	1.26	2.45	11.12	0.22	0.86
940	3.16	13.32	13.54	13.53	13.62	0.003521	1.26	2.46	11.12	0.22	0.86
950	3.16	13.35	13.57	13.57	13.68	0.018290	1.26	2.46	11.12	0.22	0.85
1250	3.16	14.41	14.63	14.63	14.74	0.018286	1.25	2.48	11.12	0.22	0.85
1400	3.16	14.94	15.16	15.16	15.27	0.018291	1.46	2.46	11.12	0.22	0.86
1529	3.16	15.40	15.62	15.60	15.71	0.003552	1.26	2.45	11.12	0.22	0.86
1550	3.16	15.47	15.69	15.69	15.80	0.018285	1.26	2.46	11.12	0.22	0.85
1700	3.16	16.00	16.22	16.22	16.33	0.018286	1.26	2.46	11.12	0.22	0.85
2000	3.16	17.06	17.28	17.28	17.39	0.018285	1.26	2.48	11.12	0.22	0.85
2150	3.16	17.59	17.81	17.81	17.92	0.018288	1.27	2.45	11.12	0.22	0.86
2228	3.16	17.87	18.10	18.09	18.18	0.003519	1.26	2.46	11.12	0.22	0.85
2300	3.16	18.12	18.34	18.34	18.45	0.018286	1.26	2.46	11.12	0.22	0.86
2600	3.16	19.18	19.40	19.40	19.50	0.018288	1.25	2.47	11.12	0.22	0.85
2750	3.16	19.71	19.93	19.93	20.03	0.018290	1.20	2.45	11.12	0.22	0.86
2950	3.16	20.41	20.63	20.63	20.74	0.018288	1.27	2.44	11.12	0.22	0.86

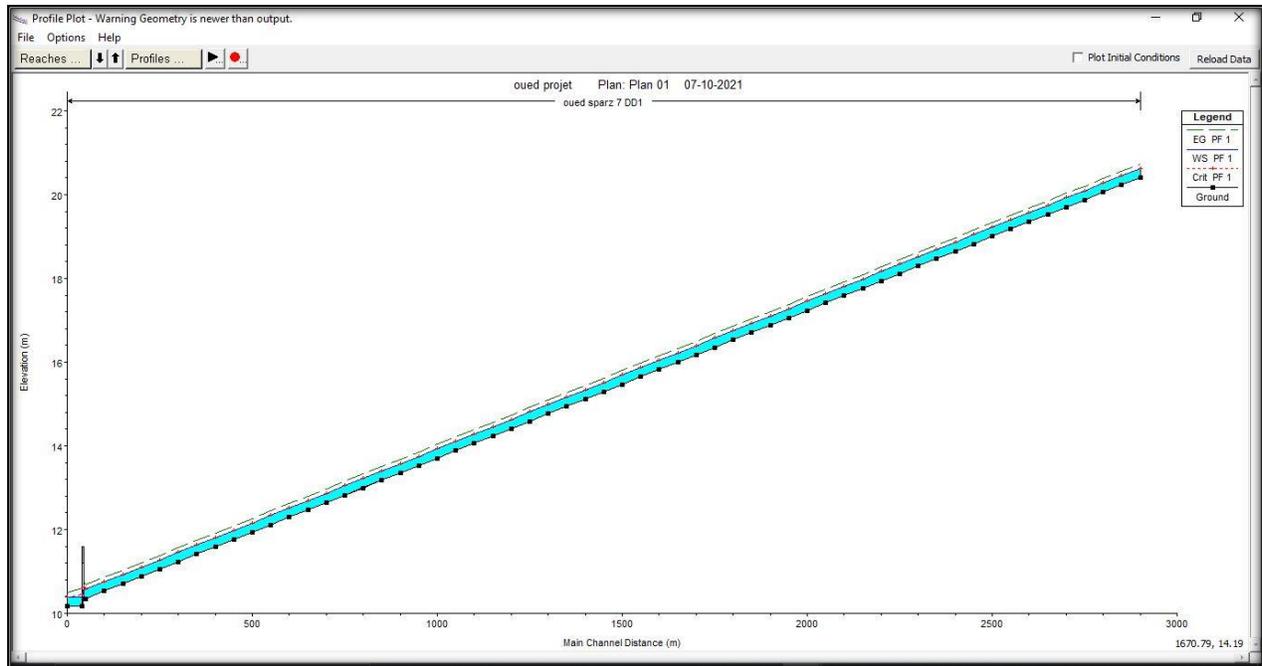


Figure IV .3: Profil en long du canal.

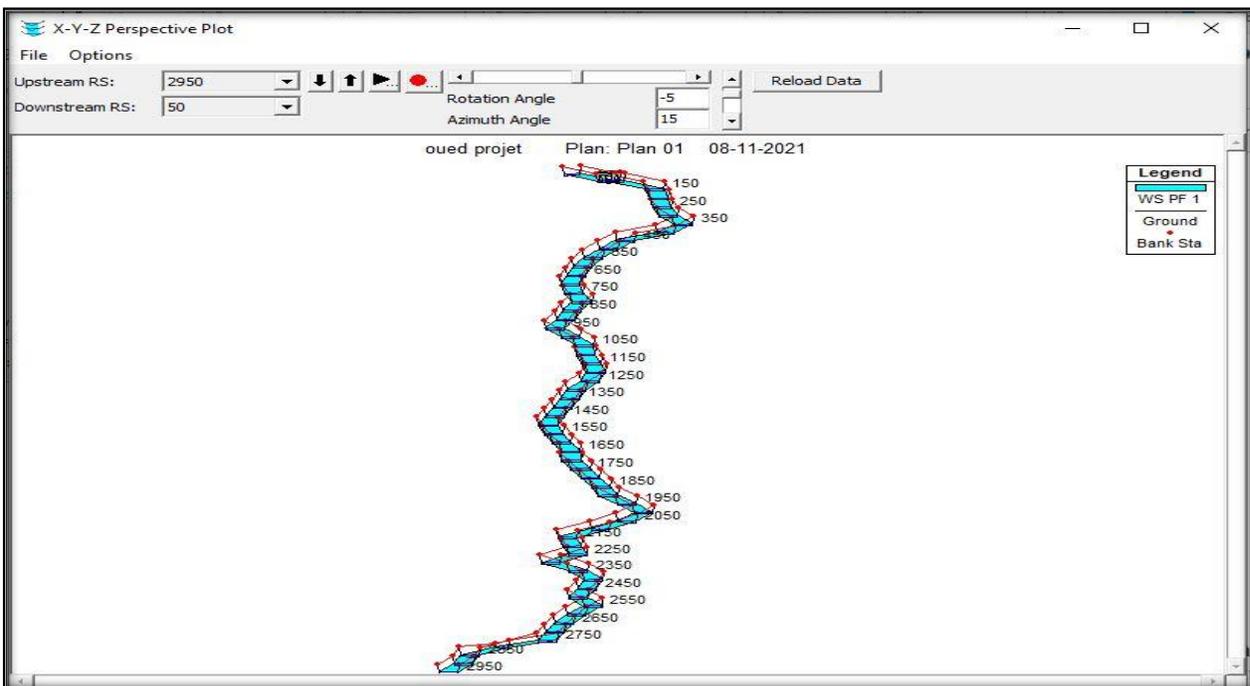
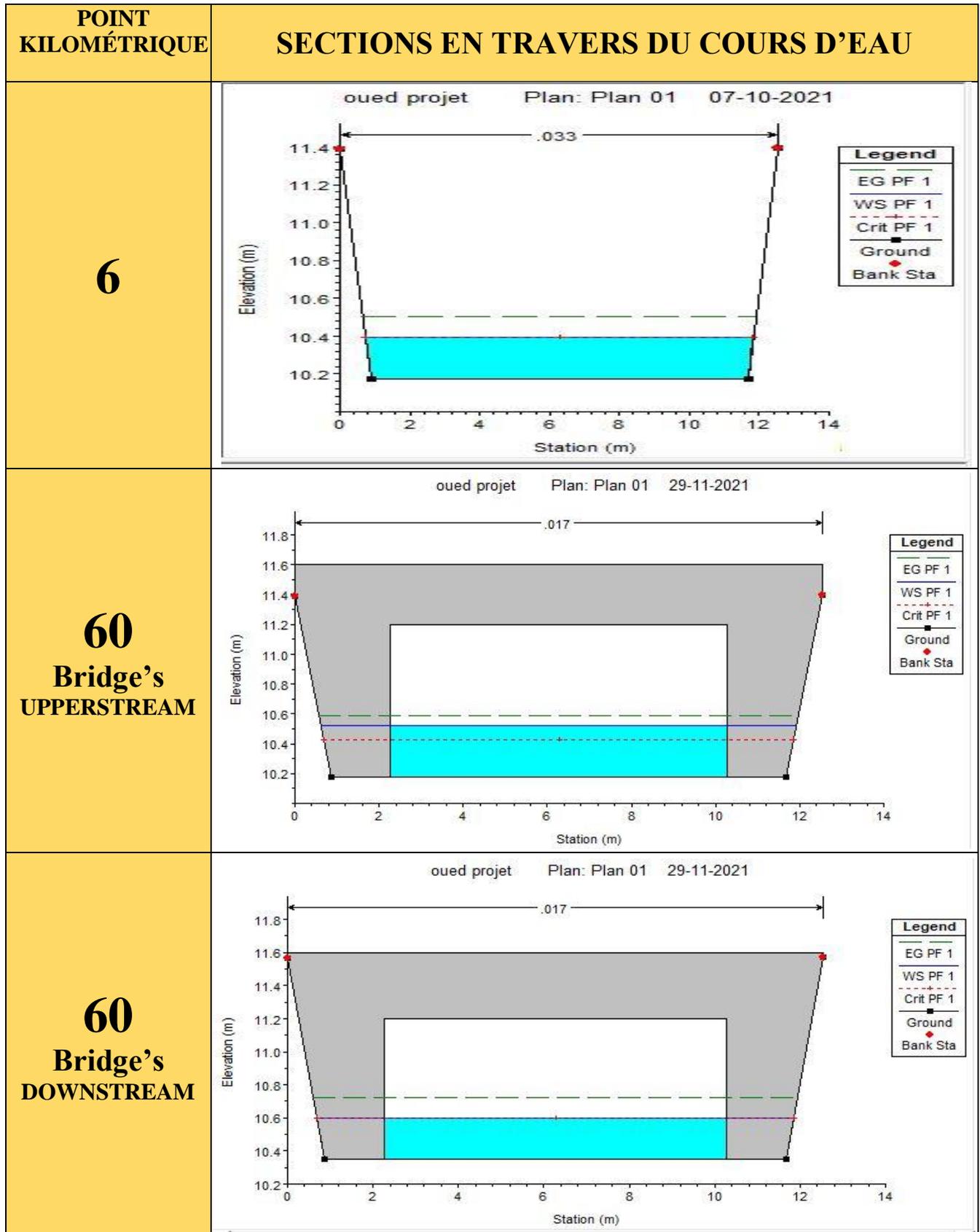
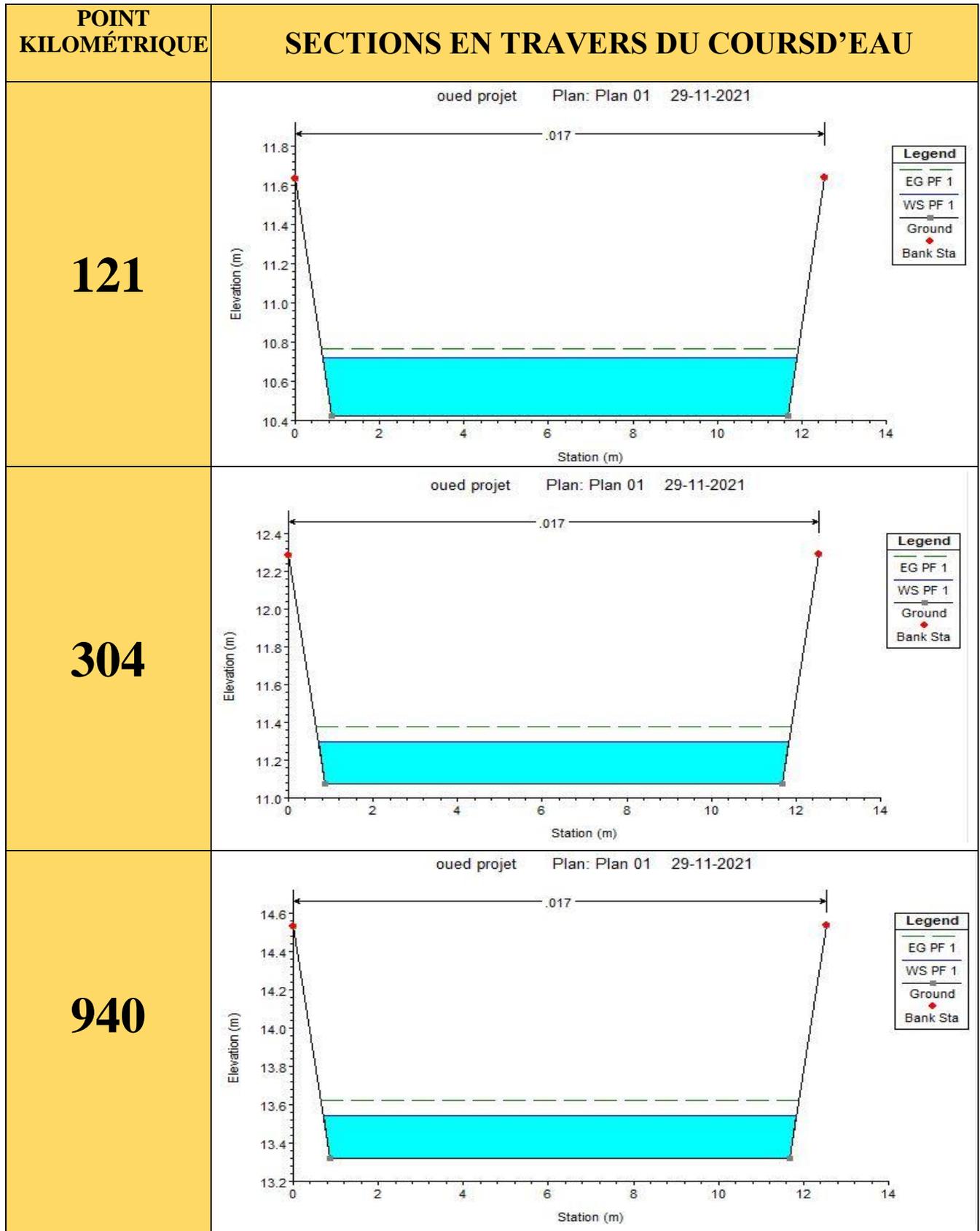
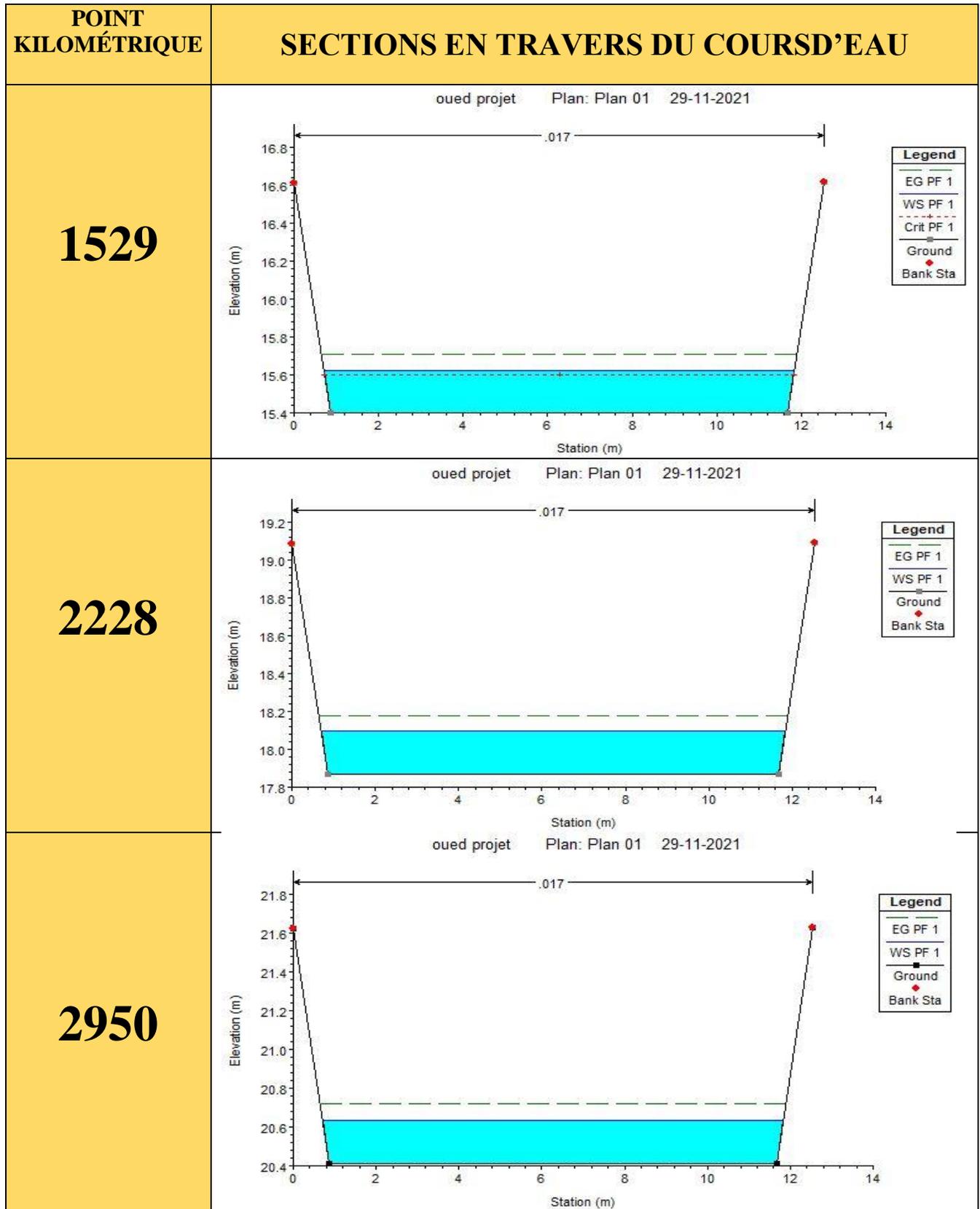


Figure IV .4 : Visualisation en 3D sous HEC-RAS d'après l'aménagement de tronçon (2950-50).







IV.7. Conclusion :

La simulation hydraulique de notre tronçon à l'état final (avec aménagement) a permis d'identifier les différents niveaux de la ligne d'eau le long de canal pour la débit actuel calculer et, de déterminer les différents paramètres hydrauliques pour savoir le comportement de l'oued après avoir corrigé les conditions d'écoulement. Enfin Concernant les résultats obtenus, il a été confirmé que l'eau s'écoule bien le long du canal avec une bonne vitesse et un niveau d'eau acceptable.

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE :

L'aménagement d'un cours d'eau est toute intervention qui affecte ou modifie la géométrie, le fond (la pente) et/ou les talus d'un cours d'eau afin de se prévenir d'une part contre les dangers qu'engendrent les cours d'eau à la population ou d'autres ouvrages importants et d'autre part à tirer le maximum de profit par leur exploitation.

Notre travail porte sur l'étude hydraulique d'une section du canal collecteur de Oued Righ de la commune de Sidi Amrane (wilaya d'El Meghaier), dans le but d'une simulation hydraulique qui identifie les zones avec lesquelles il existe des contraintes aux bons écoulements des eaux.

Pour ce, Connaissant les problèmes dans cette partie du canal de Oued Righ, il était nécessaire de diagnostiquer la situation en effectuant des visites de terrain et en recherchant différentes données techniques sur le canal et la région.

Pour cette raison, nous avons divisé notre étude en trois parties.

Dans la première partie, nous avons appris à connaître la région d'oued Righ en termes de géographie, de caractéristiques climatiques, géologiques et hydrogéologiques. Ce que nous avons trouvé après avoir collecté les données que Cette région est étendue sur un territoire de deux (02) nouvelles wilayas, (Touggourt et El Meghiaer) avec un climat aride est caractérisé par une température importante, un apport des pluies et humidité faibles et des vents fréquents avec une faiblesse et une irrégularité des précipitations dont les moyennes annuelles pour la période 2010-2020.

Sur le plan géologique, la région de Oued Righ se présente comme une cuvette synclinale du Bas Sahara qui fait partie d'une large fosse de direction N-S ; hydrogéologiquement la région repose sur trois principaux réservoirs d'eau, qui sont : La nappe phréatique ; La nappe du complexe terminal (CT) et La nappe du continental intercalaire (CI).

Dans la deuxième partie Nous avons parlé historiquement du canal de oued Righ et son origine, Ensuite nous avons calculé le débit au niveau amont de notre tronçon d'étude (avec une longueur de cours d'eau de **2.95 km**) dans la commune de Sidi Amrane à l'aide de la méthode de jaugeage au flotteur, Cela nous a permis d'obtenir la débit d'écoulement qui est estimée à **3.16 m³/s**.

Dans la troisième partie, les simulations hydrauliques qui ont été réalisées à l'aide du logiciel **HEC-RAS** ont montré la présence de problèmes d'écoulement d'eau le long du canal (En se basant sur les différents résultats de simulations de chaque section) ainsi que des visites sur le terrain, nous avons proposé le recalibrage par des canaux trapézoïdaux en terre pour réaménager le tronçon. Une fois le tronçon dimensionné avec Largeur de base du canal de **10.8 m** et la Largeur au miroir **12.57 m** et hauteur de **1.2 m** avec une pente de **0.018288 m/m**, un autre scénario de simulation s'est fait pour un écoulement d'eau et adéquat s'assurer du bon fonctionnement de l'ouvrage, avec une hauteur d'eau uniforme le long du canal de **0.22 m**.

Le dimensionnement des canaux non revêtus présente des avantages économiques, écologiques et techniques très intéressants pour l'ingénieur concepteur.

BIBLIOGRAPHIE



BIBLIOGRAPHIE

- [1] **BENFERHAT AKRAM ABDELATIF, 2020.** “ Contribution à l'étude morphologique et dégradation du canal Oued Righ parti nord”, Mémoire de Master, Université HAMMA LAKHDAR D'EL-OUED.
- [2] **TESCO, VIZITERV 1989.** Etude du réaménagement et de l'extension des palmeraies de l'Oued Righ, synthèse de l'étude. 359 p.
- [3] **SAYAH LEMBAREK, 2020.** “ L'Oued Righ : importance dégradation et perspectives”, THESE DOCTORAT, Université de Kasdi Merbah à Ouargla.
- [4] **HAFOUA, 2005.** “Caractérisation et quantification de la salinité du sol et de la nappe dans la vallée de l'oued Righ” Mémoire Magistère hydraulique I.N.A. ELHARRACH. Alger.
- [5] **M.BOUABDALLAH Hocine & M. FELKAT Okba, 2018.** “Actualisation et Étude Comparative de la Typologie Physico-chimique des Eaux des Aquifères de l'Oued Righ (Sud algérien)”, Mémoire de Master Académique, Université de Kasdi Merbah à Ouargla.
- [6] **A.N.R.H de TOUGGOURT :** Résultat de jaugeage du canal Oued Righ 1993 – 2015, Données climatologiques enregistrées au niveau de la station météorologique de Touggourt (2010 – 2020).
- [7] **SAYAH LEMBAREK, 2008.** “ ETUDE HYDRAULIQUE DU CANAL OUED RIGH”, Mémoire de Magistère, Université de Kasdi Merbah à Ouargla.
- [8] **TUOAHIR MOHAMED ISLAM & TARMOUNE ABD EL KAHAR, 2014.** “ Evolution de couvert végétal et tissu urbain d'Oued Righ. Application de la télédétection”, Mémoire de Master, Université de Kasdi Merbah à Ouargla.
- [9] **DERAI I. et SAYAH LEMBAREK Med, 2000.** “ Problématique du réseau d'AEP de la région de touggourt. Mémoire de fin d'étude, diplôme d'ingénieur d'état en génie rural. Université de SAAD DAHLEB BLIDA, 66 pages.
- [10] **BOUAICHI Naima et BEN ABDALLAH Yamina, 2019.** “ Contribution à l'étude morphologique et dégradation du canal Oued Righ parti sud”, Mémoire de Master, Université HAMMA LAKHDAR D'EL-OUED.
- [11] **BENBRAHIM L, 1995.** Guide pratique pour la gestion d'un secteur. Agence nationale des ressources hydrauliques. Direction régionale sud (Ouargla) Juin, 25 pages.
- [12] **U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, HEC-RAS river analysis system, Hydraulic reference manual, USA, 441pages, version 5.01, Avril 2016.**

Résumé :

La présente d'étude s'inscrit dans la protection et la réhabilitation d'une partie du canal d'Oued Righ situé dans la commune de Sidi Amrane, qui s'étend sur environ 3 km de long. Hausse exceptionnelle du niveau d'eau en hiver en raison de l'augmentation de la quantité d'eau d'irrigation excédentaire qui se déverse dans le canal et en raison de l'inefficacité du nettoyage dans cette partie du canal par les autorités concernées.

Tout d'abord, nous décrivons les caractéristiques de la région d'Oued Righ dans son ensemble Au niveau des conditions climatiques de la zone, ainsi que l'étude des caractéristiques topographiques, morphologiques, géologiques et hydrogéologiques.

En choisissant un emplacement adapté à l'amont du canal à objet d'étude afin de calculer le débit et la vitesse moyenne de l'écoulement en utilisant la méthode jaugeage au flotteur.

Grâce à cette dernier, nous avons pu passer au stade de la simulation à l'aide du programme HEC-RAS, qui nous a permis d'identifier les zones qui rencontrent des difficultés dans l'écoulement de l'eau, ces résultats nous ont permis d'élaborer un plan de restauration de ces parties endommagées

Mots clés :

Jaugeage au flotteur, Oued Righ, restauration, simulation, HEC-RAS.

Abstract:

The study falls within the protection and rehabilitation of a part of the Oued Righ canal located in the city of Sidi Amran, which extends about 3 km in length. from the exceptionally high water level in the winter that comes from irrigations and also because inefficiency of cleaning of this part of the canal by the concerned authorities.

First, we describe the characteristics of the Oued Righ region in general In terms of the climatic conditions of the area, as well as the study of the topographical, morphological, geological and hydrogeological characteristics.

Then we calculated by choosing a suitable location at the source of the canal under study in order to calculate the flow and the average speed of the flow using the method floating method.

Through it, we were able to pass to the stage of simulation using the HEC-RAS program, which enabled us to identify the areas that face difficulty in the flow of water, these results enabled us to develop a plan to restore these damaged parts.

Key words:

Floating method, Oued Righ, restore, simulation, HEC-RAS.

