

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abderrahmane MIRA de Bejaia



جامعة بجاية
Tasdawit n'Bgayet
Université de Béjaïa



Faculté de Technologie
Département d'Hydraulique

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

RAZEM Rafik

TAMOURT Mohamed Lamine

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

Option : **OUVRAGES ET AMENAGEMENT HYDRAULIQUE**

INTITULE :

ÉTUDE DE L'AMENAGEMENT DE L'OUED TEKSIRIDEN COMUNE CHORFA W. BOUIRA

Soutenu le **30 /09 /2021** devant le jury composé de :

- Président : **Mr.SEGHIR** Abdelghani
- Promoteur (s) : **Mr. BRAKENI**.Abderrezek

Mr. OULEBSIR Rafik


- Examineur (s) : **Mr. HAMOUCHE**. Abderrahmane

Année Universitaire : 2020/2021

Remerciement

On tient à exprimer nos plus vifs remerciements à Dieu le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné durant toutes ces longues années d'études et qui nous ont permis d'en arriver là.

On adresse notre grand amour à nos parents ; nos père pour leur sacrifice, nos mère pour leur tendresse, c'est grâce à leur amour et leurs sacrifices que ce mémoire a été mené à bonne fin.

(Les mots ne suffisent pas pour remercier sincèrement nos très chers Parents) 

On remercie vivement le président et l'ensemble des membres du jury d'avoir accepté d'évaluer notre travail et d'honorer par leur présence notre soutenance.

L'occasion nous a donnée de remercier chaleureusement toutes les personnes qui nous ont fait confiance dans ce parcours et qui ont contribué au bon déroulement de ce travail :

- **Mr Brakeni Abderrezek**
- **Mr Oulebsir Rafik**

Nous ne saurais oublier nos enseignants de Département d'Hydraulique pour leurs informations et les encouragements qui nous ont apportés pendant le déroulement de ce travail.

Enfin on tient à remercier les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire, et dont les noms ne figurent pas dans ce document.

DEDICACE


C'est avec l'aide de Dieu le tout puissant que j'arrive à terme de ce modeste travail que je dédie à toutes les personnes que j'aime et en particulier :

À toi ma chère mère, à qui je dois beaucoup pour ces sacrifices, son amour, son aide et son soutien, sans elle j'avoue je ne serai pas ce que je suis aujourd'hui.

À mon père qui m'a encouragé durant mes études, et son affection qui m'a amené à finir mon projet.

À ma grande sœur ma deuxième mère. Merci pour tout

À celui qui m'a appris le sens de la patience et du soutien, merci

À mes frères mes sœurs 

À tout ma grande famille mes oncles et mes tantes sans exception, ainsi leurs épouses et époux

À mon binôme et mes amis et mes collègues les hydrauliciens

À tous ceux que j'oublie involontairement

A tous les gens que j'aime et ils m'aiment, je dirai que ce travail est le vôtre.

Mohamed Lamine

DEDICACE

Avec la facilitation de Dieu le tout puissant de nous avoir donné la foi et qui nous a permis d'arriver à termine ce modeste travail que je le dédie :

À la bonne âme qui nous a quitté ma chère mère



À mes parents Tahar et Saad pour tous leurs sacrifices et leurs soutiens moraux et matériel dont ils ont fait preuve pour que je réussisse.

Je le dédie également à :

Mes frères et mes sœurs pour tout le soutien qu'ils m'ont apporté

À tout ma famille sans exception

À mes amis, mes connaissances et la promo d'hydraulique

A tous ceux qui m'ont soutenu et aidé

Rafik

Sommaire

SOMMAIRE	5
LISTE DES TABLEAUX	9
LISTE DES FIGURES	10
INTRODUCTION GENERAL	1
CHAPITRE I : ETUDE CLIMATIQUE ET HYDROLOGIQUE.....	4
1.1. INTRODUCTION	4
1.2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	4
1.2.1. Bassin versant de la Soummam.....	4
1.2.2. Situation géographique de la région	5
1.2.3 Représentation du sous bassin versant oued sahel en amont.....	6
1.3. SITUATION CLIMATIQUE	6
1.3.1. Les paramètres climatiques.....	7
1.3.1.1 . La Température	7
1.3.1.2. L'humidité.....	7
1.3.1.3. Le vent	7
1.3.1.4. La pluviométrie	8
1.3.2. Synthèse climatique.....	9
1.4. ETUDE DU BASSIN VERSANT DE TIKSIRIDENE.....	9
1.4.1.les caractéristiques de bassin versant	10
1.4.1.1. Caractéristique géométrique.....	10
1.4.1.2. Paramètre de forme	10
b- Le Rectangle équivalent.....	11
1.4.1.3. Caractéristiques de relief.....	12
c)Les indice de pente	19
1.5. CARACTERISTIQUES HYDROGRAPHIQUES DU BASSIN VERSANT.....	21
1.5.1 le chevelu hydrographique.....	21
1.5.2. La densité de drainage.....	22
1.5.3 La densité hydrographique	23
1.5.4. La fréquence des thalwegs d'ordre 1	23
1.5.5. Temps de concentration du bassin versant " Tc"	23
1.5.6. Coefficient de torrentialité.....	24
1.5.7 Vitesse de ruissellement	25
CONCLUSION.....	26
CHAPITRE II : ETUDE DE CRUE.....	28
INTRODUCTION	28
II.1 ETUDE PLUVIOMETRIQUE	28
II.2. Etude des précipitations	28
II.2.1 Données disponibles	28

II.2.3 Traitement des données de pluviométrie	30
II.2.3.1 présentation des caractéristiques de la série	30
II.2.3.2 Choix de la loi d'ajustement	30
II.2.3.3 Vérification de l'homogénéité de la série	31
II.2.3.4 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumbel	31
• Gumbel (Méthode des moments)	31
II.2.3.5 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Galton.....	33
II.2.3.6 Comparaison entre les ajustements	35
II.2.4 Pluies de courte durée	35
CONCLUSION	38
II.3. LES APPORTS	38
II.3.1. Estimation de l'apport moyen annuel (A0)	38
a) Formule de Dery	38
b) Formule de Medinguer	39
c) Formule de Samie	39
d) Formule de Deri II	39
II.3.2 Caractéristiques de l'écoulement	40
a) Le module d'écoulement Me	40
b) Module de l'écoulement relatif ou spécifique (M0)	40
c) Coefficient de l'écoulement Ce	40
d) Coefficient de variation	40
II.3.3 Différentes méthodes d'évaluation des crues	42
II.3.3.1 Méthodes historiques	42
II.3.3.2 Méthodes empiriques	42
1- Formule de Mallet-Gauthier	42
II.4. HYDROGRAMMES DE CRUE	46
II.5 CONCLUSION	48
CHAPITRE III : ETUDE HYDRAULIQUE SANS AMENAGEMENT	50
INTRODUCTION	50
III.1 GENERALITES SUR LES ECOULEMENTS A SURFACE LIBRE	50
III.1 LES CANAUX	50
a) Les canaux naturels	50
b) Les canaux artificiels	50
III.1.1 Géométrie et caractéristiques des canaux	51
III.2 TYPE D'ECOULEMENT	52
Variabilité dans le temps	52
Variabilité dans l'espace	53
III.3 REGIME D'ECOULEMENT	53
Le nombre de Froude	53
Equation de continuité	54
Formulations de Chézy et de Manning-Strickler	54
Formule de Manning et Strickler	54
III.4 PRESENTATION DU LOGICIEL HEC-RAS	56
III.4.1 L'Environnement HEC-RAS	57
III.4.2 LES EQUATIONS UTILISEES PAR LE LOGICIEL	58
III.4.3. Subdivision d'une section en travers pour le calcul du débit	59
III.4.4 Banque de données nécessaires à l'application du modèle HEC-RAS	60
III.4.5 APPLICATION DE HEC-RAS	60

III.4.6 Le choix des valeurs de rugosité de Manning	61
III.5 SIMULATION HYDRAULIQUE	62
III.5.1 Résultats de la simulation.....	62
Remarque	64
III.6 DELIMITATION DES ZONES INONDABLES	70
CONCLUSION	71
CHAPITER IV : ETUDE HYDRAULIQUE AVEC AMENAGEMENT.....	73
INTRODUCTION	73
VI.1. PRINCIPES DE BASE.....	73
IV.1. PROPOSITION D'AMENAGEMENT	73
IV.2. DETERMINATION DE LA SECTION D'ECOULEMENT	73
IV.3 PARAMETRES GEOMETRIQUE D'UN CANAL A SECTION TRAPEZOÏDALE	74
IV.3.1 Équation de Chézy	75
IV.3.2 Section de débit maximum	75
IV.3.3 Profondeur normale (h_n).....	76
IV.3.4 la profondeur critique h_c	76
IV.3.5 Pente critique	76
IV.4 CALCUL DE LA LIGNE D'EAU.....	77
IV.4.1 Calcul de la ligne d'eau.....	78
IV.4.2 Calcul de la surface d'eau.....	78
IV.5 CALCUL HYDRAULIQUE DU CANAL.....	78
IV.5.1 Le fruit de talus.....	78
IV.5.2 La rugosité.....	78
IV.5.3 La largeur du canal.....	78
VI.6 CALCUL DES PARAMETRES DE L'ECOULEMENT	78
IV.7 SECTIONS EN TRAVERS DU COURS D'EAU.....	81
CONCLUSION	85
CONCLUSION GENERALE	87
BIBLIOGRAPHIE	89

Liste des tableaux

Tableau I: Superficie des sous bassins versants de la Soummam(ANRH).....	5
Tableau II: Les températures moyennes mensuelles de la région de Bouira entre l'année 2018 et 2020 (www.infoclimat.fr).....	7
Tableau III: Les valeurs moyennes mensuelles de la vitesse du vent maximal et vent moyen en m/s (station météorologique de Bouira)	7
Tableau IV: Les précipitations moyennes mensuelles de la région de la wilaya de Bouira entre l'année 2018 et 2020 (www.infoclimat.fr).....	8
Tableau V: Tableau récapitulatif des paramètres de forme de sous bassin d'oued Teksiriden	11
Tableau VI: le tableau hypsométrique	18
Tableau VII: Classification du relief d'après O.R.S.T.O .M.00	20
Tableau VIII: La classification d'O.R.S.T.O.M	21
Tableau IX: Tableau récapitulatif des altitudes caractéristiques et les indices de la pente de sous bassins	21
Tableau X : la longueur des cours d'eau du bassin versant de Teksiriden.	23
Tableau XI: Comparaison des résultats des formules.	24
Tableau XII : Tableau récapitulatif des caractéristiques hydrographiques du bassin versant de Teksiriden	25
Tableau XIII: Les caractéristique de la station de Mehdala.....	28
Tableau XIV: Données pluviométriques mensuels et annuels de la station de Mehdala pour la période 1983-2013.	29
Tableau XV: les caractéristiques de la série pluviométrique.....	30
Tableau XVI: Résultats de l'ajustement à la loi de Gumbel.....	32
Tableau XVII: Résultats de l'ajustement à la loi de log normal.....	34
Tableau XVIII: Pluies et intensités maximales de durée t(h) et les périodes de retour.	36
Tableau XIX: Les apports fréquentiels du bassin de Teksiriden	39
Tableau XX: Récapitulatif des résultats des coefficients des variantes.	41
Tableau 21: les caractéristique de l'écoulement.....	42
Tableau XXII: Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de Mallet-Gauthier).....	43
Tableau XXIII: valeur de γ en fonction de bassin versant.....	44
Tableau XXIV: Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de Sokolovsky) Station de Mehdala.....	44
Tableau XXV: Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de Turraza).....	44
Tableau XXVI: Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de Giandotti)	45
Tableau XXVII: Récapitulatif des résultats de débit de crue.....	45
Tableau XXVIII: Coefficient de forme de l'Hydrogramme de crue δ	47
Tableau XXIX: Tableau récapitulatif des temps de concentration, de montée et de décrue.....	47
Tableau XXX: Débit de crues pour différentes périodes de retour d'oued.....	47
Tableau XXXI: Caractéristiques géométriques des canaux.....	52
Tableau XXXII: Valeurs estimées pour le coefficient de Manning Strickler en fonction de la nature des Parois	55
Tableau XXXIII: Les valeurs de la rugosité du cours d'eau.....	61

Tableau XXXIV: Résultats de la simulation pour une période de retour de 100 ans..	64
Tableau XXXV: Les caractéristiques géométriques d'un canal à section trapézoïdale.	74
Tableau XXXVI: Les paramètres de l'écoulement du canal	79

Liste des figures

Figure 1: Situation géographique du bassin versant de la Soummam (ANRH)	5
Figure 2: Situation géographique des trois sous bassins	6
Figure 3: Carte des précipitations moyennes mensuelle de la zone de Bouira	9
Figure 4 : Représentation de bassin versant de Teksiriden avec Google Earth	10
Figure 5 : les courbes de niveau u bassin de Teksiriden	13
Figure 6: courbe hypsométrique	18
Figure 7: la chevelure hydrographique du bassin versant de Teksiriden	22
Figure 8: Ajustement à la loi de Gumbel	33
Figure 9: Ajustement à la loi log normale.	34
Figure 10: graphe de comparaison	35
Figure 11: Courbes de pluies fréquentielles.	37
Figure 12 : Courbes intensité pour différentes durée et fréquence	37
Figure 13: Hydrogramme fréquentiels des différentes périodes de retour d'oued Teksiriden.	48
Figure 14: Types de canaux	50
Figure 15: Eléments géométriques de la section.	51
Figure 16: Schéma des écoulements permanents et non permanents.	52
Figure 17: Oued de Teksiriden sous Hec-Ras.	56
Figure 18: fenêtré principale de HEC-RAS.	57
Figure 19: Conservation de la charge entre deux sections. [13]	59
Figure 20: Découpage de la section pour le calcul du frottement [16]	60
Figure 21: Données des débits du tronçon d'étude en écoulement stationnaire	61
Figure 22: Illustration d'un profil en travers.	61
Figure 23: Fenêtres de simulation pour le régime permanent.	62
Figure 24: Profil en long du cours d'eau à l'état naturel.	63
Figure 25: Visualisation en 3D de l'oued Teksiriden-tronçon (2557-2364)	65
Figure 26: Visualisation en 3D de l'oued Teksiriden-tronçon (2473-1738)	65
Figure 27: Visualisation en 3D de l'oued Teksiriden-tronçon (1738-137)	66
Figure 28: Les résultats de simulation d'une crue centennale sans l'aménagement.	70
Figure 29: Localisation des zones inondables de la ville Chorfa suite à une crue.	71
Figure 30: Caractéristiques du canal de forme trapézoïdale	74
Figure 31: Proposition du canal	80
Figure 32: profile en long	80
Figure 33: Visualisation en 3D de l'oued Teksiriden tronçon (50-2600)	81
Figure 34: les Ponts disponibles au niveau de la vallée	82
Figure 35 :Sections en travers du cours d'eau	85

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'hydrologie joue un rôle important dans le domaine des sciences de l'environnement telles que l'hydraulique, la statistique mathématique, la mécanique des sols etc. en relation avec les mécanismes d'écoulement de l'eau dans les systèmes dimensions naturelles (bassin versant) ou anthropiques des ouvrages hydrauliques utile pour le fonctionnement et la gestion de l'eau. Cela permet aussi de mieux comprendre la simulation du comportement dynamique de l'eau dans les aires de distribution ainsi que l'impact environnemental des travaux hydrauliques.

Les dangers liés aux crues des vallées et des rivières dans le monde et en Algérie en particulier conduit à sa préparation et à la protection des zones menacées contre les inondations, mais cette préparation est effectuée d'une manière qui n'est pas respectée harmoniquement avec l'environnement naturel des vallées et des environs.

Notre étude a porté sur les normes environnementales qui sont spécifiées dans les différents types d'installations pour se protéger des inondations d'une part et respecter l'aspect naturel d'autre part.

Dans un contexte opérationnel, les modèles hydrologiques sont utilisés pour répondre à une question principale :

- La modélisation du comportement hydrologique des bassins versants doit pouvoir traiter différentes étapes de la dérivation de l'écoulement de pluie. Une variété de modèles structurels de nombreuses fonctions linéaires et non linéaires combinées ont été développées depuis le début des années soixante.

Les réponses générées par ces modèles (courbe de débit) sont principalement basées sur les caractéristiques physiques du bassin versant et le type d'informations disponibles.

L'ajustement est effectué par le logiciel Hyfran-Plus, qui permet d'ajuster un nombre important de distributions statistiques.

La protection de la ville de Chorfa contre les inondations causées par les crues des oueds qui doivent être aménagés en amont par l'entretien et/ou la correction correspondante et la réalisation de bassins de rétention.

Ce travail a été réparti sur quatre chapitres :

- 1- Chapitre I : Etude climatique et hydrologique
- 2- Chapitre II : Etude des crues
- 3- Chapitre III : Etude Hydraulique sans Aménagement
- 4- Chapitre IV : Etude Hydraulique avec Aménagement

En conclusion de cette approche analytique de la problématique de la protection de la cité de Chorfa précédemment exposée, nous espérons qu'une attention toute particulière sera attachée à l'étude des points ci-haut définis dans le futur proche.

Chapitre I : Etude climatique et hydrologique

Chapitre I : Etude climatique et hydrologique

I.1. Introduction

L'hydrologie peut être définie brièvement comme la science qui étudie le cycle de l'eau dans la nature et l'évolution de celle-ci à la surface de la terre et dans le sol, sous les trois états : gazeux, liquide et solide ; l'une de ses branches principales est consacrée à l'analyse du débit des crues d'eau.

Des études hydrologiques plus ou moins poussées sont indispensables dès le début de la mise sur pied des projets d'usines hydroélectriques, de distribution d'eau, de protection contre les crues, de drainage, d'irrigation et de navigation fluviale. Le dimensionnement, la sécurité et la bonne exploitation des ouvrages hydrauliques sont toujours liés à une saine évaluation, non seulement des débits disponibles en moyenne, mais surtout des débits extrêmes (crue-étiage).

L'hydrologie de surface étudie le ruissellement, les phénomènes d'érosion, les écoulements des cours d'eau et les inondations.

I.2. Présentation de la zone d'étude :

I.2.1. Bassin versant de la Soummam :

Le bassin versant représente en principe l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse de cycle hydrologique et de ses effets.

Le bassin versant de la Soummam qui a une superficie de 9125 Km² est subdivisé en 10 sous bassins versants. Il est situé dans la partie Nord-Est de l'Algérie (figure 1) entre les méridiens 3° 38' et 5° 38' et les parallèles de 35° 45' et 36° 45' et accède à la Méditerranée par le Golfe de Béjaïa. Il est limité par les chaînes montagneuses du Djurdjura et ses contreforts qui s'étendent jusqu'à la mer au Nord, les contreforts du mont du Hodna au Sud, les chaînes des Babors et le plateau de Sétif à l'Est et le plateau de Bouira à l'Ouest.

Le bassin versant de la Soummam est dans ses grandes lignes constitué, sur la rive gauche, par l'Oligocène qui est traversé par des formations du crétacé inférieur et par le Miocène qui apparaît dans la partie aval, en bordure de l'oued. Des terrasses alluviales- les importantes tapissent en général le pied des pentes sauf dans la région de Sidi-Aïch où le crétacé apparaît jusque dans le lit de l'oued. Sur la rive droite il est en majeure partie formé de Crétacé inférieur moyen et supérieur.

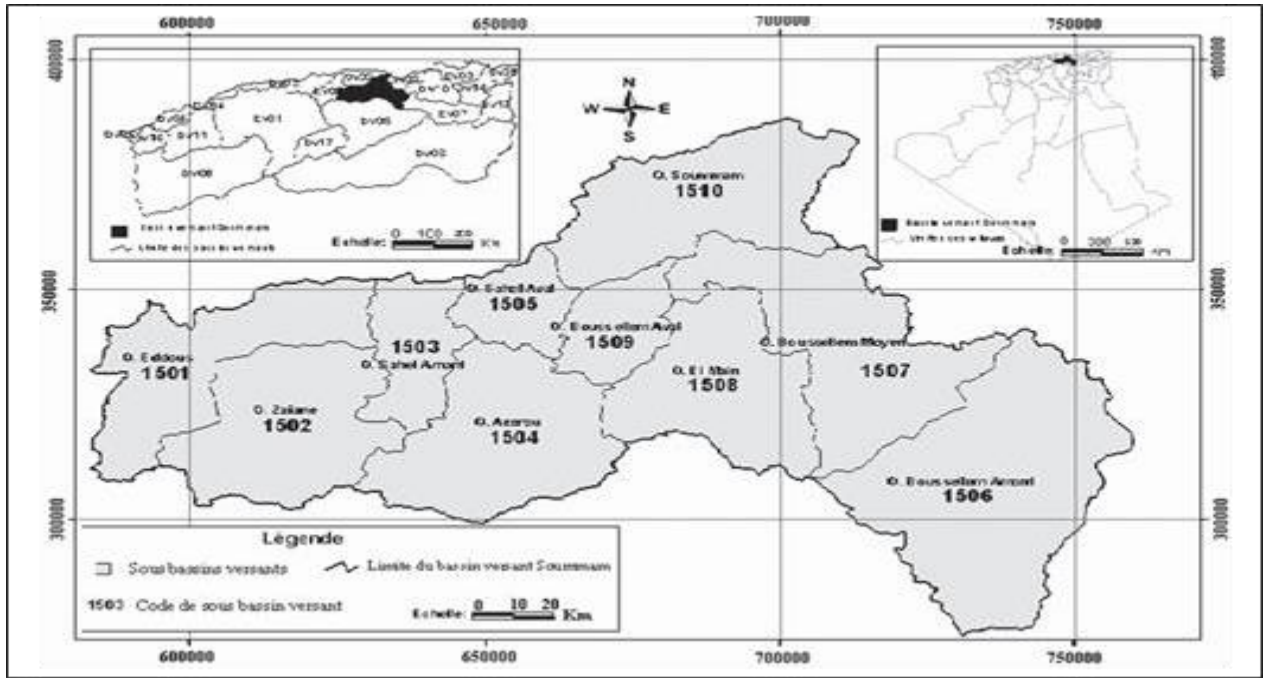


Figure 1: Situation géographique du bassin versant de la Soummam (ANRH).

Sous bassin versant	Code	Superficie (km ²)
Oued Eddous	1501	903
Oued Zaiane	1502	1012
Oued Sahel amont	1503	430
Oued Azerou	1504	1084
Oued Sahel Aval	1505	326
Oued Bousselam Amont	1506	1785
Oued Bousselam Moyen	1507	1234
Oued El Ham	1508	930
Oued Bousselam Aval	1509	360
Oued Soummam	1510	1061

Tableau 1: Superficie des sous bassins versants de la Soummam(ANRH)

1.2.2. Situation géographique de la région :

La wilaya de Bouira s'étend sur une superficie de 4454 Km², elle est limitée :

- Au nord et au nord-est par la wilaya de Tizi-Ouzou et la chaîne montagneuse du Djurdjura,

- Au sud-est par la wilaya de Bordj-Bou-Arreridj et la chaîne montagneuse des Bibans,
- Au sud-ouest par la wilaya de M'Sila et les montagnes de Dirah ;
- Et enfin à l'ouest par les wilayas de Médéa et de Blida.

Elle comporte trois sous bassins versants de L'Oued Ed Dous à l'ouest, Oued Zaiane au centre et à l'est Oued Sahel en amont regroupés sous la dénomination de « Bassin versant du Sahel ».

1.2.3 Représentation du sous bassin versant oued sahel en amont :

Il est situé entre les altitudes 36°11' et 38°26 Nord et les longitudes 3°55' et 3°97'. Il appartient au grand bassin versant de la Soummam portant le numéro « 15 » selon la nomenclature adoptée par l'ANRH.

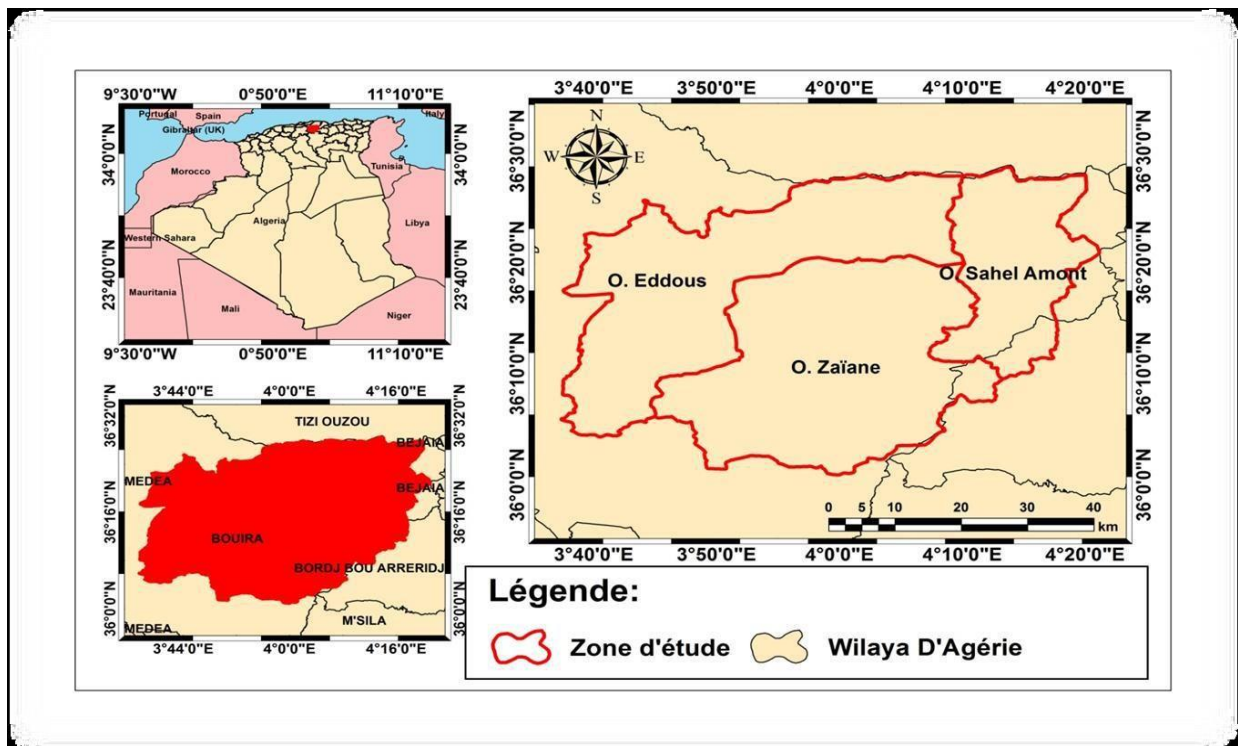


Figure 2: Situation géographique des trois sous bassins

I.3. Situation climatique :

Le climat du bassin versant de la Soummam, montre une série de transition entre climat humide, dans les montagnes proches de la Méditerranée, et climat semi-aride des hautes-plaines (environ Sétif). Mais partout les averses sont fréquentes et règne aussi en été une sécheresse prolongée. Les argiles se dessèchent, se fendillent, ce qui favorisant certaines phénomènes (ruissellement, mouvement de masse et surtout nuit à la végétation).[1]

1.3.1. Les paramètres climatiques

1.3.1.1 . La Température

Elle est généralement élevée et varie entre 17°C et 40°C de mai à septembre avant le démarrage des précipitation et baisse légèrement avec l'influence de la mousson jusqu' a 2°C à 12°C de janvier à mars.

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc
2018	10.80	8.50	12.00	15.90	17.60	22.70	28.90	26.60	25.40	18.00	13.60	11.50
2019	7.90	10.20	12.80	15.00	17.90	26.40	30.20	29.30	24.70	20.00	12.60	12.30
2020	9.80	13.30	13.70	15.50	22.30	24.30	29.30	29.70	23.50	17.40	15.30	10.80
Température moyen	9.50	10.67	12.83	15.47	19.27	24.47	29.47	28.53	24.53	18.47	13.83	11.53

Tableau II: Les températures moyennes mensuelles de la région de Bouira entre l'année 2018 a 2020 (www.infoclimat.fr)

1.3.1.2. L'humidité

Dans cette région les influences océaniques sont très réduites. Le climat affecté a les influences de l'évaporation du barrage de 'TILESDIT'. L'humidité atteint un minimum en janvier et son maximum au mois d'aout avec des variations journalières très importants.

L'humidité est supérieure à 70% sur les 6 mois de l'année et ceci à partir du mois d'Octobre. Le maximum est enregistré en saison hivernale 85% alors que le minimum 48% est observé en été.

1.3.1.3. Le vent

Dans la zone d'étude, les vents soufflent dans des directions à déférentes intensités Durant les trois mois : janvier, février, mars, la valeur maximale reste inférieure à 28 m/s. Pendant le reste de l'année, elle dépasse 28m/s en moyenne pour atteindre son maximum en mois d'avril 38 m/s. Ces vents agissent sur la nébulosité en réduisant les écrans nuageux pour faire place aux rayons solaires qui augmentent les températures favorisant l'évaporation. Le vent du Sud ou siroco, souffle dès la fin du printemps et durant l'été accentuant ainsi le dessèchement du sol et l'évapotranspiration des végétaux. En fonction des saisons, les vents les plus dominants sont ceux du West et Est.

Les valeurs moyennes mensuelles mesurées à la station de Bouira sont portées dans le tableau suivant :

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne annuelle
V_{min} (m/s)	3.8	2.5	4.7	5.5	3.8	5.2	4.3	3.8	4.5	4.9	3.8	5.0	4.3
V_{max} (m/s)	25	20	26	38	28	34	30	29	34	30	29	36	29.9
V_{moy} (m/s)	14.4	11.3	15.4	43.5	15.9	19.6	17.2	16.4	19.3	17.5	16.4	20.5	34.2

Tableau III: Les valeurs moyennes mensuelles de la vitesse du vent maximal et vent moyen en m/s (station météorologique de Bouira)

1.3.1.4. La pluviométrie

Suivant sa situation, la région du Sahel subit l'influence d'un climat méditerranéen par le Nord, et celle d'un climat steppique propre à la plaine du Hodna par le sud. La saison humide comprend l'automne et l'hiver du mois d'Octobre au mois de Mars avec environ 80% des précipitations. Le printemps (Avril, Mai) se caractérise par des pluies locales de faible durée à l'exception de quelques orages de temps à l'autre. Un manque de pluies est constaté pendant la période sèche qui dure de Juin à Septembre.[2]

La pluviométrie moyenne varie du Nord au Sud entre 660 mm/an et 400mm/an. D'une pluviométrie moyenne mensuelle varie de 30 à 85 mm avec l'accroissement d'altitude. En général, il pleut de 50 à 100 jours par an.

Le tableau suivant montre la quantité de précipitations dans la période entre 2018 et 2020 :

	Jan.	Fév.	Mars.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Précipitation annuel
2018	32,0	51,0	105,0	111,0	40,0	32,0	5,0	9,0	30,0	125,0	96,0	33,0	669,0
2019	160.5	29.2	60.5	79.3	29.9	12	15	4.5	53.5	19.3	144	32.5	640.2
2020	51,9	23.7	79,9	57,4	35.4	2,5	2,0	0,8	12,1	10,4	77,3	73,8	368,1

Tableau IV: Les précipitations moyennes mensuelles de la région de la wilaya de Bouira entre l'année 2018 et 2020 (www.infoclimat.fr)

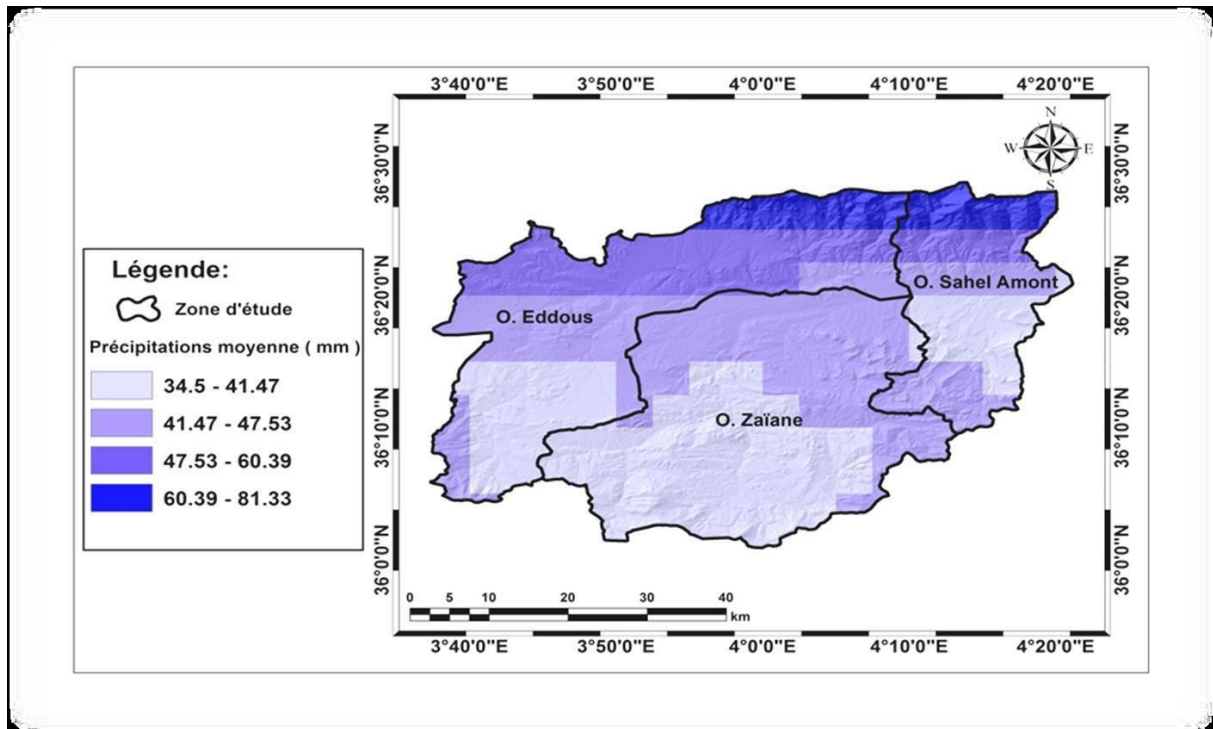


Figure 3: Carte des précipitations moyennes mensuelle de la zone de Bouira

I.3.2. Synthèse climatique

Les températures et les précipitations sont des facteurs fondamentaux pour les êtres vivants car ils permettent de définir les limites climatiques d'une espèce donnée (Ramade ,1984). Cette région à vocation agricole qui est soumise à un climat chaud et sec en été, froid et pluvieux en hiver.

I.4. Etude du bassin versant de Teksiriden

Le bassin versant de Teksiriden est un territoire qui draine l'ensemble de ses eaux vers le cours d'eau de Teksiriden. C'est un sous bassin située à l'est du bassin de l'oued sahel en amont. Il s'étend sur une superficie de 30.8km² et il a une circonférence d'environ 37.3 km, selon la méthode numérique (Google Earth, Global Mapper, Auto CAD, COVADIS)

Il est situé dans une zone montagneuse dont l'altitude s'étend entre 335 m et 1936 m à partir de la chaîne de montagnes du Djurdjura. Il est bordé au nord par le village d'AKBIL, à l'ouest par le village de SAHARIDJ, et à l'est par IBEHLAL et BENI MLIKCH, et au sud du village de CHORFA.

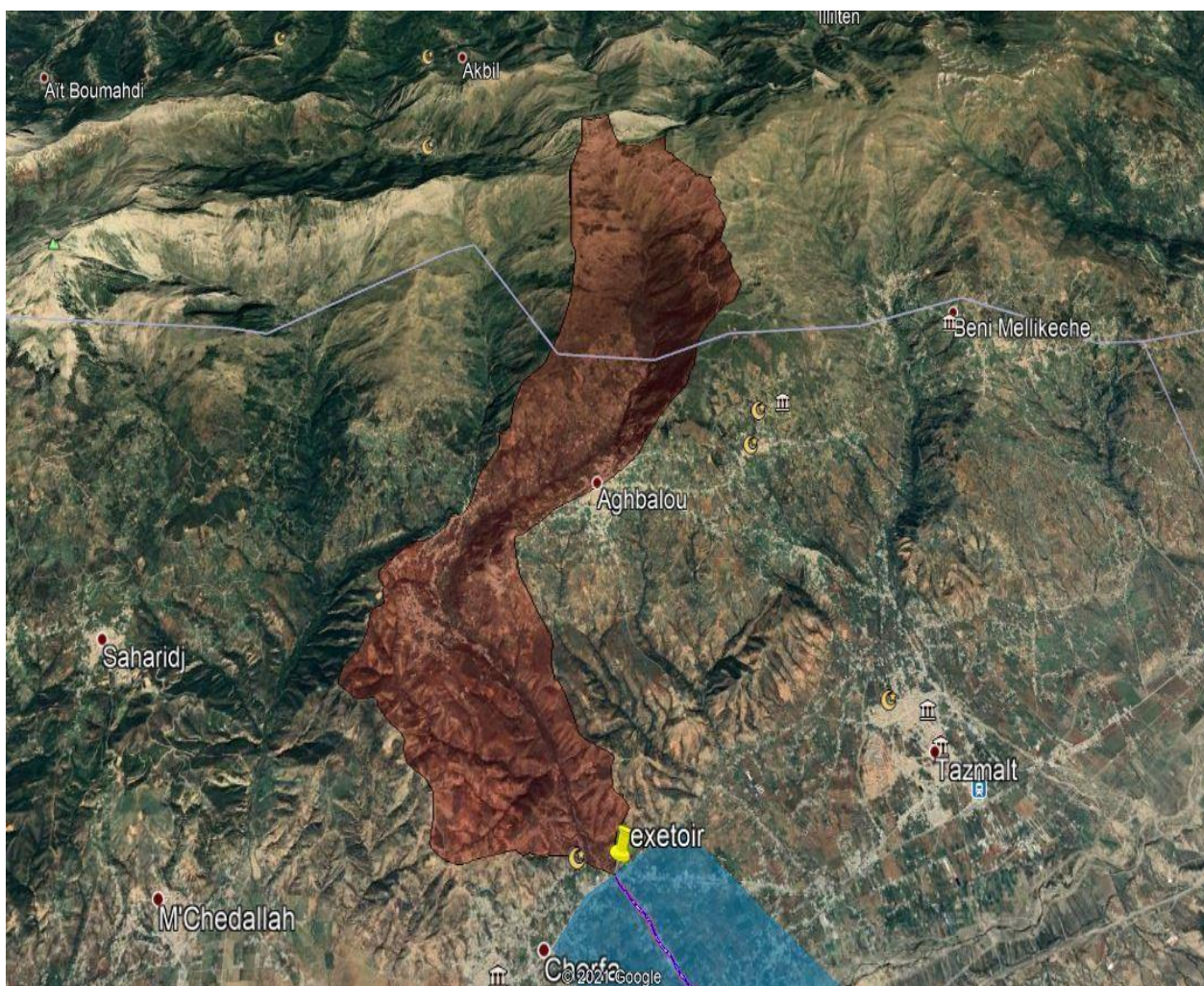


Figure 4 : Représentation de bassin versant de Teksiriden avec Google Earth

1.4.1.les caractéristiques de bassin versant

1.4.1.1. Caractéristique géométrique :

a) Le périmètre :

Le périmètre de bassin versant représente la longueur de la ligne de partage des eaux délimitant le bassin. Il est mesuré avec Google Earth, ou bien à l'aide d'un curvimètre, son unité est km. Le périmètre du bassin versant est de : 37.3Km (selon Google Earth).

b) La surface :

Elle est exprimée en km². Généralement déterminer soit à l'aide d'outils informatiques ou bien avec d'un planimètre.

La surface du bassin versant est de : 30.8Km² (selon Google Earth).

1.4.1.2. Paramètre de forme :

La forme du bassin versant à une influence certaine sur l'écoulement. Pour trouver cette forme, il faut calculer :

a-L'indice de compacité de Gravelius (Kc) :

Il est appelé aussi l'indice de forme. Cet indice caractérisant la forme du bassin versant est donnée par la formule :

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}} \tag{1}$$

- Si : $K_c = 1$ le bassin a une forme circulaire.
- Si : $K_c > 1.12$ le bassin est allongé.
- Si : $K_c = 1.12$, le bassin a une forme carrée.

P= périmètre du bassin versant en (Km) =37.3

S= superficie en (Km²) =30.8

Pour notre bassin $K_c = 1.86$

Donc $K_c > 1.12$, le bassin est allongé.

b- Le Rectangle équivalent :

La notion de rectangle équivalent permet de ramener la forme quelconque d'un bassin versant à une forme rectangulaire ayant la même superficie, le même périmètre et le même indice de compacité (Bechrone, 2011).

Les dimensions de ce rectangle se calculent à l'aide des relations suivantes :

$$L = K_c \frac{\sqrt{S}}{1.128} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_c} \right)^2} \right) \tag{2}$$

$$l = K_c \frac{\sqrt{S}}{1.128} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_c} \right)^2} \right) \tag{3}$$

Avec :

L : longueur du rectangle équivalent (Km).

l : largeur du rectangle équivalent (Km).

Pour le cas de notre bassin : L =16.64 km et l =1.85 km.

Paramètres de forme	superficie A (Km ²)	périmètre P (Km)	indice de gravilus K _c	Forme du bassin	L (m)	l (m)
Sous bassin d'oued Tiksiridene	30.8	37.3	1.88	Allongée	16.64	1.85

Tableau V: Tableau récapitulatif des paramètres de forme de sous bassin d'oued Tiksiriden

1.4.1.3. Caractéristiques de relief :

Le relief de Teksiriden présente une forme assez irrégulière. Au niveau de la chaîne de montagnes des monts Djurdjura .La topographie du bassin est très nette, son élévation varie entre 335 et 1936 mètres.

Le relief joue un rôle primordial dans le comportement hydrologique d'un bassin, car de nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude (précipitations, températures, etc.), l'éloignement à la mer et la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement. Le relief se détermine lui aussi au moyen d'indices ou de caractéristiques suivants :

a) courbe hypsométrique :

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface (ou le pourcentage de surface) du bassin qui se trouve au-dessus (ou au-dessous) de l'altitude. Elle exprime ainsi la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie, au-delà d'une certaine altitude.[3]

La figure suivante représente les courbes de niveau u bassin de Teksiriden :

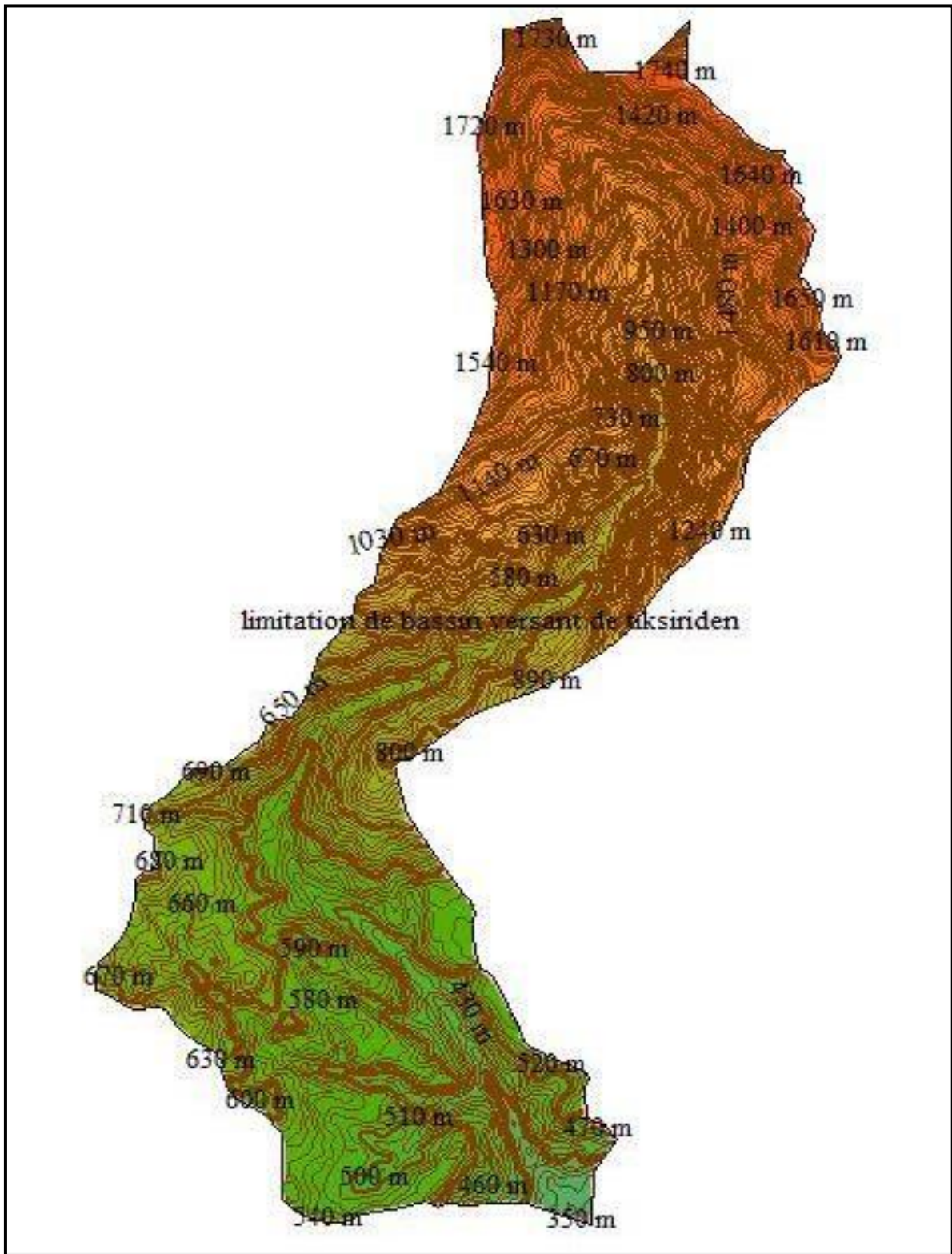


Figure 5 : les courbes de niveau u bassin de Teksiridene

Le tableau suivant représente les calculs de la surface et l'altitude pour répartition hypsométrique du bassin de Tiksiridene.

Chapitre I : Etude climatique et hydrologique

Altitude minimale	Altitude Maximale	Altitude moyenne	Surface partielle	(%)	Surface cumulée	Pourcentage (%)	Pourcentage cumulée
330	340	335	722558.16	2.348847	722558.16	2.3488469	100
340	350	345	23602.645	0.076726	746160.81	2.425573	97.6511531
350	360	355	75839.794	0.2465353	822000.6	2.6721082	97.574427
360	370	365	69513.73	0.2259709	891514.33	2.8980791	97.3278918
370	380	375	64987.249	0.2112565	956501.58	3.1093356	97.1019209
380	390	385	69030.828	0.2244011	1025532.4	3.3337367	96.8906644
390	400	395	84870.076	0.2758903	1110402.5	3.609627	96.6662633
400	410	405	113199.18	0.3679808	1223601.7	3.9776079	96.390373
410	420	415	137737.99	0.4477501	1361339.7	4.425358	96.0223921
420	430	425	151034.17	0.4909725	1512373.8	4.9163304	95.5746421
430	440	435	195997	0.6371348	1708370.8	5.5534652	95.0836696
440	450	445	217921.83	0.7084067	1926292.7	6.2618719	94.4465348
450	460	455	239376.57	0.7781504	2165669.2	7.0400223	93.7381281
460	470	465	272024.5	0.8842803	2437693.7	7.9243025	92.9599777
470	480	475	321437.65	1.0449094	2759131.4	8.9692119	92.0756975
480	490	485	353348.48	1.1486432	3112479.9	10.117855	91.0307881
490	500	495	433330.38	1.4086433	3545810.2	11.526498	89.8821449
500	510	505	541326.29	1.7597097	4087136.5	13.286208	88.4735015
510	520	515	560350.72	1.8215531	4647487.2	15.107761	86.7137919
520	530	525	602575.65	1.9588153	5250062.9	17.066577	84.8922387
530	540	535	666104.62	2.1653313	5916167.5	19.231908	82.9334235
540	550	545	725554.95	2.3585887	6641722.5	21.590497	80.7680921
550	560	555	691103.79	2.2465971	7332826.3	23.837094	78.4095034
560	570	565	566033.52	1.8400264	7898859.8	25.67712	76.1629064
570	580	575	511606.34	1.663098	8410466.1	27.340218	74.32288
580	590	585	477190.89	1.5512224	8887657	28.89144	72.659782
590	600	595	485569.88	1.5784603	9373226.9	30.469901	71.1085597
600	610	605	444051.71	1.4434956	9817278.6	31.913396	69.5300994
610	620	615	422775.92	1.3743336	10240055	33.28773	68.0866039
620	630	625	422045.79	1.3719601	10662100	34.65969	66.7122703
630	640	635	462587.53	1.5037507	11124688	36.16344	65.3403102
640	650	645	430898.55	1.4007381	11555586	37.564179	63.8365596
650	660	655	406724.46	1.3221545	11962311	38.886333	62.4358215
660	670	665	425189	1.3821779	12387500	40.268511	61.113667
670	680	675	351109.71	1.1413655	12738610	41.409876	59.7314891
680	690	685	299899.21	0.9748936	13038509	42.38477	58.5901236
690	700	695	233977.54	0.7605996	13272486	43.14537	57.61523
700	710	705	213280.11	0.6933177	13485766	43.838687	56.8546304
710	720	715	207288.95	0.673842	13693055	44.512529	56.1613127
720	730	725	206876.43	0.672501	13899932	45.18503	55.4874708

Chapitre I : Etude climatique et hydrologique

730	740	735	183091.8	0.5951834	14083024	45.780214	54.8149698
740	750	745	192886.07	0.627022	14275910	46.407236	54.2197864
750	760	755	178828.37	0.5813241	14454738	46.98856	53.5927644
760	770	765	181930.75	0.5914091	14636669	47.579969	53.0114403
770	780	775	188402.55	0.6124472	14825071	48.192416	52.4200312
780	790	785	190894.45	0.6205478	15015966	48.812964	51.807584
790	800	795	194225.56	0.6313763	15210191	49.44434	51.1870362
800	810	805	192097.54	0.6244587	15402289	50.068799	50.5556599
810	820	815	175657.99	0.571018	15577947	50.639817	49.9312012
820	830	825	159703.71	0.5191548	15737651	51.158972	49.3601832
830	840	835	159686.82	0.5191	15897337	51.678072	48.8410283
840	850	845	162100.54	0.5269463	16059438	52.205018	48.3219284
850	860	855	165965.65	0.5395108	16225404	52.744529	47.7949821
860	870	865	161362.53	0.5245473	16386766	53.269076	47.2554713
870	880	875	155271.66	0.5047474	16542038	53.773823	46.7309241
880	890	885	151987.97	0.494073	16694026	54.267896	46.2261766
890	900	895	152548.63	0.4958956	16846574	54.763792	45.7321036
900	910	905	134032.1	0.4357032	16980607	55.199495	45.2362081
910	920	915	141139.1	0.4588062	17121746	55.658301	44.8005049
920	930	925	136723.54	0.4444523	17258469	56.102754	44.3416987
930	940	935	138369.39	0.4498026	17396839	56.552556	43.8972464
940	950	945	134354.24	0.4367504	17531193	56.989307	43.4474438
950	960	955	135755.01	0.4413039	17666948	57.430611	43.0106934
960	970	965	142559.06	0.4634221	17809507	57.894033	42.5693895
970	980	975	138907.84	0.4515529	17948415	58.345586	42.1059674
980	990	985	138182.66	0.4491956	18086597	58.794781	41.6544145
990	1000	995	137555.59	0.4471571	18224153	59.241938	41.2052189
1000	1010	1005	138421.83	0.4499731	18362575	59.691911	40.7580618
1010	1020	1015	136960.83	0.4452237	18499536	60.137135	40.3080887
1020	1030	1025	142840.07	0.4643356	18642376	60.601471	39.862865
1030	1040	1035	140860.23	0.4578996	18783236	61.05937	39.3985295
1040	1050	1045	141824.2	0.4610332	18925060	61.520403	38.9406298
1050	1060	1055	140880.74	0.4579663	19065941	61.97837	38.4795966
1060	1070	1065	141267.68	0.4592241	19207209	62.437594	38.0216303
1070	1080	1075	142318.69	0.4626407	19349527	62.900235	37.5624061
1080	1090	1085	150844.8	0.4903569	19500372	63.390591	37.0997654
1090	1100	1095	157753.68	0.5128158	19658126	63.903407	36.6094086
1100	1110	1105	167488.53	0.5444613	19825614	64.447868	36.0965928
1110	1120	1115	165837.26	0.5390934	19991451	64.986962	35.5521315
1120	1130	1125	160649.16	0.5222282	20152101	65.50919	35.0130381
1130	1140	1135	165171.39	0.5369288	20317272	66.046119	34.4908099
1140	1150	1145	169365.09	0.5505614	20486637	66.59668	33.953881
1150	1160	1155	171987.3	0.5590856	20658624	67.155766	33.4033196

Chapitre I : Etude climatique et hydrologique

1160	1170	1165	171052.79	0.5560477	20829677	67.711814	32.844234
1170	1180	1175	167178.94	0.5434549	20996856	68.255269	32.2881863
1180	1190	1185	174788.76	0.5681924	21171645	68.823461	31.7447314
1190	1200	1195	173650.93	0.5644936	21345296	69.387955	31.1765391
1200	1210	1205	176465.05	0.5736416	21521761	69.961596	30.6120455
1210	1220	1215	182004.94	0.5916503	21703766	70.553246	30.0384039
1220	1230	1225	179485.66	0.5834608	21883251	71.136707	29.4467536
1230	1240	1235	175948.39	0.571962	22059200	71.708669	28.8632929
1240	1250	1245	193451.09	0.6288587	22252651	72.337528	28.2913308
1250	1260	1255	191597.87	0.6228344	22444249	72.960362	27.6624721
1260	1270	1265	167323.05	0.5439233	22611572	73.504286	27.0396377
1270	1280	1275	154767.5	0.5031085	22766339	74.007394	26.4957144
1280	1290	1285	154192.51	0.5012394	22920532	74.508633	25.9926059
1290	1300	1295	157604	0.5123292	23078136	75.020963	25.4913665
1300	1310	1305	166715.98	0.5419499	23244852	75.562913	24.9790373
1310	1320	1315	170066.74	0.5528423	23414919	76.115755	24.4370874
1320	1330	1325	171824.44	0.5585561	23586743	76.674311	23.884245
1330	1340	1335	184534.77	0.5998741	23771278	77.274185	23.3256889
1340	1350	1345	183354.5	0.5960374	23954632	77.870223	22.7258148
1350	1360	1355	178896.11	0.5815443	24133528	78.451767	22.1297774
1360	1370	1365	177159.57	0.5758993	24310688	79.027666	21.5482331
1370	1380	1375	171521.6	0.5575717	24482210	79.585238	20.9723339
1380	1390	1385	177157.59	0.5758928	24659367	80.161131	20.4147622
1390	1400	1395	179304.31	0.5828713	24838672	80.744002	19.8388693
1400	1410	1405	177951.6	0.578474	25016623	81.322476	19.2559981
1410	1420	1415	178385.91	0.5798858	25195009	81.902362	18.6775241
1420	1430	1425	171107.28	0.5562249	25366116	82.458587	18.0976383
1430	1440	1435	169879.79	0.5522346	25535996	83.010821	17.5414135
1440	1450	1445	169848.03	0.5521314	25705844	83.562953	16.9891789
1450	1460	1455	170698.81	0.554897	25876543	84.11785	16.4370475
1460	1470	1465	164151.36	0.533613	26040694	84.651463	15.8821505
1470	1480	1475	167581.15	0.5447624	26208275	85.196225	15.3485375
1480	1490	1485	170660.62	0.5547729	26378936	85.750998	14.8037751
1490	1500	1495	168961.1	0.5492482	26547897	86.300246	14.2490022
1500	1510	1505	181866.37	0.5911998	26729764	86.891446	13.699754
1510	1520	1515	202416.09	0.6580016	26932180	87.549447	13.1085542
1520	1530	1525	211699	0.6881779	27143879	88.237625	12.4505526
1530	1540	1535	206137.05	0.6700974	27350016	88.907723	11.7623747
1540	1550	1545	192218.81	0.6248529	27542234	89.532576	11.0922773
1550	1560	1555	181192.13	0.5890081	27723427	90.121584	10.4674244
1560	1570	1565	176443.81	0.5735725	27899870	90.695156	9.87841632
1570	1580	1575	171098.35	0.5561958	28070969	91.251352	9.3048438
1580	1590	1585	167070.23	0.5431015	28238039	91.794453	8.74864798

1590	1600	1595	162744.03	0.5290381	28400783	92.323492	8.20554651
1600	1610	1605	154116.89	0.5009936	28554900	92.824485	7.67650837
1610	1620	1615	153776.38	0.4998867	28708676	93.324372	7.17551481
1620	1630	1625	148788.42	0.4836721	28857465	93.808044	6.67562816
1630	1640	1635	155558.89	0.5056811	29013024	94.313725	6.19195607
1640	1650	1645	150413.15	0.4889537	29163437	94.802679	5.68627494
1650	1660	1655	154419.87	0.5019785	29317857	95.304657	5.19732125
1660	1670	1665	145366.96	0.4725498	29463224	95.777207	4.69534277
1670	1680	1675	144616.21	0.4701093	29607840	96.247316	4.22279294
1680	1690	1685	158193.98	0.5142471	29766034	96.761564	3.7526836
1690	1700	1695	134333.43	0.4366827	29900367	97.198246	3.23843649
1700	1710	1705	105547.89	0.3431085	30005915	97.541355	2.80175377
1710	1720	1715	103162.52	0.3353543	30109078	97.876709	2.45864528
1720	1730	1725	106868.72	0.3474022	30215946	98.224111	2.12329101
1730	1740	1735	91290.782	0.2967624	30307237	98.520874	1.77588884
1740	1750	1745	91760.337	0.2982888	30398997	98.819162	1.47912647
1750	1760	1755	104538.28	0.3398265	30503536	99.158989	1.1808377
1760	1770	1765	72351.105	0.2351945	30575887	99.394183	0.8410112
1770	1780	1775	32223.609	0.1047505	30608110	99.498934	0.60581675
1780	1790	1785	19652.275	0.0638844	30627763	99.562818	0.50106626
1790	1800	1795	17447.259	0.0567165	30645210	99.619535	0.43718187
1800	1810	1805	15137.524	0.0492081	30660348	99.668743	0.38046541
1810	1820	1815	14647.438	0.047615	30674995	99.716358	0.33125729
1820	1830	1825	11511.711	0.0374216	30686507	99.753779	0.28364231
1830	1840	1835	9327.8191	0.0303223	30695834	99.784102	0.24622076
1840	1850	1845	9489.6877	0.0308485	30705324	99.81495	0.21589847
1850	1860	1855	10276.908	0.0334075	30715601	99.848358	0.18504999
1860	1870	1865	9636.1982	0.0313248	30725237	99.879682	0.15164246
1870	1880	1875	11555.873	0.0375651	30736793	99.917247	0.12031771
1880	1890	1885	11140.507	0.0362149	30747934	99.953462	0.0827526
1890	1900	1895	6156.5916	0.0200135	30754090	99.973476	0.04653773
1900	1910	1905	3273.4551	0.0106411	30757364	99.984117	0.02652427
1910	1920	1915	2635.1394	0.0085662	30759999	99.992683	0.01588313
1920	1930	1925	1658.9355	0.0053928	30761658	99.998076	0.00731698
1930	1940	1935	591.9319	0.0019242	30762250	100	0.00192422

Tableau VI: le tableau hypsométrique

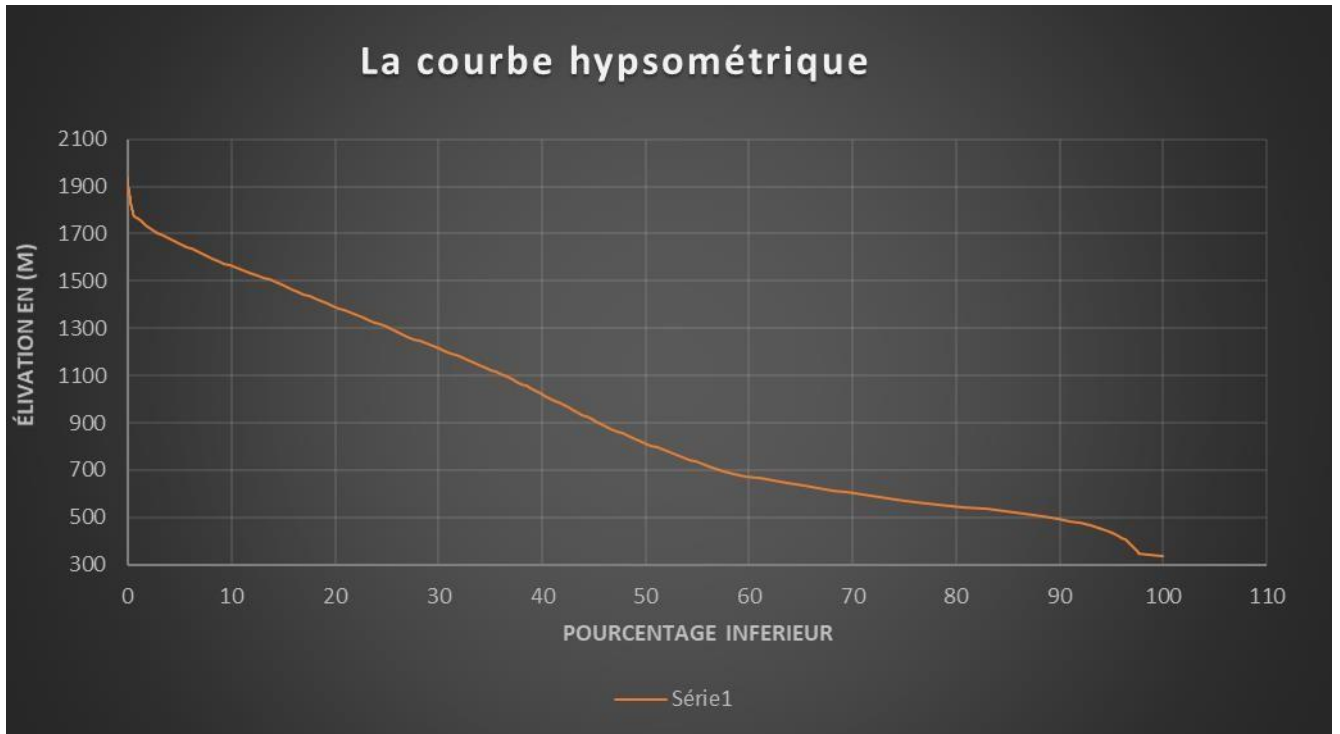


Figure 6: courbe hypsométrique

b) Les altitudes caractéristiques :

Il existe trois types d'altitudes caractéristiques qu'on peut calculer à partir de la courbe hypsométrique :

1-Altitudes minimale et maximale :

Elles sont obtenues directement à partir de cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire. Ces deux données deviennent surtout importantes lors du développement de certaines relations faisant intervenir des variables climatologiques telles que la température, la précipitation et le couvert neigeux. Elles déterminent l'amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent aussi dans le calcul de la pente. (MUZY André, 1998).

$$H_{\min}=335\text{m}$$

$$H_{\max}=1936\text{m}$$

2-Altitude moyenne :

L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique. On peut la définir comme suit :

$$H_{moy} = \frac{1}{A} \sum A_i \times h_i \quad (4)$$

Avec :

H_{moy} : altitude moyenne du bassin [m] ;

A_i : aire comprise entre deux courbes de niveau [km^2] ;

h_i : altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m] ;

A : superficie totale du bassin versant [km^2].

L'altitude moyenne est peu représentative de la réalité. Toutefois, elle est parfois utilisée dans l'évaluation de certains paramètres hydrométéorologiques ou dans la mise en œuvre de modèles hydrologiques.

$H_{moy} = 932.7 \text{ m}$

3-L'altitude médiane :

Correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique. Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière.

$H_{50\%} = 815 \text{ m}$.

c)Les indice de pente

Le but de ces indices est de caractériser les pentes d'un bassin versant et de permettre des comparaisons et des classifications. Les indices de pente se déterminent à partir de la connaissance de la répartition hypsométrique sur le bassin.[4]

1-La dénivelée 'd' : est la différence d'altitudes entre deux points de la surface terrestre, donc c'est la différence entre $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$.

Depuis la courbe hypsométrique on a :

$H_{5\%} = 1655 \text{ m}$

$H_{95\%} = 435 \text{ m}$

Donc $d = H_{5\%} - H_{95\%} = 1655 - 435 = 1220 \text{ m}$, ou d est la dénivelée.

$H_{5\%}$ et $H_{95\%}$ sont les altitudes entre lesquelles s'inscrit 90 % de la surface du bassin versant.

2- Indice de pente moyenne (I_{moy}) : la pente moyenne apporte des renseignements importants sur la topographie du bassin versant, sur le ruissellement et influence directement sur le débit de pointe lors d'un avers. Elle est définie comme le rapport entre la dénivelée totale de rectangle équivalent et sa longueur.[4]

$$I_{moy} = \frac{D_t}{L} \quad (5)$$

I_{moy} : indice de pente moyen.

D_t : la dénivelée totale ($H_{max} - H_{min}$).

L : la longueur totale du rectangle équivalent. En km

$$I_{moy} = 1601/16.64$$

$$I_{moy} = 96.2 \text{ m/km}$$

3-Indice de pente globale (I_g)

Il est d'application simple et il est donné par la relation :

$$I_g = \frac{d}{L} \tag{6}$$

Avec :

d: dénivelée entre les altitudes en m

L : longueur du rectangle équivalent en Km

d est déterminé à partir de la courbe hypsométrique tel que :

$$d = H_{5\%} - H_{95\%}$$

H_{5%} et H_{95%} sont les altitudes entre les quelles s'inscrit 90 % de la surface du bassin versant.

I_g=73.32 m/km. Donc I_g= 7.33%

Relief très faible	I _g < 2
Relief faible	2 < I _g < 5
Relief assez faible	50.005 < I _g < 10
Relief modéré	10 < I _g < 20
Relief assez fort	20 < I _g < 50
Relief fort	50 < I_g < 100
Relief très fort	I _g > 100

Tableau VII: Classification du relief d'après O.R.S.T.O .M.00

Le bassin de Teksiridene un relief fort.

4-La dénivelée Spécifique « D_s » : (Muzy André, 1998)

Elle est calculée par la formule suivante :

$$D_s = I_g \times \sqrt{A} \tag{7}$$

Avec :

I_g : Indice de pente global

A : Surface du bassin versant (km²) ;

$$D_s = 407 \text{ m}$$

La classification Etat du relief L'intervalle de D_s :

R1	Relief très faible	Ds<10m
R2	Relief faible	10m<Ds<20m
R3	Relief assez faible	25m<Ds<50m
R4	Relief modéré	50m<Ds<100m
R5	Relief assez fort	100m<Ds<250m
R6	Relief fort	250m<Ds<500m
R7	Relief très fort	Ds>500m

Tableau VIII: La classification d'O.R.S.T.O.M

Donc : c'est un relief fort.

Ce tableau représente les caractéristiques de relief du bassin versant d'oued Teksiridene :

Caractéristiques	Hmax	Hmin	Hmed	Hmoy	H5%	H95%	D	Dt	Ds	Imoy	Ig
Bassin de Tiksiridene	1936	335	815	932	1655	435	1220	1601	407	96.2	73.32

Tableau IX: Tableau récapitulatif des altitudes caractéristiques et les indices de la pente de sous bassins

I.5. Caractéristiques hydrographiques du bassin versant

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Le réseau hydrographique est sans doute une des caractéristiques les plus importantes du bassin. Le réseau hydrographique peut prendre une multitude de formes. La différenciation du réseau hydrographique d'un bassin est due à quatre facteurs principaux sont : la géologie, le climat, la pente de terrain, la présence humaine. Elle est représentée par :

I.5.1 la chevelure hydrographique

Le réseau hydrographique peut être représenté avec un chevelu plus ou moins développé. Le développement du chevelu est lié à un paramètre : le seuil de surface à partir duquel on observe une circulation permanente de l'eau.

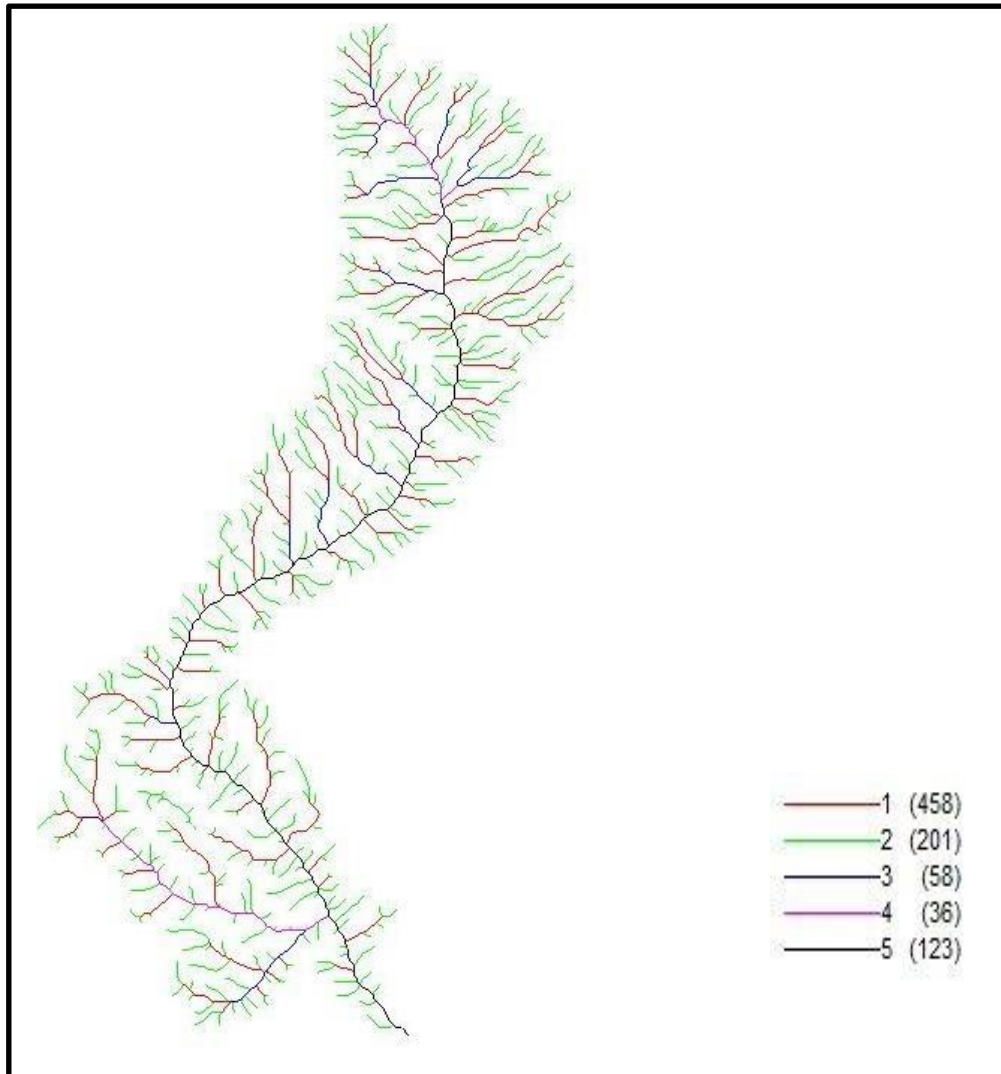


Figure 7: la chevelure hydrographique du bassin versant de Teksiriden

1.5.2. La densité de drainage

La densité de drainage, introduite par Horton, est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant :

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A} \quad (8)$$

Avec :

D_d : densité de drainage [km/km^2] ;

L_i : longueur de cours d'eau [km] ;

A : surface du bassin versant [km^2].

Les valeurs individuelles des lignes par ordre sont figurées dans le tableau suivant :

L'ordre	Ordre 1	Ordre 2	Ordre 3	Ordre 4	Ordre 5	La somme
La longueur [km]	91.51	43.72	9.94	5.05	13	163.21
Le nombre des cours d'eau	458	201	58	36	128	881

Tableau X : la longueur des cours d'eau du bassin versant de Teksiriden.

On obtient : **Dd= 5.30 [km/km²]**

1.5.3 La densité hydrographique

La densité hydrographique représente le nombre de canaux d'écoulement par unité de surface.

$$F = \frac{\sum N_i}{A} \quad (9)$$

Où :

F : densité hydrographique [km⁻²];

N_i : nombre de cours d'eau ;

A : superficie du bassin [km²]. On obtient : *F*= 28.6 [km⁻²].

Cette valeur présente en général une roche mère imperméable, un couvert végétal restreint et un relief montagneux. Parce qu'on a une haute densité de drainage et densité hydrographique, l'opposé se rencontre en région à substratum très perméable, à couvert végétal important et à relief peu accentué (Fathi Soltani).

1.5.4. La fréquence des thalwegs d'ordre 1 :

C'est le rapport du nombre total de thalwegs d'ordre 1 à la surface du bassin versant

$$F_t = \frac{N_1}{A} \quad (10)$$

Avec :

N₁ : Nombre de thalwegs d'ordre 1.

A : Superficie du bassin versant (km²). On a : *F_t* = 14.87 km⁻²

1.5.5. Temps de concentration du bassin versant " Tc " :

Le temps de concentration des eaux sur un bassin versant se définit comme le maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier. Il existe dans la littérature plusieurs formules. Il peut être notamment calculé par l'ancienne formule de Giandotti (1937), qui tient compte de la longueur du cours d'eau principal, et des altitudes moyenne et minimale soit :

1-Formule de Giandotti :

$$T_c = \frac{a\sqrt{A} + b \times L_p}{c\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \quad (11)$$

Avec :

a = 4 ; b = 1.5 ; c = 0.8 (pour les grands et moyens bassins d'Afrique du Nord)

A : surface du bassin versant en Km²

L_p : longueur du cours d'eau principal en Km

T_c : temps de concentration en heure

H_{moy}: altitude moyenne en m

H_{min}: altitude minimale en m.

Après calcul, on obtient : 1.302 h

2- Formule de KIRPICH :

$$T_c = 0.6615 \times (L_p)^{0.77} \times (I_g)^{-0.385} \quad (12)$$

Avec :

L_p : longueur du cours d'eau principal en Km

I_g : indice de la pente globale (%).

On obtient : 2.21 h

Comparaison des deux formules :

Formules	Giandotti	Kirpich
Temps de concentration (heures)	1.302	2.21

Tableau XI: Comparaison des résultats des formules.

Théoriquement on estime que T_c est la durée comprise entre la fin de la pluie nette et la fin du ruissellement. Pratiquement le temps de concentration peut être déduit de mesures sur le terrain ou s'estimer à l'aide de formules le plus souvent empiriques.

1.5.6. Coefficient de torrentialité :

C'est le produit entre la densité de drainage et la densité du thalweg. Il est donné par :

$$C_t = \frac{N_i}{S} D_d \quad (13)$$

Avec :

D_d : densité de drainage.

S : surface du bassin versant.

N_1 : nombre du thalweg d'ordre 1.

N_1/S : densité du thalweg.

Après calcul, On aura $C_t = 78.8 \text{ km}^{-3}$

1.5.7 Vitesse de ruissellement :

On entend par ruissellement l'écoulement par gravité à la surface du sol suivant la pente du terrain, et dans le micro-réseau hydrographique des eaux météoriques qui ont échappé à l'infiltration à l'évaporation et au stockage superficiel.

Cette vitesse est déterminée par la formule suivante :

$$v_r = \frac{L_p}{T_c} \tag{15}$$

Avec :

L_p : Longueur du thalweg principal (Km) ;

T_c : Temps de concentration (h).

On obtient : $V_r = 5.90 \text{ km/h}$

Le tableau ci-dessous récapitule les résultats obtenus :

Désignation	S_y	Unités	Valeur
Superficie	S	km ²	30.8
Périmètre	P	km	37.3
Longueur du thalweg principal	L_p	km	13
Indice de compacité	K_c	/	1.86
Rectangle équivalent	longueur	L_r	km
	largeur	l_r	Km
Altitudes	maximale	H_{max}	m
	moyenne	H_{Moy}	m
	Minimal	H_{min}	m
Indice de pente globale	I_g	m/Km	73.32
Indice de pente moyenne	I_m	m/Km	96.2
Densité de drainage	D_d	Km/Km ²	5.30
Coefficient de torrentialité	C_t	Km ⁻³	78.8
Temps de concentration	T_c	h	2.21
Vitesse de ruissellement	V_r	Km/h	5.90

Tableau XII : Tableau récapitulatif des caractéristiques hydrographiques du bassin versant de Teksiriden

Conclusion

Le bassin versant d'oued Teksiridene, avec sa superficie de 30.8 Km², et un périmètre de 37.3 Km, a une forme allongée, ce qui lui donne un temps de concentration assez court, il est situé dans la zone Nord-est de la willaya de Bouira qui est considérée comme une région plus arrosée en Algérie ; donc il est soumis à des fortes probabilités d'inondation, s'il n'est pas bien entretenu. Le bassin versant d'Oued Teksiridene a un relief fort avec une vitesse de ruissèlement fort égale à 5.90 km/h

Chapitre II : Etude de crue

Chapitre II : Etude de crue

Introduction :

La pluie est un phénomène associé aux systèmes nuageux, qui dépend des microphysiques des nuages et aussi des mouvements atmosphériques à plus grandes échelles. Les petites gouttes d'eau en suspension dans l'atmosphère constituent les nuages et sont appelées gouttelettes nuageuses. Les gouttes d'eau suffisamment grosses chutent et forment les gouttes de pluie.

II.1 Etude pluviométrique

La pluviométrie est l'évaluation quantitative des précipitations, de leur nature (pluie, neige, grésil, brouillard) et distribution. [6] Elle est calculée par diverses techniques (méthode de Thiessen, méthode des isohyètes). Plusieurs instruments sont utilisés à cette fin, dont le pluviomètre est le plus connu. L'unité de mesure varie selon le type de précipitations qui est soit solide ou liquide, mais elle est ramenée en millimètre d'équivalence en eau par mètre carré de surface à fin de comparaisons. Toute précipitation de moins de 0,1 mm est qualifiée de « trace ». [7]

La pluviométrie, avec la répartition de la température terrestre, conditionne les climats terrestres, la nature et le fonctionnement des écosystèmes ainsi que leur productivité primaire. Elle est l'un des facteurs conditionnant le développement des sociétés humaines et donc un enjeu géopolitique.

II.2. Etude des précipitations :

Les précipitations représentent l'élément le plus important du climat tant pour les êtres vivants que pour les milieux. Tant de raisons qui font que la majorité des études et analyses s'appuient sur les précipitations bien plus que sur d'autres paramètres du climat. Toutes les ressources en eaux superficielles ou souterraines sont conditionnées par les précipitations. L'analyse de la variabilité pluviométrique est très importante pour la prévision, la gestion des ressources hydriques. Afin de mieux l'étudier, il est intéressant, de chercher à situer le changement temporel de la pluviométrie constatée depuis 42ans dans la chronologie pluviométrique de cette période.

II.2.1 Données disponibles :

Nos données pluviométriques ont été acquises au niveau de l'ANRH (Agence Nationale Des Ressources Hydriques).

On résume les caractéristiques de notre station dans le tableau suivant :

Nom de station	Code	Période d'observation	Localisation administrative	Localisation bioclimatique	Pluie moyen annuel
Mechdala	15 03 01	1983-2013	Mechdala	Semi-Aride	295.30

Tableau XIII: Les caractéristique de la station de Mechdala

Les valeurs de cette station englobent les prélèvements effectués durant une période de 30 ans allant de 1983 à 2013, faisant apparaître les précipitations mensuelles pour chaque année de la série.

Les pluies maximales journalières de rares fréquences sont des pluies génératrices des crues d'importants débits, contre lesquels il faut protéger l'ouvrage.

Le tableau suivant représente la pluie maximale journalière de notre bassin :

Années	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	Pjmax
1983	27.8	2.4	20.1	17.9	42.0	96.5	8.7	19.7	29.9	11.9	0.0	9.3	96.5
1984	27.8	23.3	19.5	52.6	39.9	15.4	97.6	29.1	49.6	0.0	0.0	0.0	97.6
1985	14.0	25.2	58.7	29.0	52.0	39.4	82.8	7.0	3.9	15.4	0.0	7.0	82.8
1986	47.2	36.7	9.8	86.8	30.4	87.3	47.0	6.2	15.4	5.6	22.1	2.4	87.3
1987	7.0	17.4	64.7	18.0	16.5	20.6	45.7	39.9	11.3	7.5	0.7	1.9	64.7
1988	17.6	3.9	38.4	77.0	8.6	13.8	13.7	40.9	4.2	16.6	3.9	34.4	77.0
1989	70.4	22.2	16.5	13.2	26.3	0.0	37.0	28.4	42.4	10.7	18.6	0.0	70.4
1990	0.5	4.5	36.1	14.2	3.0	10.0	10.1	1.3	7.6	0.1	0.8	0.2	36.1
1991	2.4	15.5	7.8	0.2	6.9	1.4	5.4	10.1	70.3	17.5	0.6	0.0	70.3
1992	4.7	16.0	39.0	50.5	15.0	10.0	4.4	20.3	33.0	23.0	0.0	1.7	50.5
1993	74.0	7.0	47.5	32.4	11.4	43.3	0.2	7.5	2.3	0.6	0.0	7.2	74.0
1994	89.6	24.8	10.6	21.3	119.1	5.8	46.8	19.5	4.3	38.1	0.0	1.9	119.1
1995	8.6	11.3	1.6	14.5	29.3	55.7	47.8	28.5	31.8	9.2	9.9	3.9	55.7
1996	31.7	24.3	17.2	14.2	25.0	0.0	7.0	37.1	22.1	2.9	0.0	30.7	37.1
1997	76.4	25.7	67.8	30.3	28.2	31.5	6.0	33.5	86.3	5.5	0.0	8.3	86.3
1998	56.7	10.6	28.9	15.0	35.5	24.3	20.1	5.0	15.8	2.8	2.2	11.0	56.7
1999	50.1	9.2	18.6	77.1	0.3	0.0	8.1	9.1	40.7	0.1	0.0	0.1	77.1
2000	20.3	24.1	11.7	60.3	123.9	15.7	4.8	39.8	7.7	0.2	0.0	6.8	123.9
2001	31.4	3.7	23.9	6.0	39.2	21.0	11.7	1.0	6.9	5.5	6.7	26.9	39.2
2002	5.4	11.0	81.7	95.7	153.5	35.6	7.1	94.0	4.9	17.0	14.2	8.5	153.5
2003	7.7	79.5	34.0	98.9	26.9	9.4	35.1	65.4	95.7	2.0	5.9	1.3	98.9
2004	14.5	25.7	31.6	76.7	104.9	58.5	10.9	6.0	1.9	3.0	0.2	0.0	104.9
2005	21.2	22.5	36.1	38.5	0.0	33.0	4.3	10.3	27.4	0.1	13.1	5.4	38.5
2006	23.6	0.0	4.6	17.5	10.8	42.8	91.6	86.7	18.5	5.1	3.1	4.1	91.6
2007	37.6	59.7	19.8	5.6	11.4	27.0	46.4	4.2	37.2	11.3	1.3	3.4	59.7
2008	32.7	22.3	41.7	61.0	58.7	28.1	41.4	43.4	1.8	2.9	0.0	22.4	61.0
2009	46.2	7.7	57.1	54.5	37.2	73.7	35.9	6.8	25.1	46.6	0.0	14.0	73.7
2010	7.2	69.3	36.8	13.0	17.5	54.9	34.3	68.1	48.4	54.4	3.8	2.4	69.3
2011	4.7	32.3	47.5	22.1	16.2	74.0	33.3	47.3	9.4	0.0	0.1	0.3	74.0
2012	0.8	39.2	19.8	2.2	28.0	71.2	44.7	28.1	18.1	0.0	0.0	0.0	71.2
2013	0.6	12.9	41.0	15.3	23.6	8.2	46.7	28.1	5.3	12.7	0.0	7.2	46.7

Tableau XIV: Données pluviométriques mensuels et annuels de la station de Mehdala pour la période 1983-2013.

II.2.3 Traitement des données de pluviométrie

Les données pluviométriques permettent d'évaluer le facteur pluviomètre au niveau du bassin versant de Teksiriden.

Le traitement des données passe par les étapes suivantes :

- présentation de la série de précipitation par ordre croissant.
- calcul des caractéristiques empirique de la série des donner.
- calcul de la fréquence expérimentale.
- ajustement graphique de la loi choisie.
- calcul des quantiles et son intervalle de confiance.

NB : le logiciel utilisé pour effectuer ce traitement est '' Hyfran''

II.2.3.1 présentation des caractéristiques de la série

Le tableau suivant représente les caractéristiques de la série de Hyfran

Caractéristiques	La valeur
Minimum	36.1
Moyen	76.1
Maximum	154
L'écart type	26.4
Médiane	73.7
Coefficient de variation (cv)	0.347
Coefficient de Skewness (cs)	0.882
Coefficient de kutosis (ck)	3.60
L'exposant climatique (b)	0.385

Tableau XV: les caractéristiques de la série pluviométrique.

II.2.3.2 Choix de la loi d'ajustement

Comme il existe plusieurs méthodes d'ajustement des séries pluviométriques, l'efficacité d'une méthode d'estimation dépend de la loi de probabilité, de la taille de l'échantillon et de certaines caractéristiques de l'échantillon. Toutefois, de nombreuses études comparatives, autant empiriques que théoriques, ont été menées afin de déterminer dans quelles circonstances une méthode d'estimation est la plus efficace pour une loi donnée. [8]

Dans notre travail, on choisit les deux lois suivantes :

- 1) La loi de GUMBEL.
- 2) La loi de GALTON (log-normal).

L'ajustement des pluies maximales journalières sera traité par logiciel Hyfran.

II.2.3.3 Vérification de l'homogénéité de la série

La vérification de l'homogénéité de la série est indispensable avant de passer à l'ajustement. Un échantillon est dit homogène si les données dans les sous échantillons sont égales pour une période de retour donnée. D'après le test d'homogénéité de Wilcoxon intégré au logiciel Hyfran, la série des pluies maximales journalières est homogène.

II.2.3.4 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumbel

Cette loi a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante :

$$F(x) = e^{-e^{-a(x-x_0)}} \quad (16)$$

Tel que :

1/a : la pente de la droite de *Gumbel*

Y : variable réduite de *Gumbel*

x : précipitation maximale journalière (mm)

x0 : ordonnée à l'origine en (mm)

d'où :

$$y = -\ln(-\ln(F(x))) \quad (17)$$

Avant l'ajustement nous suivons les étapes suivantes :

1-Classement des données pluviométrique par ordre croissant avec attribution d'un range 1, 2, 3...n

2-Calcul de la fréquence expérimentale par la formule de HAZEN.

$$F(x) = \frac{m-0.5}{n} \quad (18)$$

Tel que :

m : rang de précipitation.

n : nombre d'observations. (20)

3-Calcul de la variable réduite de *GUMBEL* donnée par :

$$y = -\ln(-\ln(F(x)))$$

4-Calcul des paramètres d'ajustement « a » et « x0 ».

5-Représentation graphiquement des couples (xi, yi) sur papier GUMBEL. [5]

• **Gumbel (Méthode des moments)**

Représentation des résultats d'ajustements avec la loi Gumbel :

Les paramètres :

$U=64.2132$

$\text{Alpha}= 20.6212$

$q = F(X)$ (probabilité au non dépassement)

$T = 1/(1-q)$

X_t : La précipitation pour une période de retours donnée

T	Q	X_t	ecart type	Les intervalles de confiance
10000	0.9999	254	36.3	183 - 325
2000	0.9995	221	30.1	162 - 280
1000	0.999	207	27.5	153 - 260
200	0.995	173	21.3	132 - 215
100	0.99	159	18.6	123 - 196
50	0.98	145	16	113 - 176
20	0.95	125	12.5	101 - 150
10	0.9	111	9.92	91.2 - 130
5	0.8	95.1	7.34	80.7 - 110
3	0.6667	82.8	5.54	72.0 - 93.7
2.2	0.5475	74.7	4.61	65.6 - 83.7
2	0.5	71.8	4.36	63.2 - 80.3

Tableau XVI: Résultats de l'ajustement à la loi de Gumbel.

Représentation graphique de la loi de Gumbel.

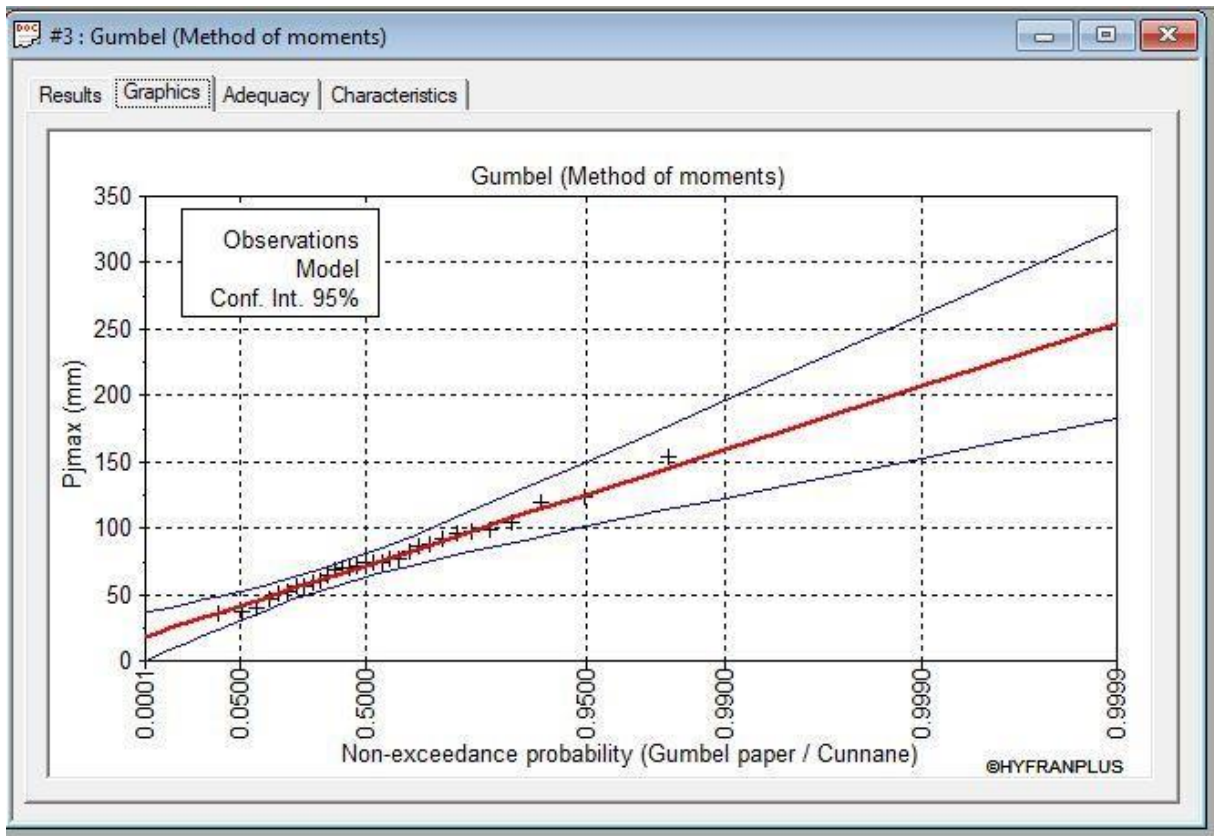


Figure 8: Ajustement à la loi de Gumbel

II.2.3.5 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Galton :

Le procédé d’ajustement est identique à celui établi pour la loi de Gumbel, seul la représentation graphique change ou elle est faite sur du papier *log-normale*.

La loi de Galton a une fonction de répartition qui s’exprime selon la formule suivante

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_u^{+\infty} e^{-\frac{1}{2}u^2} du \tag{19}$$

Tel que :

$$u = \frac{xi - \bar{x}}{\sigma} \text{ (Variable de réduite de Gauss)}$$

L’équation de la droite de GALTON est la suivante :

$$\log(x)p\% = \log(x) + 6*\log(u)p\% \tag{20}$$

• Galton (Log -Normal) :

Représentation des résultats d’ajustements avec la loi Galton (log-normal) :

Nombre d’observation N=21

Les Paramètres :

Mu=4.2751

$\sigma = 0.346187$

$q = F(X)$ (probabilité au non dépassement)

T : Période de retour : $T = 1 / (1 - q)$

Xt : La précipitation pour une période de retours donnée

T	q	Xt	ecart type	Les intervalles de confiance
10000	0.9999	288	61.7	167 - 409
2000	0.9995	249	47.9	155 - 343
1000	0.999	232	42.5	149 - 315
200	0.995	195	30.8	134 - 255
100	0.99	179	26.1	128 - 230
50	0.98	163	21.8	120 - 206
20	0.95	142	16.4	109 - 174
10	0.9	125	12.7	100 - 150
5	0.8	108	9.4	89.2 - 126
3	0.6667	93.5	7.31	79.2 - 108
2	0.5	80.7	6.02	68.9 - 92.5

Tableau XVII: Résultats de l'ajustement à la loi de log normal

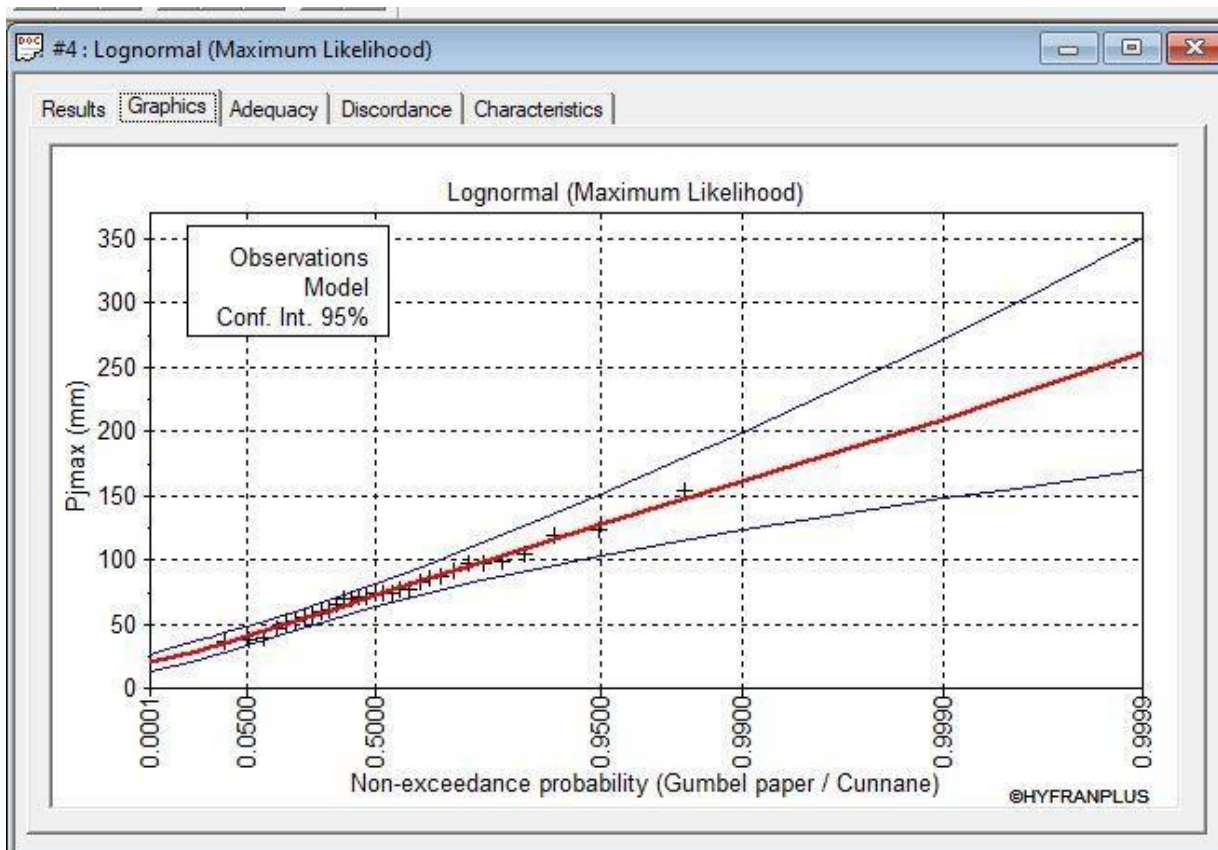


Figure 9: Ajustement à la loi log normale.

II.2.3.6 Comparaison entre les ajustements

Tous d'abord on trace les deux courbes dans un seul graphe :

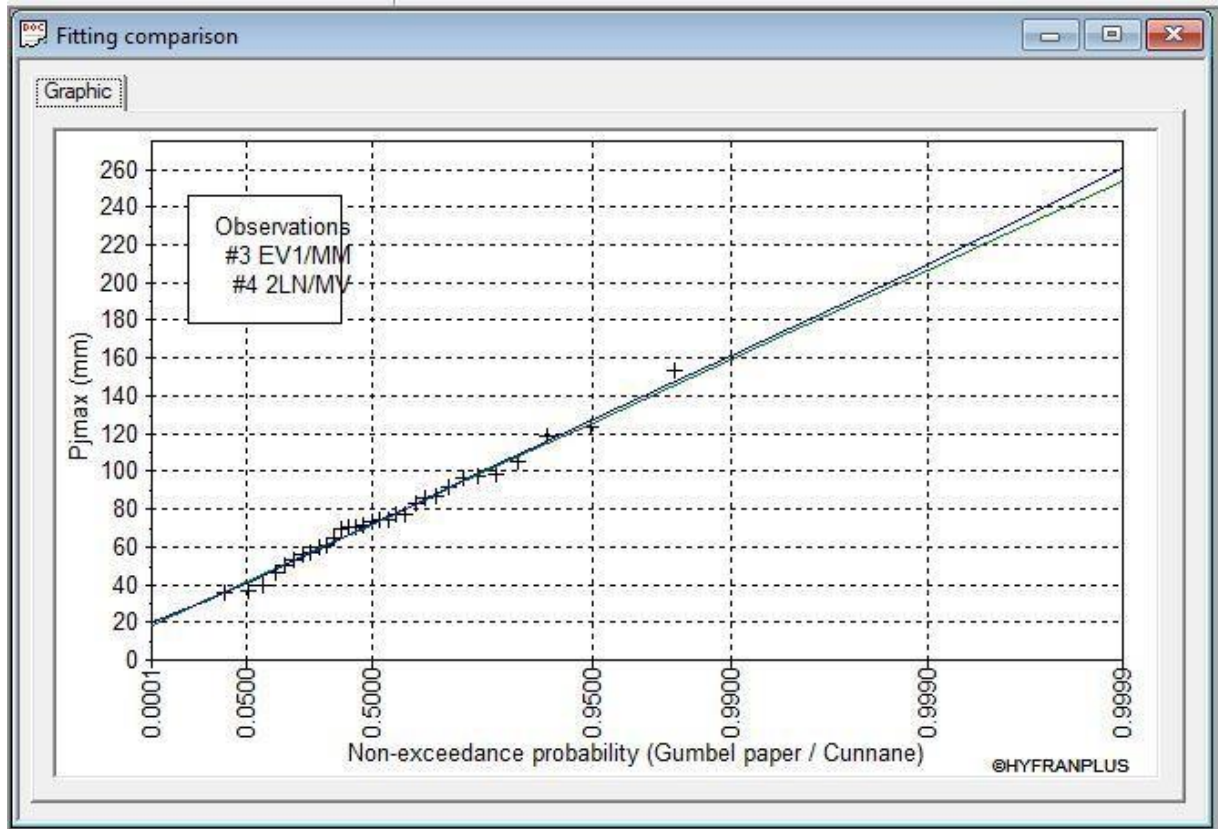


Figure 10: graphe de comparaison

Remarque

D'après l'ajustement de la série par les deux lois **Gumbel** et **Log-normal**. On constate que les droites d'ajustement sont bien ajustées par rapport aux nuages des points expérimentaux.

Mais on opte pour la loi **Log-normal** car il est mieux ajusté.

II.2.4 Pluies de courte durée :

Pour une période donnée (24 h) et une fréquence donnée, on peut estimer les pluies de courtes durées par la loi de BODY

$$P_{ct} = P_{\max,j} \left(\frac{T}{24} \right)^b \quad (21)$$

Avec T : la durée par heures

b : L'exposant climatique (b) = 0.385

Pct : La pluie de courte durée

Après avoir trouvé La pluie de courte durée, nous pouvons maintenant aussi calculer :

L'intensité de pluie I_t selon la formule suivante :

$$I_t = \frac{P_{ct}}{T} \quad (22)$$

Avec T : la durée par heures

Pct : La pluie de courte durée

Les pluies de courte durée et les intensités maximales pour différentes durées et différentes période de retour sont représentées dans le tableau suivant :

T	2		5		10		50		100	
Pmaxj	71.9		96.2		112		146		161	
le temps (h)	Pct	lct	Pct	lct	Pct	lct	Pct	lct	Pct	lct
1	21.15	21.15	28.30	28.30	32.95	32.95	42.95	42.95	47.36	47.36
2	27.62	13.81	36.96	18.48	43.03	21.51	56.09	28.04	61.85	30.93
2.2	28.65	13.02	38.34	17.43	44.63	20.29	58.18	26.45	64.16	29.16
3	32.29	10.76	43.20	14.40	50.30	16.77	65.56	21.85	72.30	24.10
4	36.07	9.02	48.26	12.06	56.19	14.05	73.24	18.31	80.77	20.19
5	39.31	7.86	52.59	10.52	61.23	12.25	79.81	15.96	88.01	17.60
6	42.16	7.03	56.41	9.40	65.68	10.95	85.62	14.27	94.41	15.74
7	44.74	6.39	59.86	8.55	69.69	9.96	90.85	12.98	100.19	14.31
8	47.10	5.89	63.02	7.88	73.37	9.17	95.64	11.96	105.47	13.18
9	49.29	5.48	65.94	7.33	76.78	8.53	100.08	11.12	110.36	12.26
10	51.33	5.13	68.67	6.87	79.95	8.00	104.22	10.42	114.93	11.49
11	53.25	4.84	71.24	6.48	82.94	7.54	108.12	9.83	119.23	10.84
12	55.06	4.59	73.67	6.14	85.77	7.15	111.80	9.32	123.29	10.27
13	56.78	4.37	75.97	5.84	88.45	6.80	115.30	8.87	127.15	9.78
14	58.43	4.17	78.17	5.58	91.01	6.50	118.64	8.47	130.83	9.34
15	60.00	4.00	80.28	5.35	93.46	6.23	121.83	8.12	134.35	8.96
16	61.51	3.84	82.30	5.14	95.81	5.99	124.90	7.81	137.73	8.61
17	62.96	3.70	84.24	4.96	98.08	5.77	127.85	7.52	140.98	8.29
18	64.36	3.58	86.11	4.78	100.26	5.57	130.69	7.26	144.12	8.01
19	65.72	3.46	87.93	4.63	102.37	5.39	133.44	7.02	147.15	7.74
20	67.03	3.35	89.68	4.48	104.41	5.22	136.10	6.81	150.09	7.50
21	68.30	3.25	91.38	4.35	106.39	5.07	138.68	6.60	152.93	7.28
22	69.53	3.16	93.03	4.23	108.31	4.92	141.19	6.42	155.70	7.08
23	70.73	3.08	94.64	4.11	110.18	4.79	143.63	6.24	158.38	6.89

Tableau XVIII: Pluies et intensités maximales de durée t(h) et les périodes de retour.

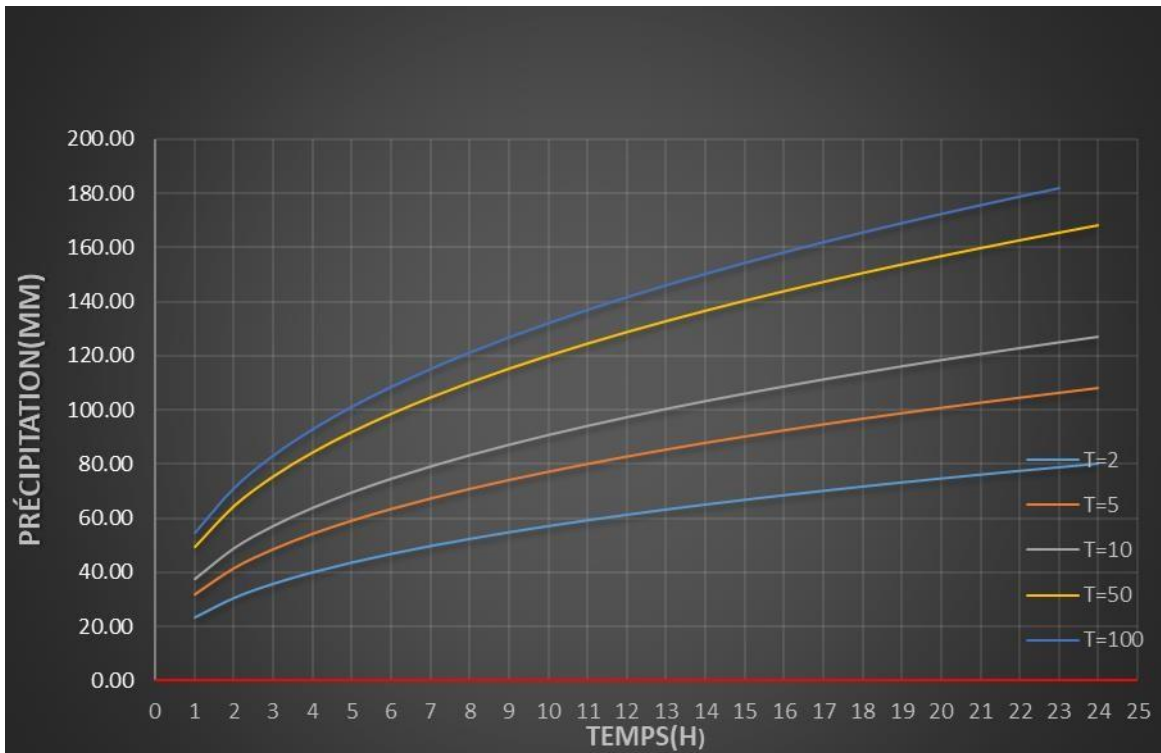


Figure 11: Courbes de pluies fréquentielles.

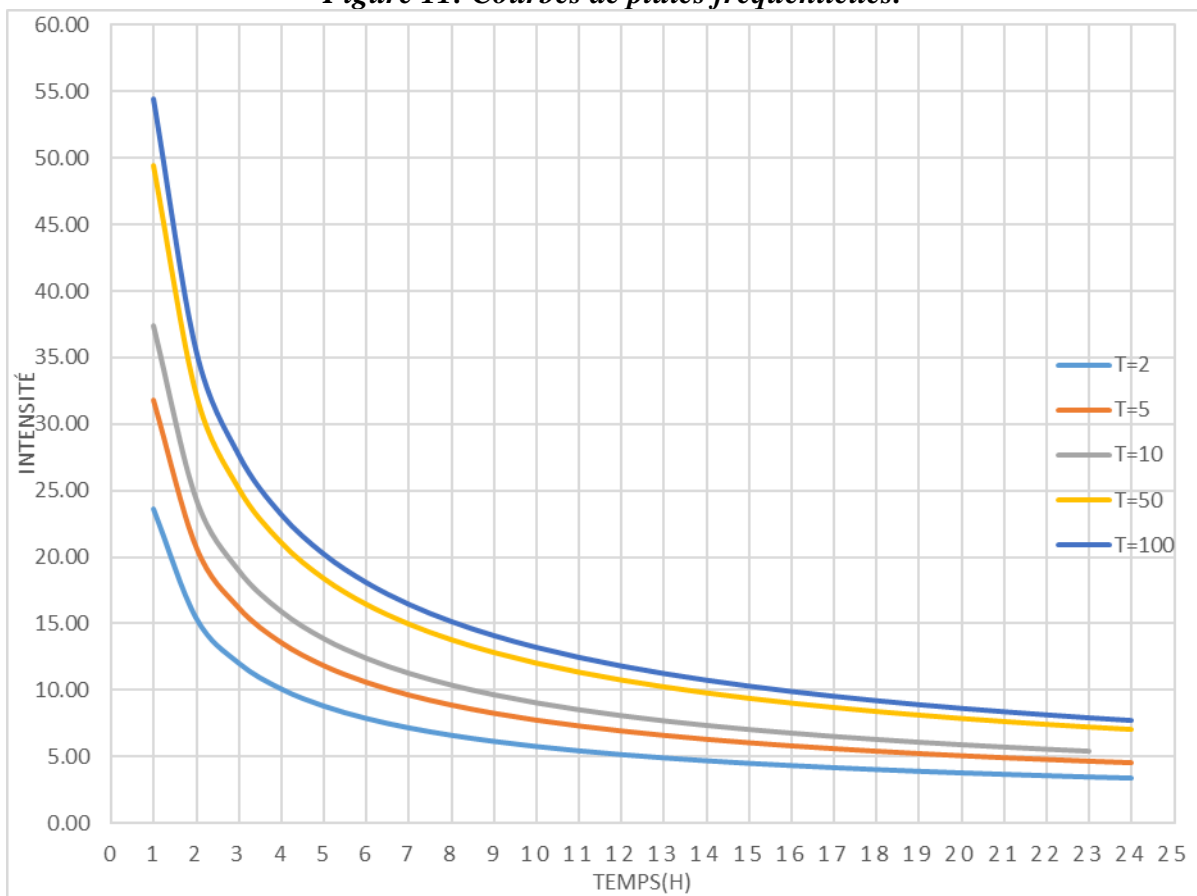


Figure 12 : Courbes intensité pour différentes durées et fréquences.

A l'aide de ce chapitre, nous avons établis l'étude hydrologique. Cette études a permis de trouver une loi d'ajustement qui s'adapte bien a notre série pluviométrique (la loi Galton).

II.3. Les apports

Les apports sont des ensembles des écoulements superficiels passant par l'exutoire d'un bassin versant

Ils peuvent être appréciés :

- en volume annuel (V), exprimé en m³
- en débit moyen annuel (Q), défini en m³/s, égal au volume (V) divisé par le nombre de secondes dans l'année ;
- en lame d'eau écoulée annuelle (Le), exprimée en mm, correspondant à la hauteur d'eau fictive qu'atteindrait le volume écoulé (V) s'il était uniformément réparti sur une surface horizontale de superficie égale à celle du bassin versant.

II.3.1. Estimation de l'apport moyen annuel (A0)

La détermination de ces apports est orientée de préférence aux observations hydrométriques .quand elles existent sur le bassin versant propre du site étudié ou par analogie avec un bassin voisin. A défaut de ces dernières, des modèles et des formules empiriques basés sur la pluviométrie devront être appliqués, ces modèles dépendent de la précipitation et du déficit.[4]

$$Q = f(p - d) \quad (23)$$

Tel que :

Q : débit annuel d'écoulement (apport) ;

p : précipitation moyenne annuelle ;

d : déficit qui englobe toutes les pertes du bilan hydrologique.

A défaut de toute donnée hydrométrique dans les différents sous bassins, l'apport moyen inter annuel sera estime par l'utilisation des formules empiriques.

Plusieurs formules empiriques sont utilisée pour l'estimation de lame d'eau moyenne ruisselle parmi ces formule on utilise celle qui suit :

a) Formule de Dery

$$A_{moy} = 0.915 * P_{moy}^{2.684} * S^{0.842} \quad (24)$$

P_{moy}: Pluie moyenne annuelle [m] ;

S : Superficie du bassin [Km²] ;

Le : lame d'eau écoulée [mm].

$$Le = \frac{A_{moy}}{S} \quad (25)$$

b) Formule de Medinguer :

$$Le = 1.024(P_{moy} - 0.26)^2 \quad (26)$$

Le : lame d'eau écoulée [mm].

Pmoy : Pluie moyenne annuelle [m].

S : La surface de bassin versant km.

$$A_0 = Le * S \quad (27)$$

c) Formule de Samie :

$$Le = P_{moy}^2 * (296 - 2.2 * \sqrt{S}) \quad (28)$$

$$A_0 = Le * S$$

Pmoy : Pluie moyenne annuelle en [m] ;

S : Surface du bassin versant en [km2] ;

Le : lame d'eau écoulée en [mm].

d) Formule de Deri II :

$$A_0 = 0.513 * P_{moy}^{2.683} * S^{0.842} \quad (29)$$

Pmoy : Pluie moyenne annuelle [m].

S : Superficie du bassin versant [Km2].

Dd : Densité de drainage [km/km²].

Après les calculs le tableau suivant représente les résultats :

La formule	Lame d'eau écoulée Le [mm]	Apport moyen A [Mm³]
a) Formule de DERY	20.1	0.62
b) Formule de MEDINGUER	1.27	0.039
c) Formule de SAMIE	24.49	0.754
d) Formule de Deri II	26.09	0.80

Tableau XIX: Les apports fréquentiels du bassin de Teksiriden

Remarque : les résultats des 3 formules (DERY, MEDINGUER, Deri II) sont proche par rapport la formule de Samie.

En Algérie généralement en choisie la formule de DREY

En éliminant les valeurs extrêmes, les valeurs adoptées pour moyen annuel A et la lame d'écoulement sont :

$$A_{\text{moy}} = 0.62 \text{ Mm}^3$$

$$L_e = 20.1 \text{ mm}$$

II.3.2 Caractéristiques de l'écoulement

a) *Le module d'écoulement M_e :*

$$M_e = \frac{A_{\text{moy}}}{T} \quad (30)$$

Avec :

M_e : module d'écoulement [l/s]

A_{moy} : Apport moyen [mm]

T : Temps d'une année en [secondes] "T = 31,536.10⁶ secondes".

$$M_e = 19.6 \text{ l/s}$$

b) *Module de l'écoulement relatif ou spécifique (M_0) :*

On a :

$$M_0 = \frac{M_e}{S} \quad (31)$$

M_0 : Module de l'écoulement ([l/s]).

S : Superficie du bassin [Km²].

$$M_0 = 0.63 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$$

c) *Coefficient de l'écoulement C_e :*

Il est donné par :

$$C_e = \frac{L_e}{P_{\text{moy}}} \quad (32)$$

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

L_e : Lamme d'eau écoulée en [mm].

$$C_e = 0.068$$

d) *Coefficient de variation :*

Le coefficient de variation caractérise la variation des valeurs annuelles des débits spécifiques maxima relativement (par rapport) à leur moyenne. Plus est grand le coefficient de variation plus on exige une série plus longue pour déterminer la moyenne avec une précision donnée. Pour le calcul du coefficient de variation CV et en absence d'une série d'observation, on doit utiliser les formules empiriques.

1- Formule de Sokolovsky :

On a :

$$C_v = a - 0.063 * \log(s + 1) \quad (33)$$

Avec :

$$a = 0.78 - 0.29 * \log(M_0) \quad (34)$$

M0 : Module de l'écoulement relatif [l/s/km²].

1- Formule de L'Antonov :

On a :

$$C_v = \frac{0.7}{(S + 1000)^{0.097}} \quad (35)$$

S : Superficie du bassin en [km²].

2- Formule de Kristekly Menkel :

On a :

$$C_v = \frac{0.83}{S^{0.06} * M_0^{0.27}}$$

(36)

M0 : module de l'écoulement relatif [l/s/km²].

S : Superficie du bassin en [km²].

Les résultats de calcul sont récapitulés dans le Tableau suivant :

La formule	Coefficient de variation Cv
Formule de Sokolovsky	0.14
Formule de L'Antonov	0.357
Formule de Kristekly Meckel	0.765

Tableau XX: Récapitulatif des résultats des coefficients des variantes.

Coefficient de variation moyen calculé à base des formules empiriques sera donc

$$C_v = \frac{C_{v1} + C_{v2} + C_{v3}}{3} \quad (37)$$

Donc cv= 0.42

Les caractéristiques d'écoulement sont regroupées dans le tableau suivant :

Bassin	S km ²	Le mm	Amoy	Me	M0	Ce	Cv1	Cv2	Cv3	Cvmoy
Teksiriden	30.8	20.1	0.62	19.6	0.63	0.068	0.14	0.357	0.765	0.42

Tableau 21: les caractéristique de l'ecoulement

II.3.3 Différentes méthodes d'évaluation des crues :

Les techniques utilisées pour la détermination des crues dépendent pour une grande part des données disponibles. Presque chaque problème qui se produit est uniquement, dues variations des conditions et des données. La disponibilité des données plutôt que la nature des problèmes conditionne la procédure. Il n' existe pas encore une unicité de calcul des crues, les méthodes de calcul diffèrent aussi selon léchage d'études.

II.3.3.1 Méthodes historiques :

Etudes des archives, enquêtes auprès des populations et recherches d' anciennes traces des crues (les niveaux atteints par les crues du passe).

II.3.3.2 Méthodes empiriques :

Relations établies entre le débit et la surface du bassin versant, la pluie et la période de retour comme les formules de Fuller, Snyder, Possenti, etc.)

1- Formule de Mallet-Gauthier :

On a :

$$Q_{\max p\%} = 2 * k * \log(1 + A * P_{tc}) * \left(\frac{S}{\sqrt{L}} \right) * \sqrt{(1 + 4 * \log(T) - \log(s))} \quad (37)$$

Qmax p% : Débit maximum pour une fréquence donnée (m3/s) ;

Ptc : pluie de courte durée mm

A : Apport liquide (Mm³) ; 0.62

S : Superficie du bassin versant (Km²) =30.8

L : Longueur du talweg principal (Km) =13

K : Constante dépendant des caractéristiques du bassin : K (1-3) ;

On prend : K = 2

T : Période de retour (an).

Période de retour (an).	Fréquence	Ptc	Qmax p%
5	0.99	38.33	72.34
10	0.98	44.63	93.32
20	0.95	50.61	112.06
50	0.9	58.18	134.65
100	0.8	64.16	150.82

Tableau XXII: Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de Mallet-Gauthier

Formule de Sokolovsky :

$$Q_{\max p\%} = \frac{0.28 * (ptc - H_0) * \alpha * F * S}{T_c} \quad (38)$$

α : Coefficient de ruissellement de la crue probable pour une période donnée.

Avec

H0 perte initial= 3.52 mm

$$\alpha = \frac{\sqrt{P_{tc}} - \sqrt{H_0}}{\sqrt{P_{tc}} + \sqrt{H_0}} \quad (39)$$

F : Coefficient de forme de la crue tel que

$$F = \frac{12}{4 + 3\gamma} \quad (40)$$

Avec : $\gamma=2$ donc F=1.2

S : Superficie du bassin (Km²) ;

Condition	γ
Surface du B.V compris entre 1 et 50 km ²	$\gamma=2$
Pour un bassin boisé avec un sol peut perméable	$2<\gamma<2.5$
Pour un bassin boisé	$3<\gamma<4$
Pour les grands bassins	$4<\gamma<7$

Tableau XXIII: valeur de γ en fonction de bassin versant.

Période de retour (an).	Fréquence	Ptc	A	Qmax p%
5	0.99	38.34	0.53	86.83
10	0.98	44.63	0.56	100.88
20	0.95	50.61	0.58	119.91
50	0.9	58.18	0.61	144.57
100	0.8	64.16	0.62	164.41

Tableau XXIV: Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de Sokolovsky) Station de Mehdala

Formule de Turraza :

$$Q_{\max} = \frac{C * P_{tc} * S}{3.6 * T_c} \quad (41)$$

S : Superficie du bassin versant (Km²) ;

C : Coefficient de ruissellement en fonction de la probabilité donnée ;

Ptc : hauteur de pluies max. observée pendant t=tc.

Tc : temps de concentration

Période de retour (an).	Fréquence	A	Itc	Qmax p%
5	0.99	0.53	17.43	79.77
10	0.98	0.56	20.29	97.47
20	0.95	0.58	23.01	114.70
50	0.9	0.61	26.45	136.95
100	0.8	0.62	29.60	157.12

Tableau XXV: Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de Turraza)

Formule de Giandotti :

$$Q_{\max} = \frac{C * S * \sqrt{H_{\text{moy}} - H_{\text{min}}}}{4 * \sqrt{S} + 1.5 * L} * P_{tc} \quad (42)$$

Qmax (%) : débit maximum de crue en m³/s de même fréquence que celle de la pluie de courte durée ;

C : Coefficient topographique varie entre 66 et 166 ; Nous prenons C = 160

S : superficie du bassin versant (km²) ;

L : longueur du talweg principal (km) ;

Hmoy, Hmin : altitudes moyennes et minimales en (m) ;

Ptc : pluies de courte durée (mm).

Période de retour (an).	Fréquence	Ptc	Qmax p%
5	0.99	38.34	106.7074
10	0.98	44.63	124.2136
20	0.95	50.61	140.8571
50	0.9	58.18	161.9258
100	0.8	64.16	178.5693

Tableau XXVI: Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de Giandotti)

Les résultats de calcul de toutes les formules pour notre bassin versant sont représentés dans le Tableau suivant :

Période de retour (an).	5	10	20	50	100	MOYEN	
Fréquence	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99		
Ptc	38.34	44.63	50.61	58.18	64.16		
Formules	MALLET-GAUTHIER	72.34	93.32	112.06	134.65	150.02	112.47
	SOKOLOVSKY	86.83	100.83	119.91	144.57	164.41	123.31
	Turraza	97.77	97.47	114.70	136.95	157.12	120.80
	GIANDOTTI	106.7	124.21	140.85	161.92	178.56	142.45

Tableau XXVII: Récapitulatif des résultats de débit de crue

II.4. Hydrogrammes de crue :

Est une expression graphique de la variation du débit en fonction du temps il est caractérisé par :

- 1- temps de base (tb) : durée totale
- 2- temps de montée (tp) : durée entre le début et la pointe de l'hydrogramme,
- 3- temps de concentration (te) : durée entre la fin de la pluie nette et la fin de l'hydrogramme

1 : La méthode de Sokolovski assimile l'Hydrogramme de crue a' deux (02) courbes paraboliques d'équations :

$$Q_{m(t)} = Q_{\max p} * \left(\frac{T}{t_p} \right)^2 \quad (43)$$

2 : pour la courbe de concentration (courbe de montée),

$$Q_{d(t)} = Q_{\max p} * \left(\frac{T - T_d}{t_d} \right)^3 \quad (44)$$

3: pour la courbe de la décrue, Où:

Qm(t) : débit de la crue à l'instant (t) au cours de la montée des eaux.

Qmax.p : Débit maximum de crue (de pointe) en m³/s

Qd(t) : débit de la décrue à l'instant (t) pendant la période décrue.

tp : temps de montée (hrs).

Th : temps globale de décrue (hrs).

Td : temps de décrue (hrs) compté à partir du début de courbe de décrue.

Td = δ Tm (Sokolovski) ;

Th = Tm + Td ;

M, n : puissances des paraboles pour l'Algérie m=2 et n=3 ;

δ : Coefficient dépendant des caractéristiques du bassin versant, il est pris en général compris entre (2 et 4), celui-ci est fonction du cours d'eau (longueur), de la perméabilité et du boisement du bassin. On prend δ=3.

Condition	Δ
Petits cours d'eau et vallons dans des bassins versants dénudés et faiblement perméables.	2 à 2.5
Petits cours d'eau et vallons dans des bassins versants brisés ou perméables, moyens cours d'eau avec terrasses de lit majeur normales.	3 à 4
Grands et moyens cours d'eau avec des terrasses de débordements étendues.	4 à 7

Tableau XXVIII: Coefficient de forme de l'Hydrogramme de crue δ .

Paramètre	Δ	Tc=Tm	Td	Th
bassin	3	2.21	6.63	8.84

Tableau XXIX: Tableau récapitulatif des temps de concentration, de montée et de décrue.

Pour construire l'hydrogramme de crue de notre bassin de Teksiriden, nous avons utilisé les valeurs des débits de crues pour différentes périodes de retour, les résultats obtenus sont exposés dans les tableaux suivant :

PDR (h)	5	10	20	50	100
0	0	0	0	0	0
0.5	4.444524	5.163694437	6.137671	7.400033	8.415573
1	17.7781	20.65477775	24.55068	29.60013	33.66229
1.5	40.00072	46.47324993	55.23904	66.60029	75.74016
2	71.11239	82.61911099	98.20274	118.4005	134.6492
2.21	86.83	100.88	119.908	144.57	164.41
2.5	75.92713	88.21293296	104.8517	126.417	143.7657
3	59.34276	68.94504028	81.94946	98.80437	112.3637
3.5	45.36835	52.70942268	62.65148	75.53728	85.90361
4	33.78044	39.24646754	46.64914	56.24367	63.96225
4.5	24.35558	28.29656229	33.63386	40.55149	46.11655
5	16.8703	19.60009433	23.29707	28.08868	31.94341
5.5	11.10117	12.89745107	15.33017	18.48319	21.01973
6	6.824711	7.929019912	9.424593	11.36299	12.92238
6.5	3.81748	4.435188276	5.271754	6.356019	7.228284
7	1.85602	2.156343566	2.563073	3.090232	3.514318
7.5	0.716875	0.832873192	0.98997	1.193581	1.357382
8	0.17659	0.205164562	0.243863	0.294019	0.334369
8.5	0.01171	0.013605084	0.016171	0.019497	0.022173
8.84	0	0	0	0	0

Tableau XXX: Débit de crues pour différentes périodes de retour d'oued.

L'hydrogramme de crues est représenté dans les Figures suivant

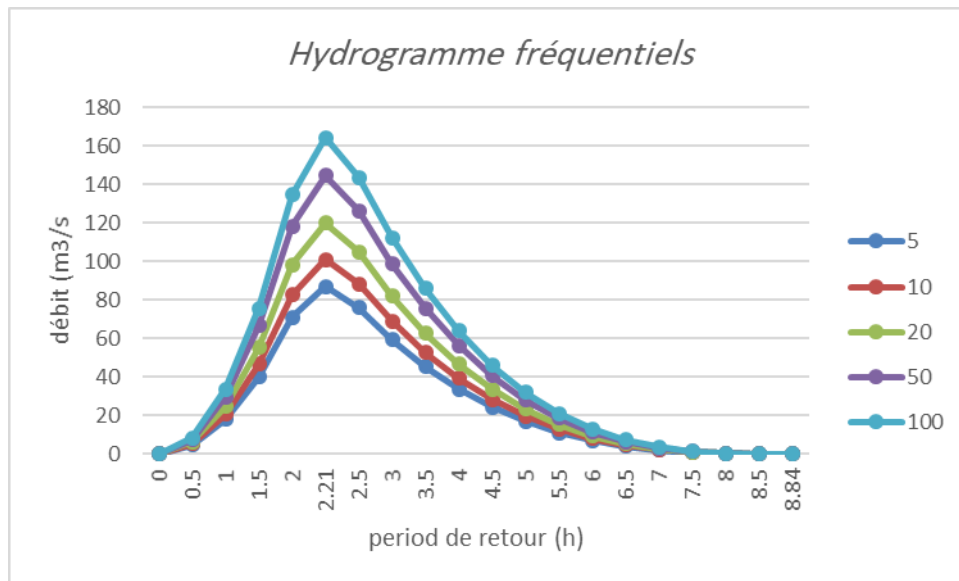


Figure 13: Hydrogramme fréquentiels des différentes périodes de retour d'oued Teksiriden.

II.5 conclusion

Les hydrogrammes des crues établis permettent de voir l'évolution des débits dans le temps ; et l'estimation des crues révèle une grande importance pour la sécurité de l'ouvrage à implanter. Pour la détermination du débit de pointe probable de la crue des différentes périodes de retour, différentes formules empiriques ont été sélectionnées pour le calcul, par manque d'observation. Suite au calcul du débit des crues du bassin versant de l'oued Teksiriden, On retient un débit de projet Q (100) de $164.41\text{m}^3/\text{s}$ au niveau de l'exutoire du bassin de l'oued. Une évaluation plus ou moins variée a permis de fixer les valeurs de débits qui traversant l'oued Teksiriden ont permis de dimensionner les ouvrages proposés pour se protéger contre les inondations affectant cette dernier.

Chapitre III : Etude Hydraulique sans Aménagement

Chapitre III : Etude Hydraulique sans Aménagement

Introduction :

La modélisation hydraulique est une schématisation simplifiée d'un système réel de l'écoulement à surface libre, pour modéliser l'écoulement dans des canaux à géométrie simple les modèles physiques (modèles réduits) donnent des résultats satisfaisants, tandis que l'écoulement dans les cours d'eau naturels nécessitent le recours aux modèles mathématiques ces derniers sont basés sur la résolution des équations de Saint venant issues de l'intégration sur la verticale des équations tridimensionnelles de Navier Stockes.

Les données nécessaires pour la résolution d'un modèle hydraulique sont la géométrie du cours d'eau (longueur, largeur, forme et morphologie), les données hydrauliques (hauteurs d'eau, vitesse, débit dans les sections amont et aval) ainsi que la rugosité de lit et des berges dans les différents points de calcul.

III.1 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. [9]

III.1 Les Canaux

C'est un système de transport dans lequel l'eau s'écoule et dont la surface libre est soumise à la pression atmosphérique. On distingue deux catégories de canaux :

- a) **Les canaux naturels** : sont des cours d'eaux existant naturellement sur ou sous terre, tels que, les ruisselets, torrents, rivières et les fleuves, dont les propriétés géométriques et hydrauliques sont généralement assez irrégulières. [9]
- b) **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. [9]

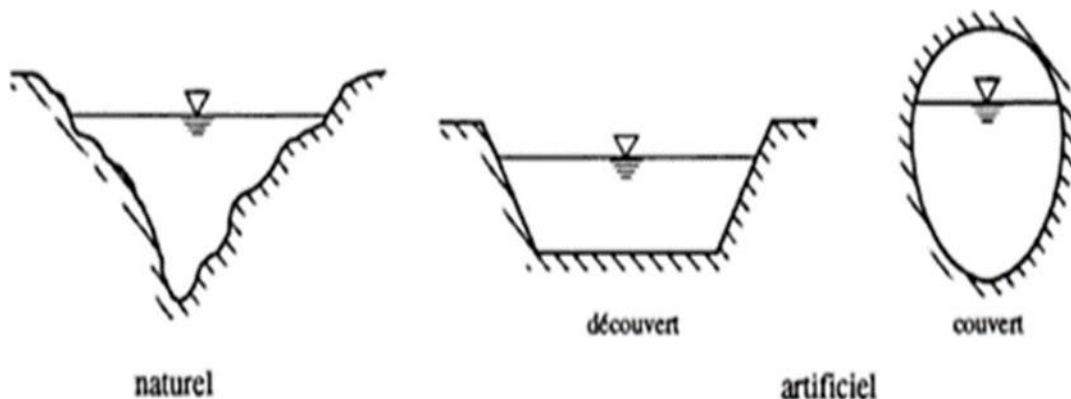


Figure 14: Types de canaux.

III.1.1 Géométrie et caractéristiques des canaux

Soit la section transversale d'un canal, donnée par la figure (II) ci-après :

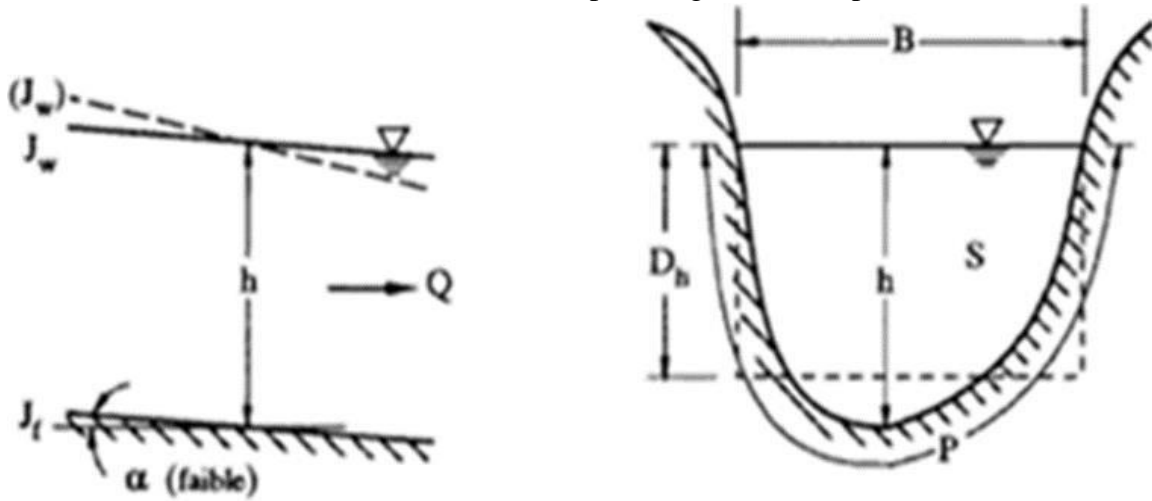


Figure 15: Eléments géométriques de la section

Les éléments géométriques d'une section d'un canal sont les suivants :

- La section mouillée (**S**) ; Eléments géométriques de la section
- Le périmètre mouillé (**P**) ;
- La largeur du canal à la surface libre ou largeur au miroir (**B**) ;
- le tirant d'eau (**h**) ;
- Le rayon hydraulique **R_h** : $R_h = S / P$;
- La profondeur hydraulique **D_h** : $D_h = S / B$;
- La pente du fond du canal (**I**) et la pente de la surface libre (**J**).

Nous avons présenté les caractéristiques géométriques des canaux dans le tableau suivant :

	Rectangle	Trapez	Triangle	Circle	Parabole
Largeur, B	b	$b + 2 \times mh$	$2 \times mh$	$(\sin \frac{\theta}{2}) \cdot D$ ou $2\sqrt{h \cdot (D-h)}$	$\frac{3S}{2h}$
Surface, S	$b \times h$	$(b + mh) \cdot h$	$m \times h^2$	$\frac{1}{8}(\theta - \sin \theta) \cdot D^2$	$\frac{2}{3}Bh$
Périmètre mouillé, P	$b + 2h$	$b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1+m^2}$	$2h \cdot \sqrt{1+m^2}$	$\frac{1}{2}\theta \cdot D$	$B + \frac{8h^2}{3B}$
Rayon hydraulique, R_h	$\frac{bh}{b+2h}$	$\frac{(b+mh) \cdot h}{b+2h \cdot \sqrt{1+m^2}}$	$\frac{mh}{2 \cdot \sqrt{1+m^2}}$	$\frac{1}{4} \left[\frac{1 - \sin \theta}{\theta} \right] D$	$\frac{2B^2h}{3B^2+8h^2}$
Profondeur hydraulique, D_h	h	$\frac{(b+mh)h}{b+2 \times mh}$	$\frac{1}{2}h$	$\left[\frac{\theta - \sin \theta}{\sin \frac{\theta}{2}} \right] \frac{D}{8}$	$\frac{2}{3}h$

Tableau XXXI: Caractéristiques géométriques des canaux.

III.2 Type d'écoulement

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.

Variabilité dans le temps

Le mouvement est **permanent** (ou stationnaire) si les vitesses V et la profondeur h restent invariables dans le temps en grandeur et en direction ; le débit est constant entre les différentes sections du canal.

Le mouvement est **non-permanent** si les paramètres hydrauliques varient avec le temps ; le débit n'est pas constant. (Figure III)

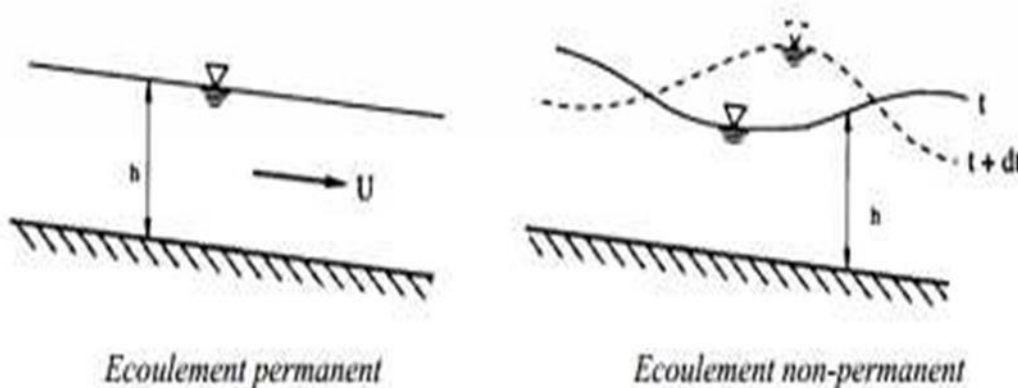


Figure 16: Schéma des écoulements permanents et non permanents.

En pratique, l'écoulement dans les canaux est rarement permanent. Néanmoins, les variations temporelles sont souvent suffisamment lentes pour que l'écoulement puisse être considéré comme permanent, du moins dans un intervalle de temps relativement court. [9]

Variabilité dans l'espace

Le mouvement est **uniforme** si la profondeur, D_h , ainsi que les autres paramètres, restent invariables dans les diverses sections du canal. La ligne de la pente de fond est donc parallèle à la ligne de la surface libre et l'on a $I = J$.

Le mouvement est **non uniforme** ou varié si la profondeur, D_h , ainsi que les autres paramètres, changent d'une section à l'autre. La pente de fond diffère alors de celle de la surface libre, $I \neq J$. Cette variation peut être graduelle ou brusque et rapide. Par conséquent, l'écoulement non uniforme ou varié se subdivise en :

- Ecoulement **graduellement varié** : la profondeur, D_h , ainsi que les autres paramètres, ne changent que très lentement d'une section à l'autre.
- Ecoulement **brusquement varié** : la profondeur D_h , ainsi que les autres paramètres changent brusquement, parfois avec des discontinuités. Cela se manifeste en général au voisinage d'une singularité, telle qu'un déversoir, un rétrécissement, un ressaut hydraulique ou une chute brusque. [9]

III.3 Régime d'écoulement

L'écoulement d'un liquide réel dans un canal à surface libre engendre les forces suivantes :

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

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, il est exprimé par :

$$F = \frac{V}{\sqrt{g * D_h}} \quad (45)$$

Où :

V : représente la vitesse d'écoulement,

g : l'accélération de la pesanteur

D_h : la profondeur hydraulique.

Pour un canal rectangulaire, D_h devient la profondeur d'écoulement h .

- Si $F = 1$: on dira que l'écoulement est en régime Critique ;
- Si $F > 1$: l'écoulement est en régime Torrentiel (Supercritique). Les forces d'inertie sont prépondérantes, et ceci se traduit par une importante vitesse d'écoulement ;
- Si $F < 1$: l'écoulement est en régime Fluvial (Subcritique). Dans ce cas, l'effet de la gravité est plus prononcé, ceci se traduit par une faible vitesse d'écoulement.

La vitesse critique

$$V = \sqrt{g * D_h} \quad (46)$$

est souvent appelée célérité de l'onde gravitaire.

Equation de continuité

L'équation de continuité exprime que la masse de liquide sortant d'une section 2 est égale à celle qui entre dans une section amont 1 pendant le même intervalle de temps Δt . D'autre part, le liquide est supposé homogène et incompressible ($w = \text{constante}$). Il y a donc aussi continuité du volume.

Le volume entrant $Q_1 \cdot \Delta t$ est donc égale au volume sortant $Q_2 \cdot \Delta t \rightarrow Q_1 = Q_2$

En écoulement permanent (uniforme ou non), le débit se propage en restant constant.

En outre y étant constant par définition, S est aussi constant, ainsi que la vitesse moyenne

$$V = \frac{Q}{S} \quad (47)$$

En écoulement permanent uniforme, section mouillée et vitesse moyenne son constantes.

Formulations de Chézy et de Manning-Strickler

En écrivant que dans l'écoulement uniforme, les forces appliquées à la masse fluide comprise entre deux sections espacées d'une distance le sont en équilibre, on démontre que :

$$V = C * \sqrt{R_h * I} \quad (48)$$

C'est l'équation de CHEZY, la première formule destinée au calcul de l'écoulement uniforme tel que :

I : la pente ;

V : la vitesse ;

R_h : le rayon hydraulique

C : est le coefficient de résistance selon Chézy.

Différentes formules ont été avancées pour exprimer ce coefficient de résistance.

- Coefficient de Bazin et Kutter ;
- Coefficient de Manning Strickler.

Formule de Manning et Strickler

A partir de données expérimentales, Manning (1889) a développé une expression pour le coefficient de Chézy où le coefficient de frottement intervient sans dimension

:

$$C = \frac{\alpha}{n} * R_h^{\frac{1}{6}} \quad (49)$$

Où :

n: est le coefficient de frottement de Manning

α : est un coefficient d'unité qui vaut 1 en système international et 1,486 en système anglo-saxon.

En remplaçant le coefficient C dans la formule de Chézy, on obtient la formule de Manning :

$$V = \frac{1}{n} * R_h^{\frac{2}{3}} \sqrt{I} \quad (50)$$

Le coefficient de Strickler (1891) est : $K_s = 1/n$

L'équation de vitesse devient :

$$V = K_s * R_h^{\frac{2}{3}} \sqrt{I} \quad (51)$$

Et le débit :

$$Q = S * K_s * R_h^{\frac{2}{3}} \sqrt{I} \quad (52)$$

Avec :

S : Section mouillée

I : Pente de la canalisation

R_h : Rayon hydraulique correspondant au rapport entre la surface mouillée et le périmètre mouillé.

K_s : Coefficient de Manning Strickler qui correspond à un coefficient de rugosité pour les écoulements a surface libre.

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 vegetation 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

Tableau XXXII: Valeurs estimées pour le coefficient de Manning Strickler en fonction de la nature des Parois

[10]

La valeur coefficient de Manning Strickler en fonction de la nature des Parois retenue est égale à 30 $K=30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

III.4 Présentation du logiciel HEC-RAS :

HEC-RAS est un logiciel intégré pour l'analyse hydraulique qui permet de simuler les écoulements à surface libre. Il a été conçu par le Hydrologic Engineering Center de U.S Army Corps of Engainer. Il s'agit d'une nouvelle version d'un modèle hydraulique auparavant nommé HEC-2, qui comporte maintenant une interface graphique permettant d'éditer, de modifier et de visualiser les données d'entrée, de même qu'observer les résultats obtenus. Il est présentement utilisé dans plusieurs firmes d'ingénierie et organismes gouvernementaux. La version 3.1.3 de HEC-RAS permet de simuler les écoulements permanents et non permanents, le transport de sédiments et certaines fonctions facilitant la conception d'ouvrages hydrauliques. Toutefois, avant d'utiliser un logiciel de calcul des écoulements à surface libre, il est primordial de connaître certaines notions théoriques. [11]

HEC-RAS permet également de simuler et d'incorporer la géométrie et les caractéristiques de l'oued (**Figure 17**)

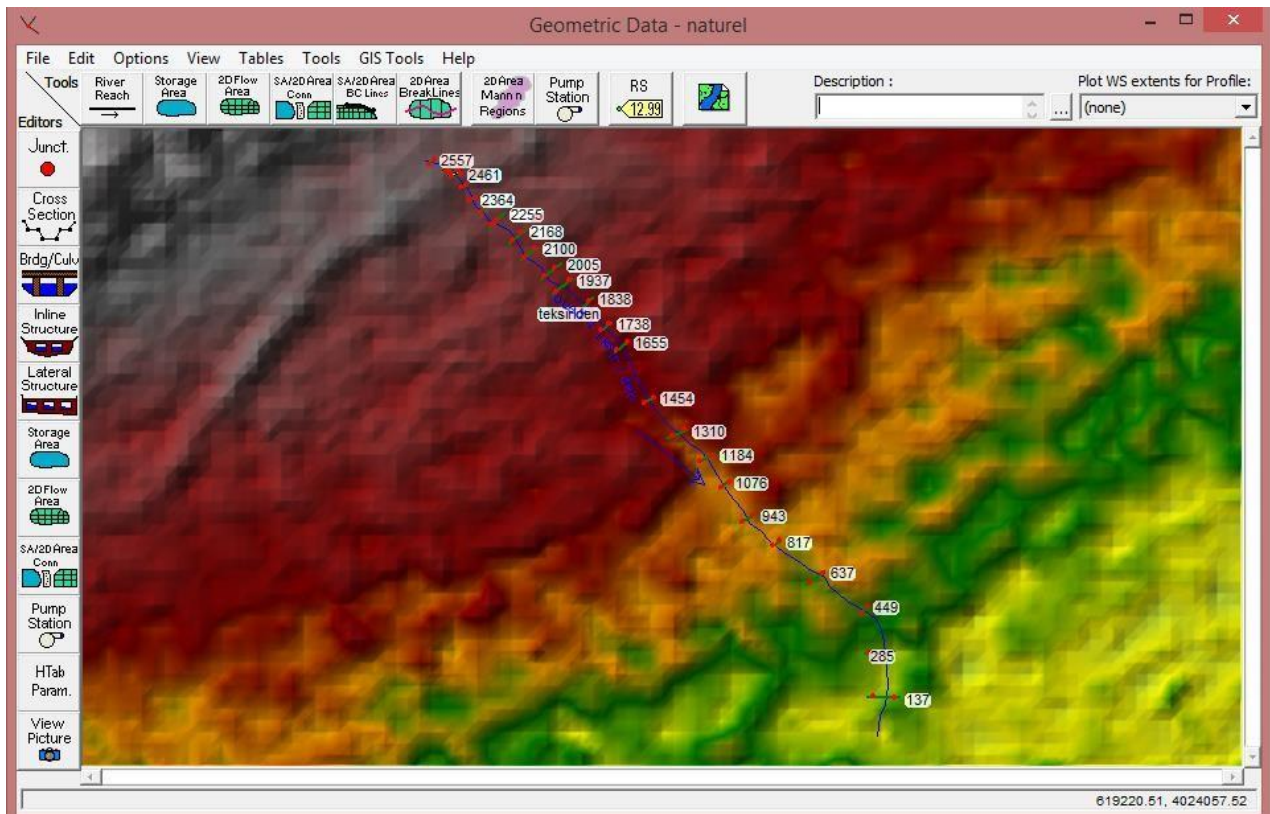


Figure 17: Oued de Teksiriden sous Hec-Ras

III.4.1 L'Environnement HEC-RAS :

L'environnement de logiciel HEC-RAS est présenté sous forme de projets, chaque projet contient plusieurs fichiers dans chacun porte le nom de projet et possède son propre extension et présente son propre jeu de données, ces fichiers sont présentés comme suit :

Le fichier de projet (*.prj) : C'est le fichier principale qui contient les informations descriptifs de projet et les configurations par défaut ou choisis par l'utilisateur.

Le fichier de géométrie (*.G--) : Il comporte la géométrie de cours d'eau étudié il s y intègrent tous les informations relatives à la géométrie (schéma, sections en travers, rugosité, ouvrage... etc.).

Le fichier (flow) débit (*.F--) Ce fichier est utilisé pour stocker les données de débits, il peut comporter plusieurs profils ou chaque profil regroupe de conditions particuliers de débit.

Le fichier Plan (*.P--) Chaque fichier plan contient par combinaison des données particuliers, ce fichier aide l'utilisateur à simuler plusieurs scénarios avec les mêmes données.

Le fichier exécution (*.R--) Ce fichier se crée automatiquement à l'exécution de chaque simulation et contient les données relatives à la simulation.

Le fichier (output) résultat (*.O--) : Il regroupe les résultats de la simulation

Tous les fichiers HEC-RAS prennent la numérotation de 0 à 99, leurs nom est ceux définis par l'utilisateur et ne doivent pas modifiés. [11]

Au premier démarrage de HEC-RAS la fenêtre principale apparaît, la description des principaux boutons est illustrée comme suit : [11]

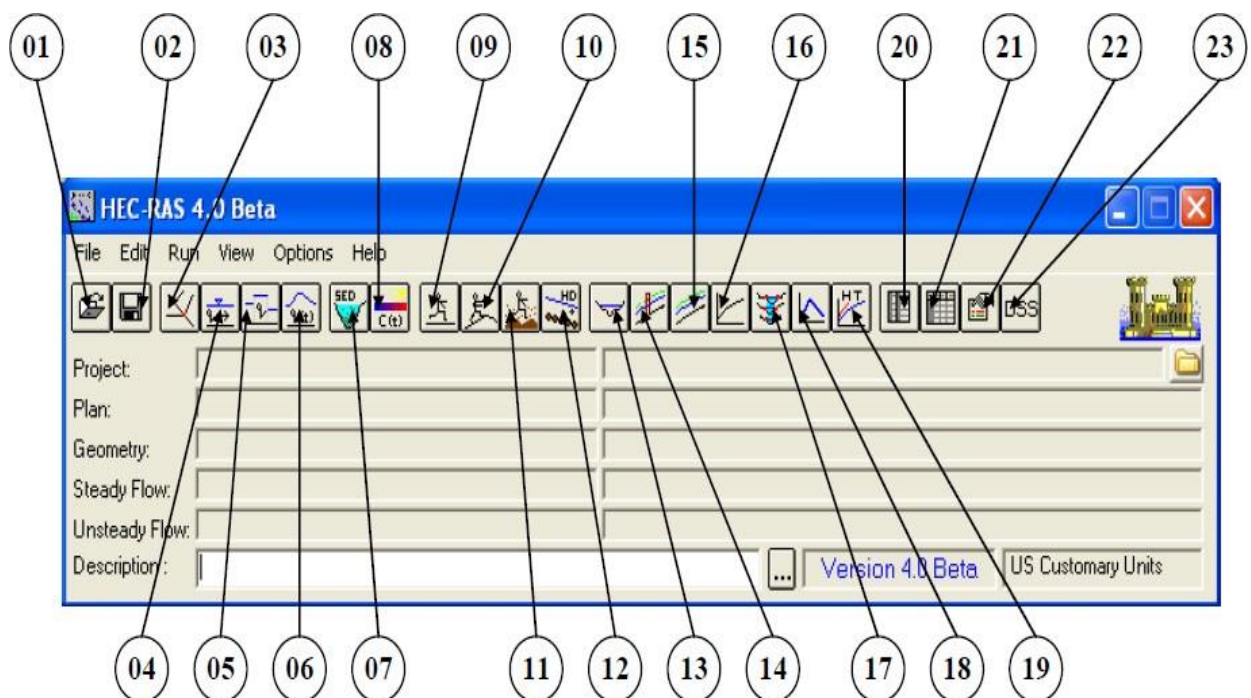


Figure 18: fenêtre principale de HEC-RAS.

1. Ouvrir un projet existant ;
2. Enregistrer un travail ;
3. Fenêtre de géométrie ;
4. Introduire les données de régime stationnaire ;
5. Introduire les données de régime quasi-stationnaire (version 4.0 Béta) ;

6. Introduire les données de régime non-stationnaire ;
7. Introduire les données de transport solide ;
8. Introduire les données de qualité d'eau ;
9. Lancer la simulation de régime stationnaire ;
10. Lancer la simulation de régime non stationnaire ;
11. Lancer le calcul de transport solide ;
12. Exécuter le calcul de la conception hydraulique ;
13. Détails des sections en travers ;
14. Affichage des caractéristiques de l'écoulement ;
15. Affichage générale de profile ;
16. Courbes d'estimation ;
17. Vues 3D ;
18. Hydrographe de crue ;
19. Affichage de propriétés hydrauliques ;
20. Affichage des résultats détaillés ;
21. Affichage global des résultats ;
22. Rapport d'erreurs ;
23. Données DSS.

III.4.2 Les équations utilisées par le logiciel.

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 : [12]

$$H_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 * V_1^2}{2 * g} = H_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 * V_2^2}{2 * g} + \Delta H \quad (53)$$

Avec :

- Z : cote du fond du lit ;
- Y : hauteur d'eau à la section ;
- α : coefficient de pondération de la vitesse ;
- V : vitesse moyenne sur la section ;
- g : accélération de la pesanteur ;
- ΔH : Perte de charge.

Le coefficient de perte de charge sera calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\Delta H = L * I + C \left| \frac{\alpha_2 * V_2}{2 * g} - \frac{\alpha_1 * V_1}{2 * g} \right| \quad (54)$$

Où :

- L : longueur de la distance entre deux sections ;
- I : angle de frottement représentatif entre deux sections ;
- C : coefficient de perte d'expansion ou de contraction.

La figure ci-dessous illustre l'apport de chaque terme de l'équation (53)

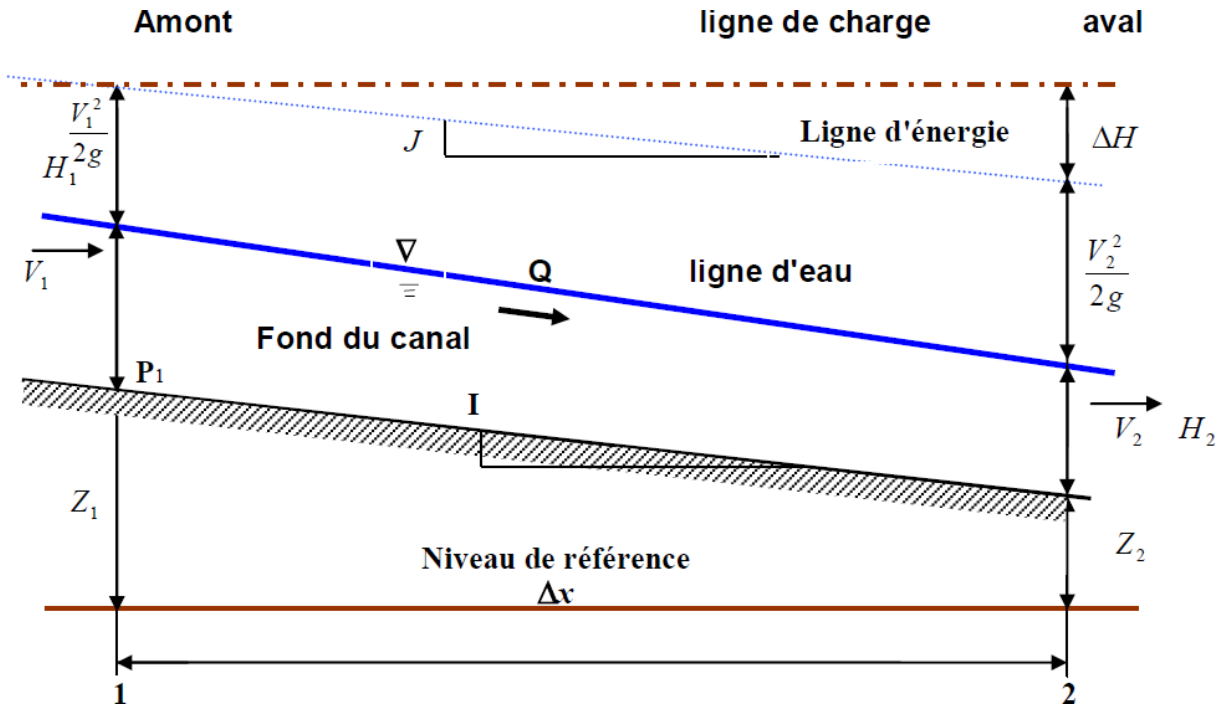


Figure 19: Conservation de la charge entre deux sections. [13]

III.4.3. 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 VII**). Le flux est calculé dans chaque subdivision sous la forme suivante en fonction de n (Equation de Manning) :

$$Q = K * I^{\frac{1}{2}} \quad (55)$$

Avec :

$$K = \frac{1}{n} * S * R_h^{\frac{2}{3}} \quad (56)$$

Où :

- K : flux pour la subdivision
- n : coefficient de rugosité de Manning pour une subdivision
- S : surface d'écoulement pour une subdivision
- R_h : rayon hydraulique pour une subdivision (surface/périmètre mouillé)

Le découpage de la section pour le calcul de frottement dans HEC-RAS est comme suit : Il découpe chaque section en plusieurs domaines verticaux et pour chaque domaine on introduit leur coefficient de frottement. Le découpage se fait comme sur l'image qui suit :

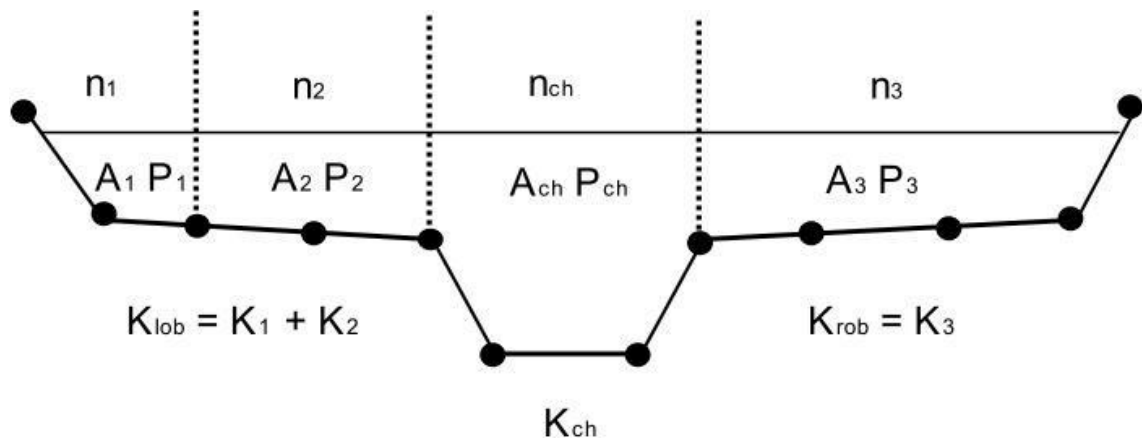


Figure 20: Découpage de la section pour le calcul du frottement [16]

III.4.4 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 : [14]

Les données géométriques relatives à chaque section :

- la section en travers, définie par une série de couples distance-altitude
- la distance à la section suivante (Rives et axe canal).
- les coefficients de contraction et d'expansion
- les coefficients de rugosité

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

III.4.5 Application de HEC-RAS :

La simulation d'un écoulement stationnaire permet de se donner une première idée des hauteurs d'eau et des débits dans l'oued pour un certain débit amont.

La première étape sert à introduire les données d'écoulement qui sont saisies de l'amont à l'aval pour le tronçon objet d'étude (**Figure 7**) en respectant les conditions limites pour établir la hauteur initiale de la surface de l'eau aux extrémités du système de rivière (amont et aval).

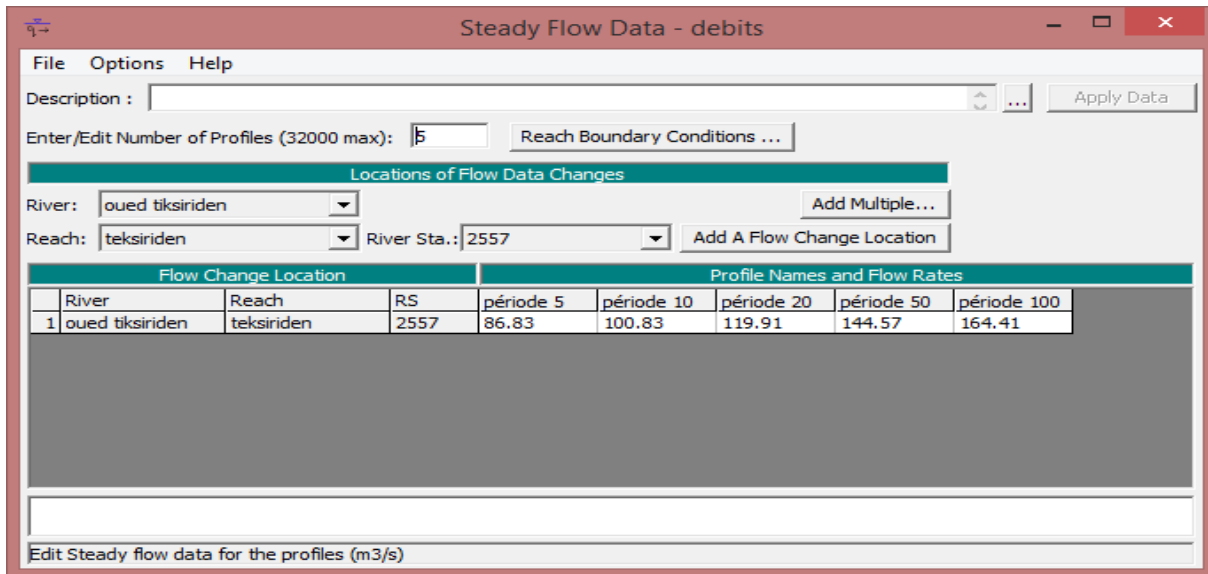


Figure 21: Données des débits du tronçon d'étude en écoulement stationnaire

III.4.6 Le choix des valeurs de rugosité de Manning :

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

Berge droite	Lit mineur	Berge gauche
Rivière de plaine, large, végétation peu dense	Rivière de plaine, large	Rivière de plaine, large, végétation peu dense
0.033	0.017	0.033

Tableau XXXIII: Les valeurs de la rugosité du cours d'eau.

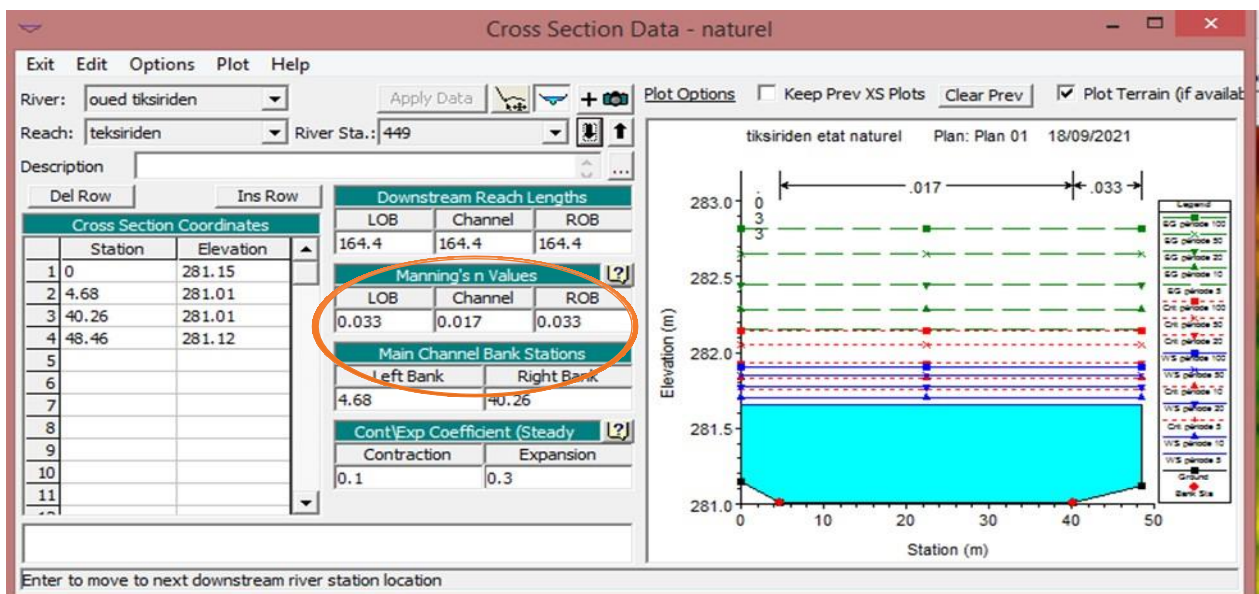


Figure 22: Illustration d'un profil en travers.

III.5 Simulation hydraulique :

Après avoir défini la géométrie, les données hydrométriques nécessaires à la simulation et après avoir enregistré les fichiers correspondants, on choisit le type de régime supposé turbulent pour notre cas et on peut passer à la simulation hydraulique.

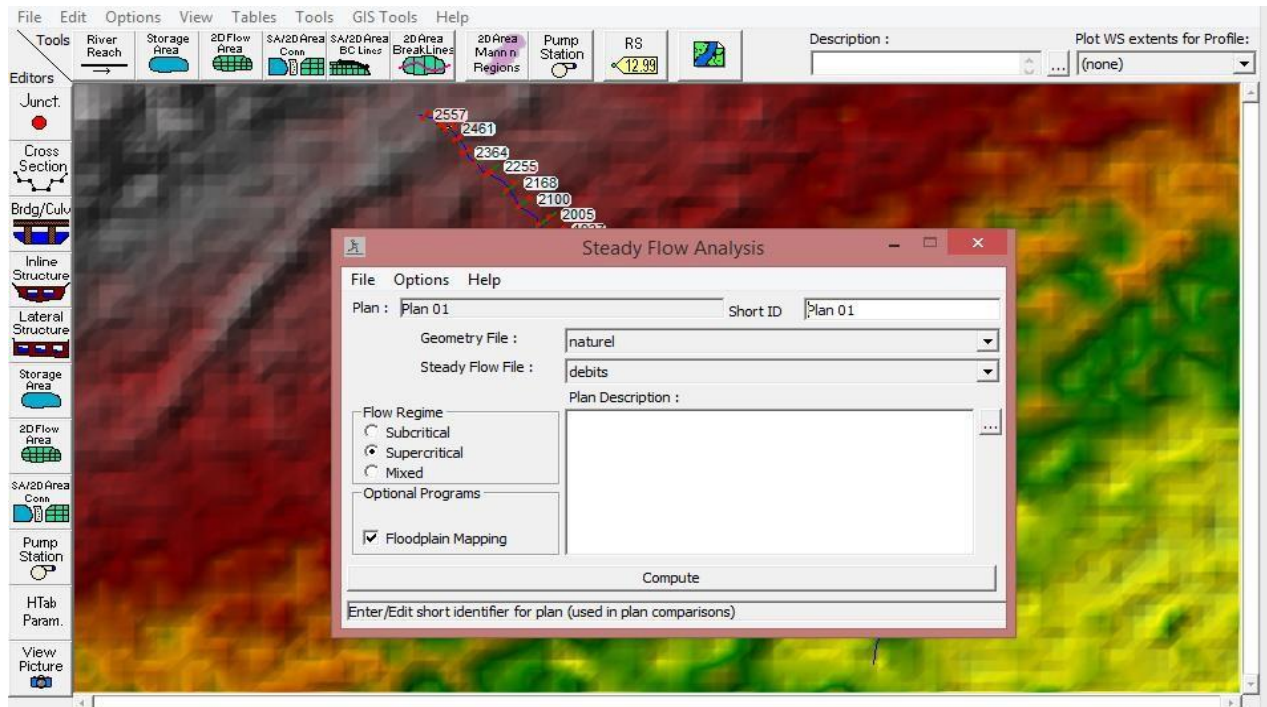


Figure 23: Fenêtres de simulation pour le régime permanent

III.5.1 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 :

La Simulation des crues pour différentes périodes de retour à l'état naturel :

Chapitre III : Etude Hydraulique sans Aménagement

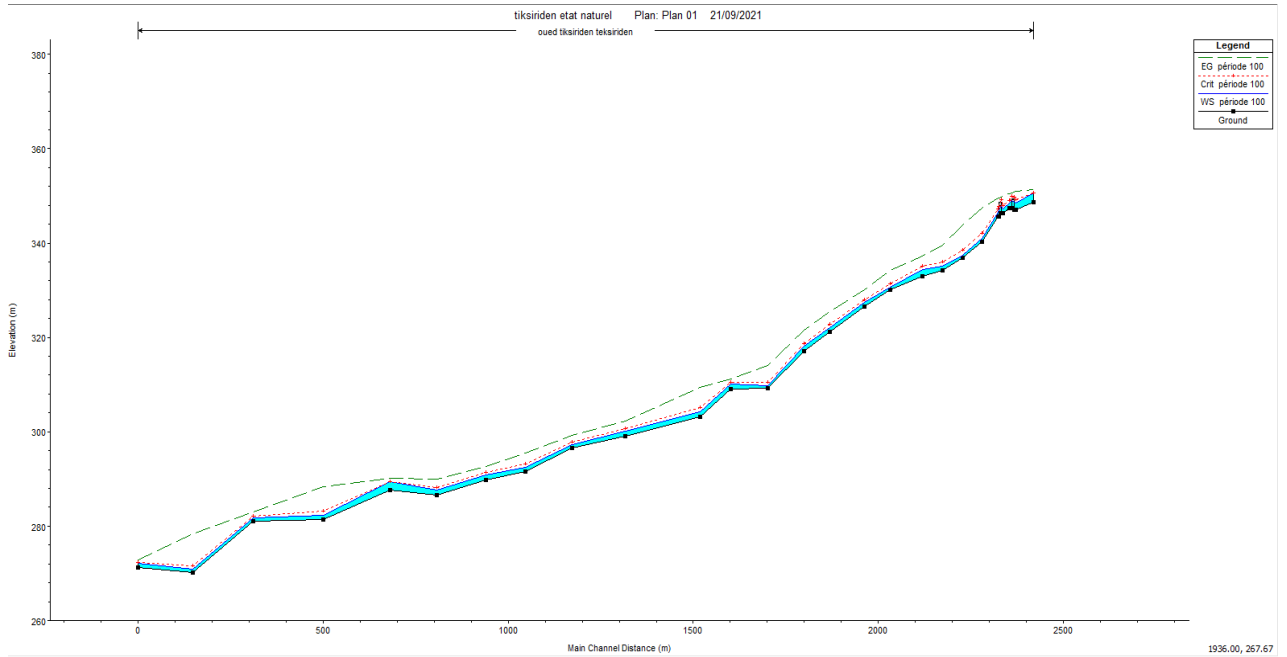


Figure 24: Profil en long du cours d'eau à l'état naturel.

River sta	Profile	Q Total (m)	Min Ch El (m)	W.S.Elev (m)	Crit W.S (m)	E.G.Elev (m)	E.G.Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	H Eau (m)	Froude Chl /
2557	période 100	164.41	348.64	350.68	350.68	351.4	0.00205	3.94	50.67	36.51	1.02	0.94
2507	période 100	164.41	347.05	348.4	349.15	351	0.014844	7.31	25.05	28.49	1	2.3
2498	période 100	Bridge	Bridge	Bridge	Bridge	Bridge	Bridge	Bridge	Bridge	Bridge	0.8	Bridge
2490	période 100	164.41	347.19	348.38	348.98	350.45	0.014835	6.55	27.79	34.94	0.85	2.24
2473	période 100	164.41	346.26	347.28	348	350.07	0.023515	7.53	23.63	34.07	0.86	2.75
2466	période 100	Bridge	Bridge	Bridge	Bridge	Bridge	Bridge	Bridge	Bridge	Bridge	0.83	Bridge
2461	période 100	164.41	345.56	346.5	347.24	349.53	0.027642	7.91	22.78	33.85	0.9	2.96
2416	période 100	164.41	340.19	340.96	342.1	347.45	0.058711	11.43	15.31	23.3	0.74	4.31
2364	période 100	164.41	336.83	337.43	338.48	343.84	0.082693	11.95	16.29	28.33	0.61	4.95
2311	période 100	164.41	334.16	335.15	335.97	339.56	0.058291	9.47	18.29	34.12	0.54	4.1
2255	période 100	164.41	333.03	334.29	335.11	337.32	0.020942	7.99	24.33	35.9	0.82	2.67
2168	période 100	164.41	330.06	330.62	331.28	334.23	0.068964	8.77	21.68	57.41	0.52	4.28
2100	période 100	164.41	326.59	327.34	327.95	330.16	0.046865	7.53	22.81	51.85	0.5	3.57

Chapitre III : Etude Hydraulique sans Aménagement

2005	période 100	164.41	321.11	322.05	322.73	325.38	0.052718	8.23	20.91	44.13	0.46	3.81
1937	période 100	164.41	317.13	318.15	318.75	321.55	0.060377	8.26	20.56	47.34	0.53	4.01
1838	période 100	164.41	309.27	309.7	310.4	314.1	0.094217	9.3	17.86	48.98	0.46	4.88
1738	période 100	164.41	309.03	310.14	310.47	311.25	0.007738	4.8	39.46	56.68	0.89	1.62
1655	période 100	164.41	303.13	304.24	305.08	309.4	0.068409	10.4	17.14	30.82	0.44	4.45
1454	période 100	164.41	299.1	300.12	300.7	302.25	0.017667	6.69	28.74	45.68	0.84	2.4
1310	période 100	164.41	296.62	297.34	297.83	299.21	0.024137	6.16	28.9	57.7	0.58	2.64
1184	période 100	164.41	291.64	292.42	293.09	295.45	0.035401	7.8	21.94	38.29	0.54	3.24
1076	période 100	164.41	289.85	290.78	291.33	292.69	0.015521	6.29	28.95	40.68	0.87	2.25
943	période 100	164.41	286.55	287.65	288.21	289.92	0.028857	6.72	25.04	45.41	0.48	2.89
817	période 100	164.41	287.7	289.45	289.45	290.13	0.002311	3.82	51.66	39.08	1.48	0.97
637	période 100	164.41	281.47	282.24	283.13	288.35	0.08824	10.94	15.02	30.24	0.33	4.96
449	période 100	164.41	281.01	281.83	282.14	282.92	0.009087	4.9	38.83	48.46	0.89	1.73
285	période 100	164.41	270.16	270.85	271.68	278.32	0.176608	12.1	13.58	39.62	0.31	6.6
137	période 100	164.41	271.24	272.09	272.31	272.83	0.008744	3.82	43.24	76.58	0.58	1.6

Tableau XXXIV: Résultats de la simulation pour une période de retour de 100 ans.

Avec :

River sta : Station

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 Slope (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 :

Pour la crue centennale, les vitesses d'écoulement dans le tronçon considéré pour notre étude varie entre 3.82 et 12.1 m/s les vitesses supérieures peuvent entrainer une érosion du lit de l'oued et les berges, la vitesse d'écoulement moyenne est de 7.72 m/s la pente est non uniforme, la surface mouillée moyenne pour les sections en travers est de 26.17 m².

Les résultats de ont montrés que la surface de l'oued teksiriden (lit mineur) est entièrement inondé ainsi que la surface inondée a dépassé le lit mineur les résultats sont illustrés dans les figures suivantes :

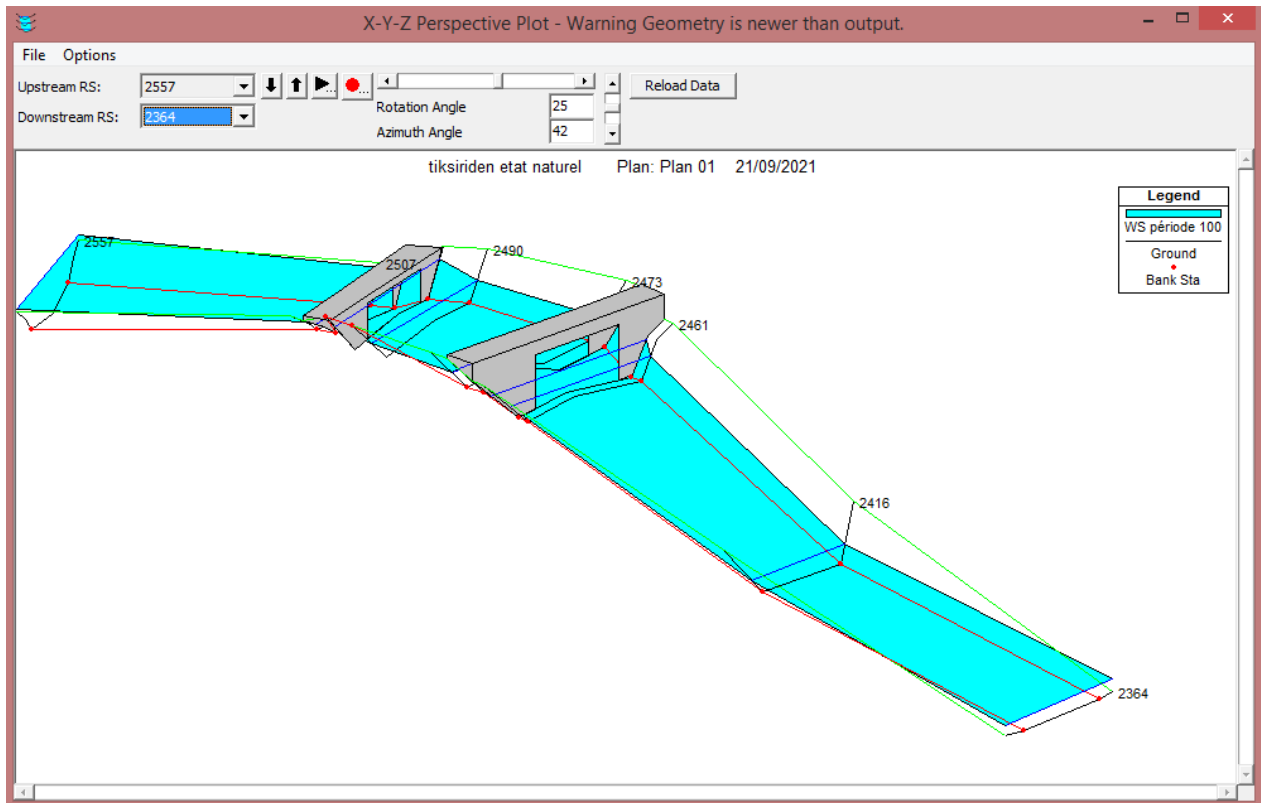


Figure 25: Visualisation en 3D de l'oued Teksiriden-tronçon (2557-2364).

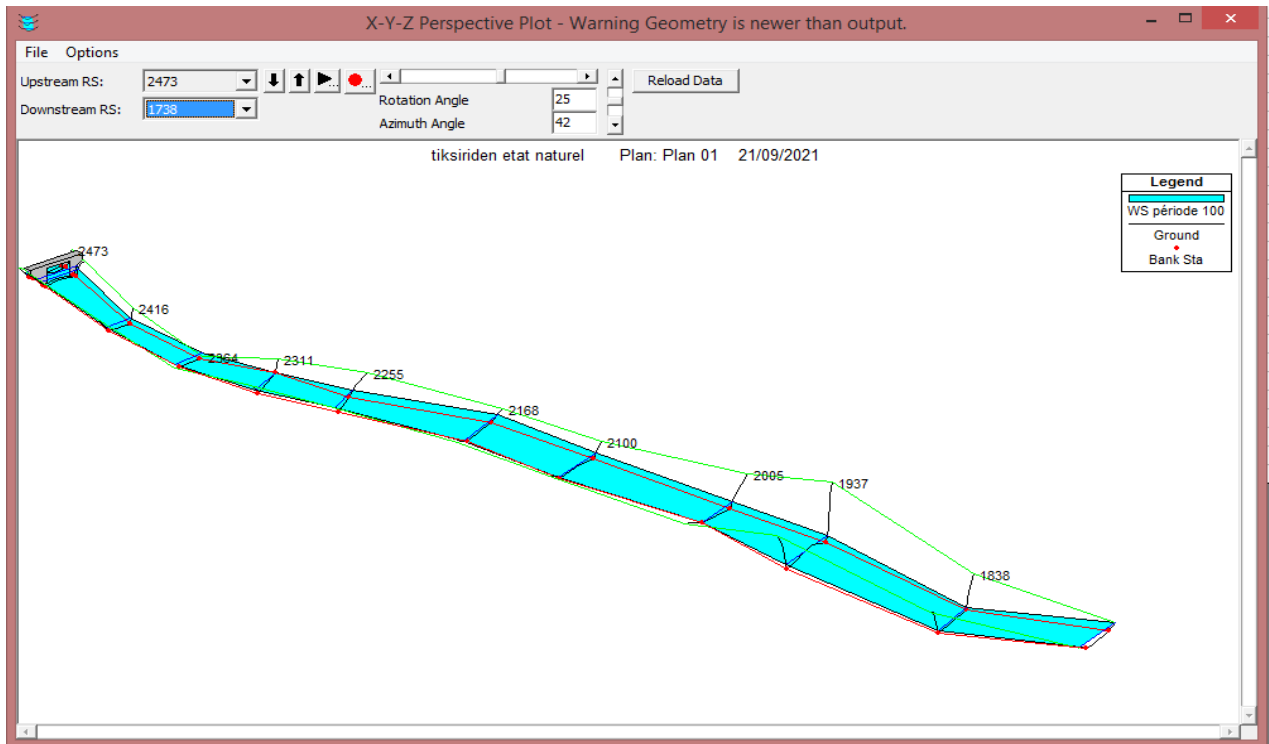


Figure 26: Visualisation en 3D de l'oued Teksiriden-tronçon (2473-1738).

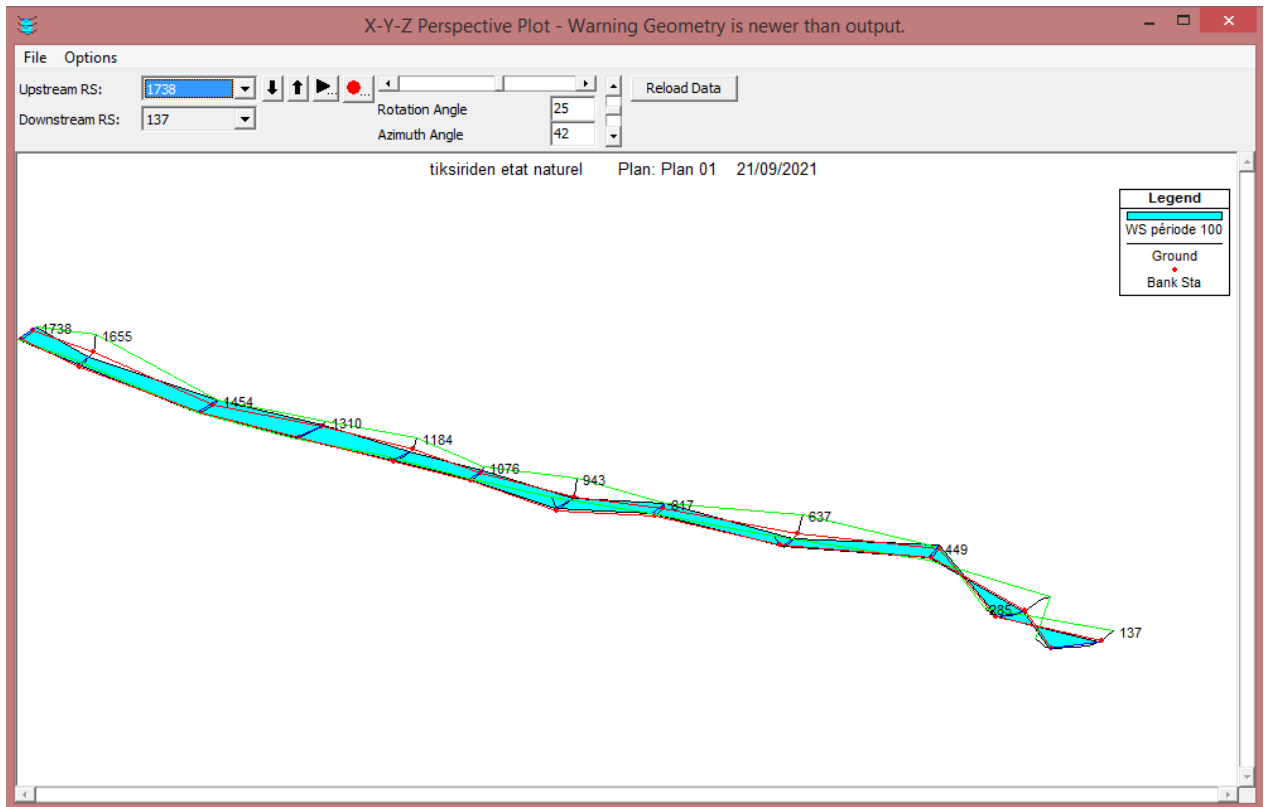
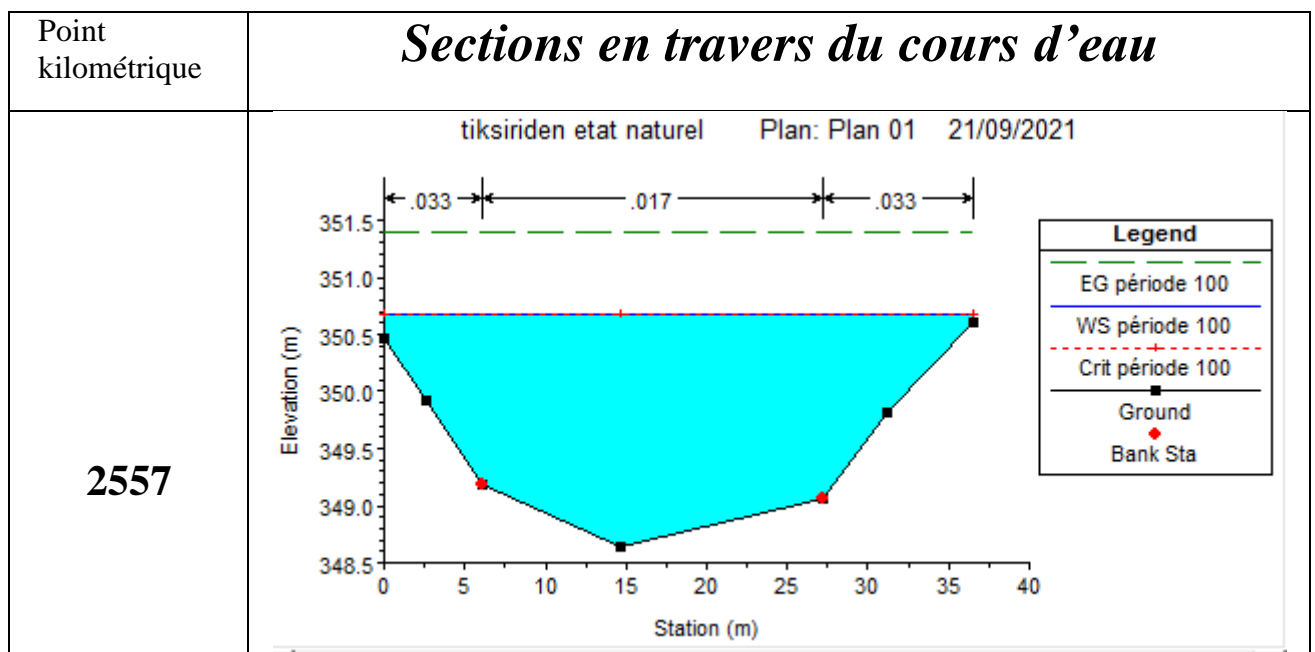
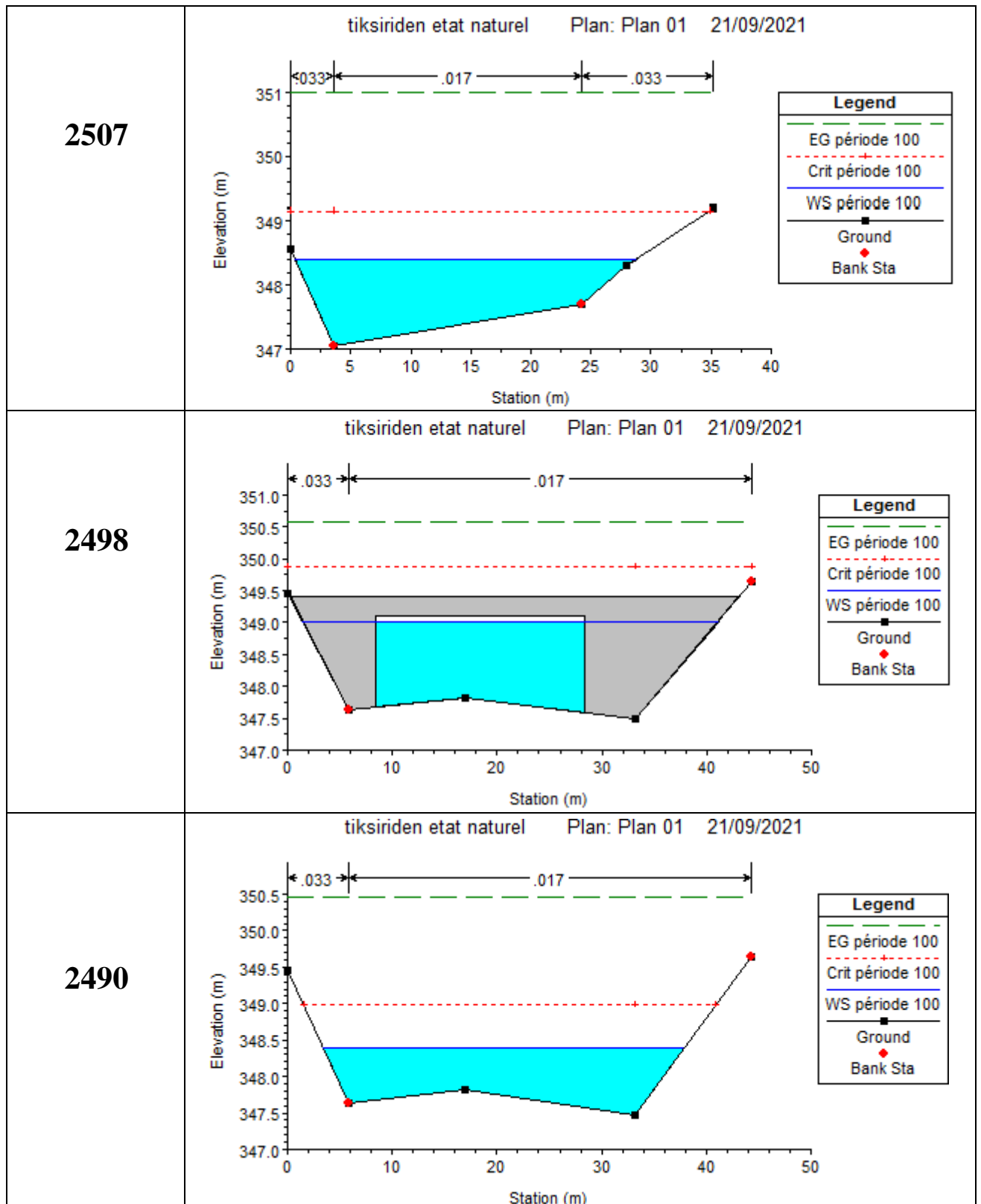
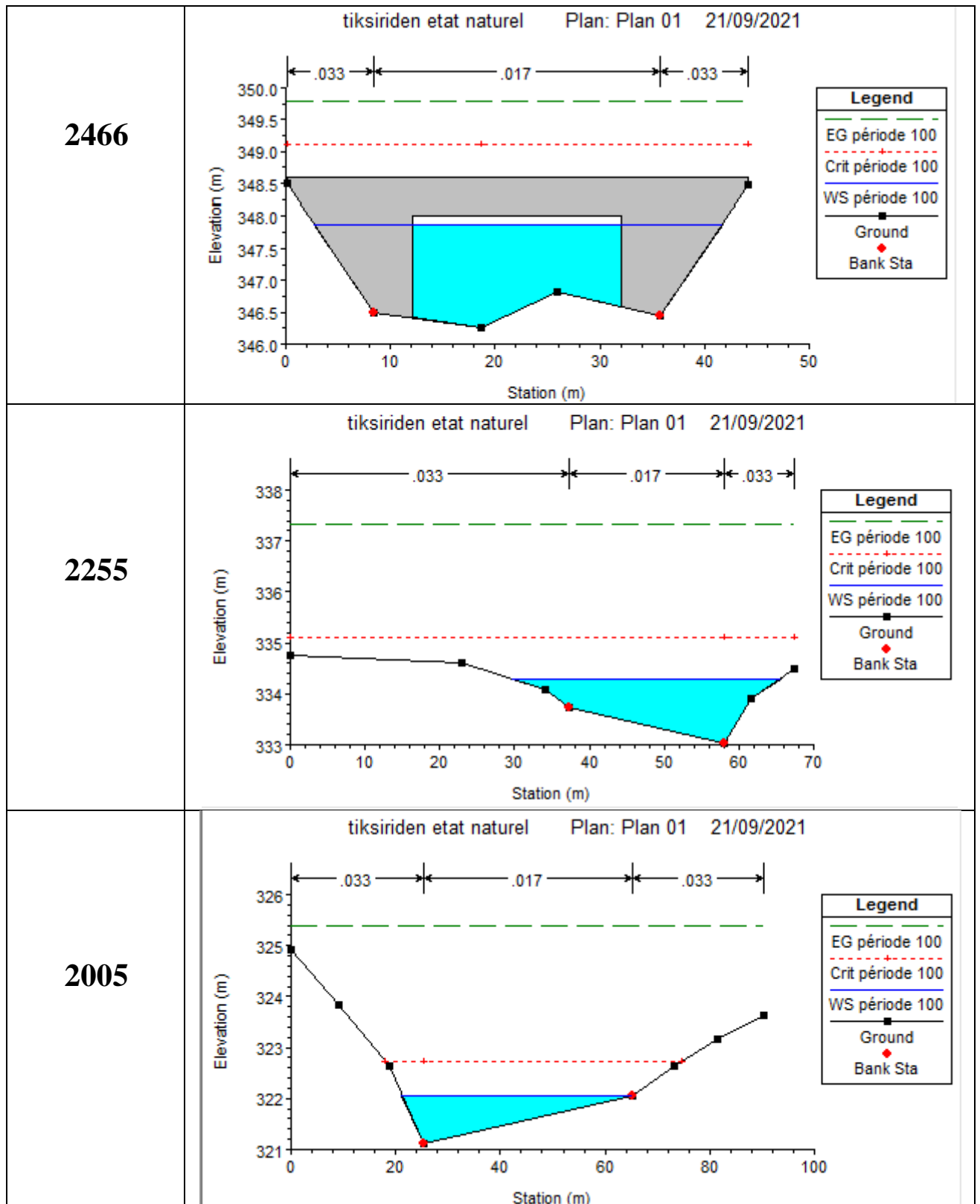


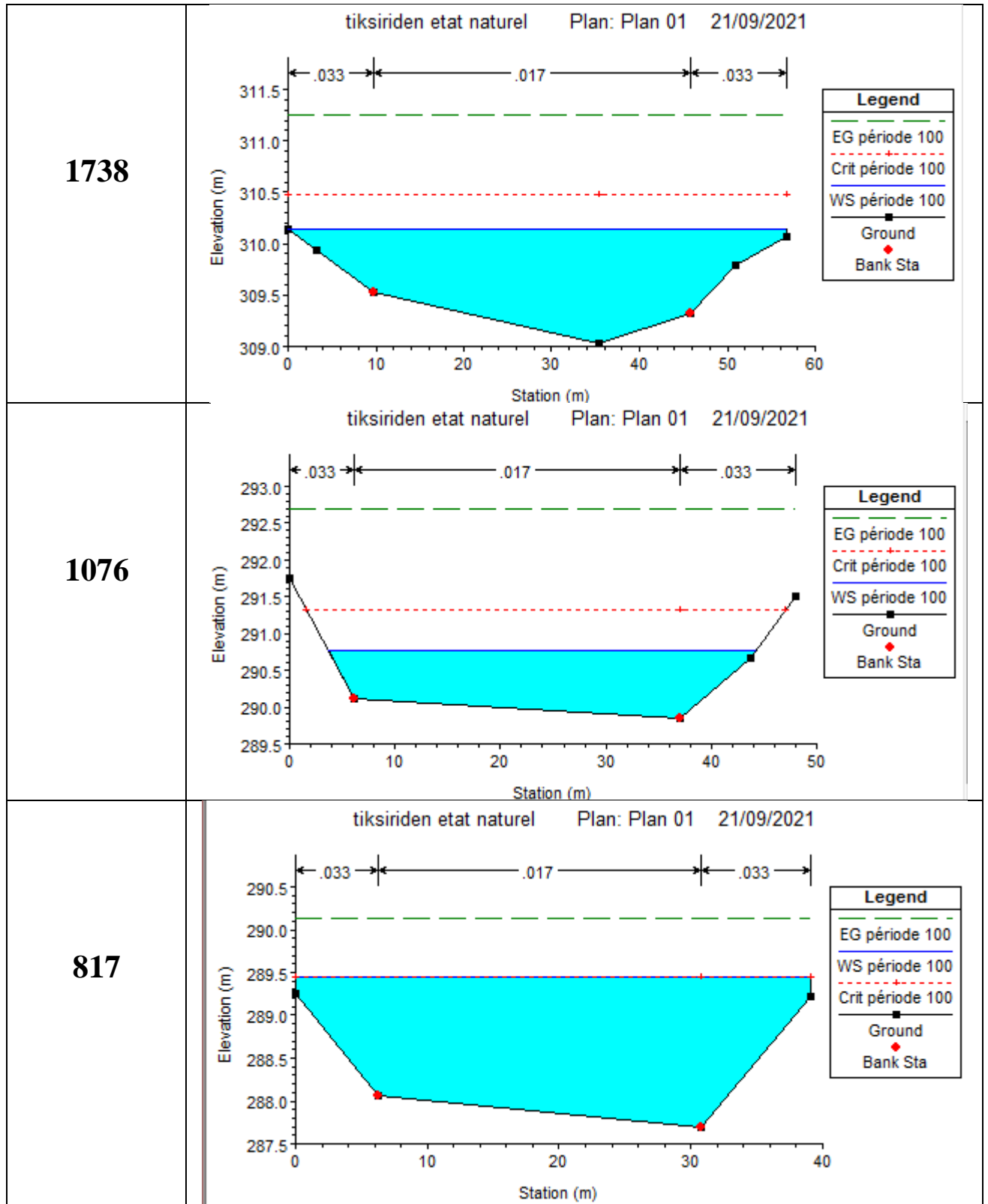
Figure 27: Visualisation en 3D de l'oued Teksiriden-tronçon (1738-137).

Les résultats de simulation d'une crue centennale sans l'aménagement avec logiciel (HEC-RAS) nous donnerons les sections en travers suivantes :









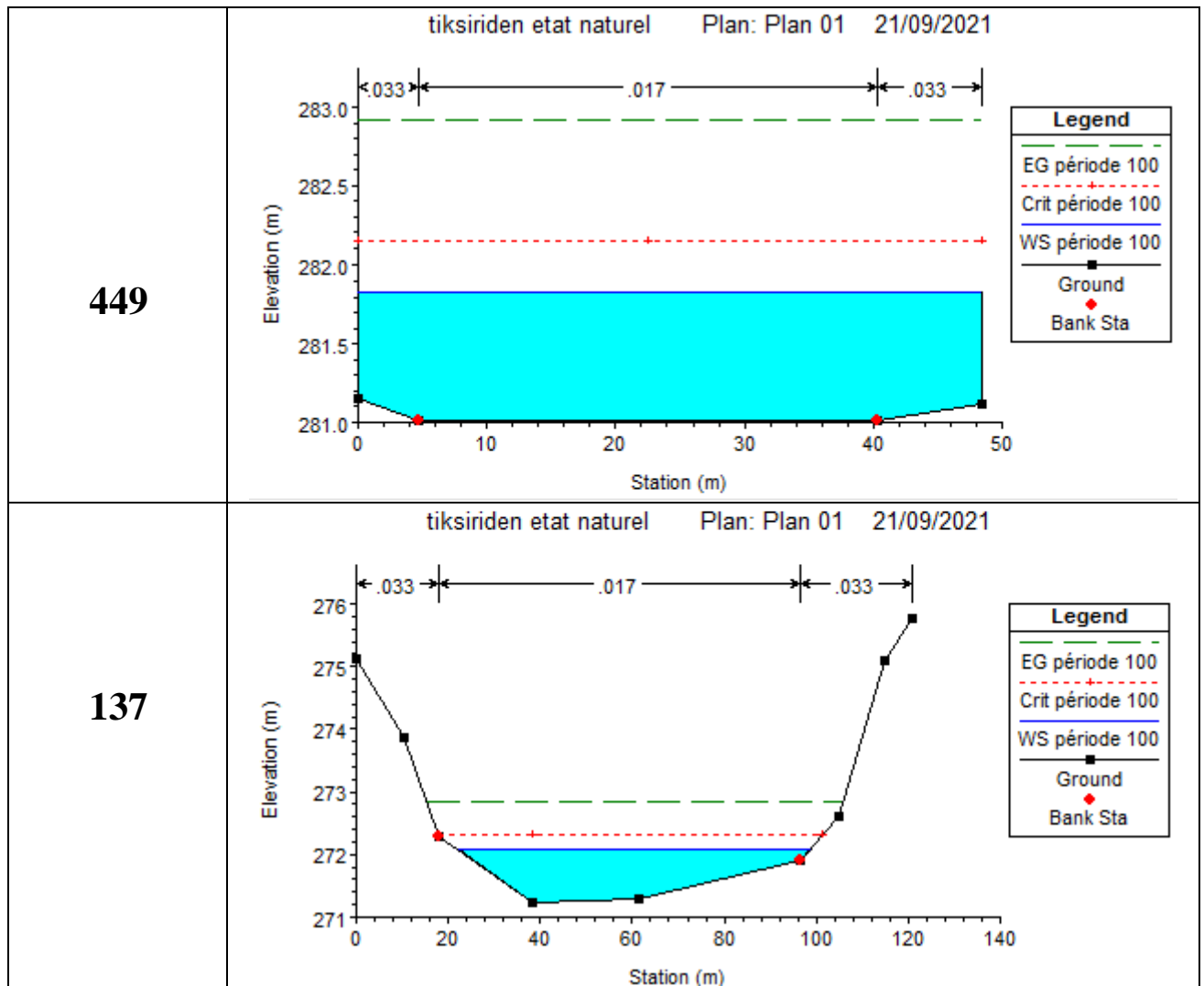


Figure 28: Les résultats de simulation d'une crue centennale sans l'aménagement.

III.6 Délimitation des zones inondables :

L'outil RAS MAPPER du logiciel HEC-RAS nous permettrons de délimiter les zones inondables. Pour déterminer les zones inondables au voisinage du cours d'eau on télécharge sur Web la carte Google satellite correspondante à notre zone d'étude avec l'outil Web Emagery sur RAS MAPPER .La surface en bleu sur la figure suivante représente la zone inondable :

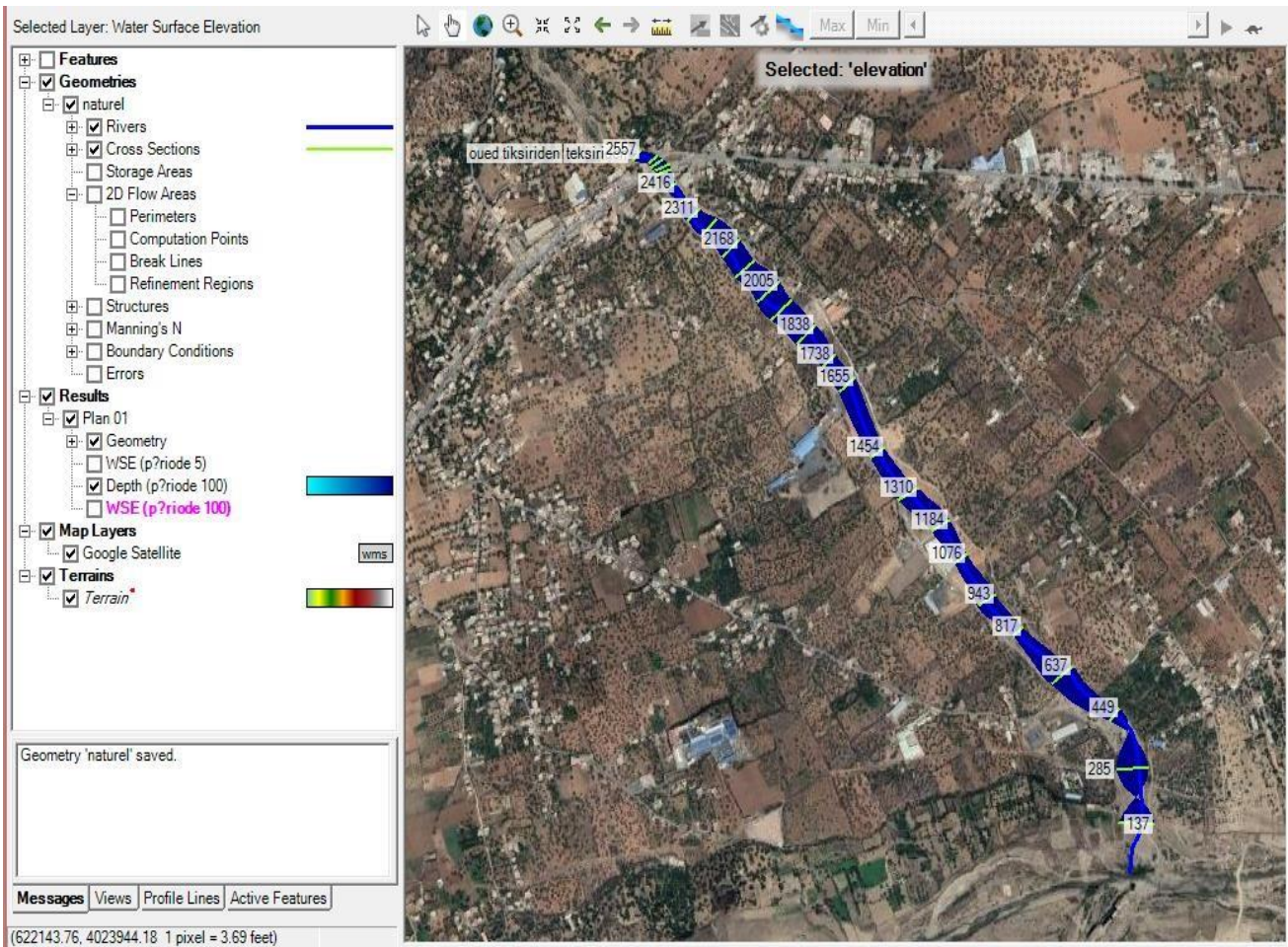


Figure 29: Localisation des zones inondables de la ville Chorfa suite à une crue.

D'après la figure précédente on remarque qu'il y a des débordements importants dans tout le long de notre cours d'eau.

Conclusion :

La simulation hydraulique d'oued Teksiriden à l'état naturel (sans aménagement) avec logiciel HEC-RAS permet de connaître les zones inondées par les crues et particulièrement la crue centennale qui a le grand effet sur la zone d'étude qui correspond aux constructions et aux terrains agricoles situés au niveau de la vallée. A partir de cette simulation, le prochain chapitre sera consacré à l'étude du dimensionnement des ouvrages hydrauliques qui peuvent résoudre ce problème.

CHAPITRE IV : Etude Hydraulique avec Aménagement

Chapitre IV : Etude Hydraulique avec Aménagement

Introduction :

Afin de protéger la ville de Chorfa (W.Bejaia) contre les inondations causées par l'oued Teksiriden, une simulation d'un diagramme de crue a été lancée en utilisant le modèle hydraulique HEC-RAS pour prévenir et protéger la ville contre les inondations, afin d'estimer les débits qui peuvent affecter les zones concernées par l'étude. Pour réduire le phénomène, nous avons élaboré à l'aide d'AutoCAD et Civil 3D une carte des zones inondables. Sur la base d'une étude technico-économique, on a proposé un ensemble des mesures pour l'aménagement d'oued Teksiriden, en faisant un reprofilage de la section du cours d'eau de manière à évacuer les eaux de la crue sans dangers.

VI.1. Principes de base

Lors de tout projet d'amélioration de cours d'eau, l'étude et le design doivent être effectués en respectant les principes suivants : [15]

1. La section du cours d'eau doit être suffisante pour évaluer l'eau sans provoquer d'inondation ou de dégâts importants.
2. Tout aménagement ne devra pas provoquer d'érosion dans le cours d'eau ou sur les berges car cette érosion signifie la modification de la section d'écoulement, la perte de terrain riverain, le transport de sédiments, l'ensablement et l'envasement de la partie en aval du cours d'eau.
3. Les talus du cours d'eau et la section d'écoulement devront être les plus stables possibles pour que le cours d'eau ait la durée de vie la plus longue.
4. Les coûts de construction et d'entretien devront être minimisés ou le rapport bénéfices--coûts devra être maximisé. Ce dernier est plutôt difficile à évaluer.

IV.1. Proposition d'aménagement :

Dans ce cas, nous avons simulé un aménagement en béton armé ($n=0.033$) sur les berges de l'oued Teksiriden, et ($n=0.017$) sur la base du oued en gardant les aménagements existant au début du oued.

IV.2. Détermination de la section d'écoulement :

La détermination de la section d'écoulement nécessaire à un cours d'eau est une des étapes du design. En général, le design suit la procédure suivante : [15]

1. Détermination des débits à évacuer (Q)
2. Détermination des caractéristiques du terrain (type de sol, pente du cours d'eau, ...etc.)
3. Détermination des contraintes à respecter (talus, érosion, environnement, etc.)
4. Détermination des possibilités de solutions
5. Étude des possibilités

6. Vérification du respect des contraintes
7. Évaluation des coûts
8. Décisions

IV.3 Paramètres géométrique d'un canal à section trapézoïdale

Le canal est schématiquement représenté sur la figure suivant. Il est caractérisé par sa base b et par le paramètre, égal à la cotangente de l'angle d'inclinaison α des parois du canal par rapport à l'horizontale. L'écoulement est défini par la profondeur normale y_n .

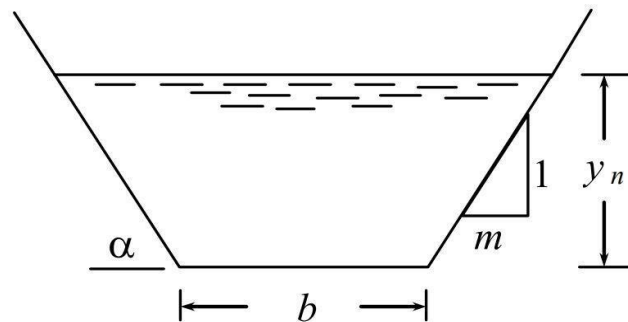


Figure 30: Caractéristiques du canal de forme trapézoïdale

Les parois internes du canal sont caractérisées par la rugosité absolue ϵ et le débit volume écoulé est Q . Le canal est le siège d'un écoulement uniforme d'un liquide de viscosité cinématique ν , sous une pente longitudinale i . La forme de la section mouillée est définie par le paramètre de forme $\eta = y_n/b$, appelé aussi rapport d'aspect. Tous les paramètres ainsi indiqués sont connus et constituent les données du problème.

Il s'agit alors de dimensionner le canal considéré, ce qui revient à calculer la dimension linéaire b ainsi que la profondeur normale y_n qui constitue la hauteur minimale du canal

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 cela notre choix s'est porté sur un canal à section trapézoïdale, dont les caractéristiques géométriques sont résumées dans le tableau suivant :

B	$2h(\sqrt{1+m^2}-m)$	Largeur inferieur du canal
B	$b+2mh$	Largeur au miroir
S	$h(b+mh)$	Surface mouillé
P _m	$b+2h\sqrt{1+m^2}$	Périmètre mouillé
R _h	$\frac{h(b+mh)}{b+2h\sqrt{1+m^2}}$	Rayon hydraulique
m	$\frac{1}{tg\alpha}$	Fruit du talus

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

IV.3.1 Équation de Chézy :

Le problème consiste à déterminer la dimension linéaire b correspondant à la largeur de base du canal étudié pour les valeurs connues du débit volume Q , de la rugosité absolue ε , de la pente géométrique i , du paramètre m , de la viscosité cinématique ν du liquide en écoulement et pour la valeur imposée du rapport d'aspect η ou paramètre de forme. La relation de Chézy s'écrit :

$$Q = C * A * \sqrt{R_h * I} \quad (57)$$

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.3.2 Section de débit maximum

La formule de débit :

$$Q = v * S = \left(\frac{1}{n}\right) * S * R_h^{2/3} * \sqrt{I} \quad (58)$$

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

$$Q = C_{te} * S^{5/3} * P^{2/3} \quad (59)$$

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

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

$$dS = h db + (b + 2mh) dh = 0$$

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

$$dP = db + 2\sqrt{1 + m^2} dh = 0$$

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

$$b = 2 * h \left(\sqrt{1 + m^2} - m \right) \quad (60)$$

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

$$R_{h=} \left(\frac{h}{2} \right) \quad (61)$$

Qui reste indépendant de l'angle de repos.

IV.3.3 Profondeur normale (h_n) :

La Profondeur h_n , est la profondeur d'eau dans un canal de pente J_f , donné, traversé par un débit Q . L'élément géométriques de la section correspondant à la profondeur normale h_n sont appelés éléments réguliers comme R_n , S_n ou P_n . Le calcul consiste à saisir les expressions pour la surface mouillée (S_m), le rayon hydraulique (R_h), les valeurs des paramètres STRECKLER (K_s),

L'inclinaison du sol de Canal (J_f) dans l'équation suivante :

$$Q = \left(\frac{1}{n}\right) * S * R_h^{2/3} * \sqrt{I} \quad (62)$$

Puis on fixe la valeur de la largeur inférieure (b) et à la fin on change les valeurs de h et on a des valeurs de débit (Q), la valeur h_n est obtenue lorsque le débit existant est égal au débit Max ($Q = Q_{max}$).

IV.3.4 la profondeur critique h_c

La profondeur critique de l'écoulement est déterminée en minimisant la fonction $E(h)$:

$$\frac{Q^2}{g} = \left(\frac{A_c^3}{L_c} \right) \quad (63)$$

A_c et L_c sont la surface mouillée et la largeur spécifique de la section d'écoulement critique

La section est soumise à une empirique :

$$Q = \left(\frac{1}{n}\right) * S * R_h^{2/3} * \sqrt{I} \quad (64)$$

Avec

$$k = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gb^2}} \quad \text{Et} \quad S = \frac{mk}{b}$$

Donc

$$h_c = \left(\frac{q^2}{b}\right)^{1/3} \quad (65)$$

Avec $q = \frac{Q}{b}$

IV.3.5 Pente critique

C'est la pente pour laquelle $h_c = h_n$ c'est-à-dire :

$$Q = C_n * A_n * \sqrt{R_h I} = C_c * A_c * \sqrt{R_c * I_c} \quad (66)$$

Elle est déterminée comme suit :

$$I_c = \frac{g * A_c}{L * C_c^2 * R_c} \quad (67)$$

Et donc $i = \frac{f(hc)}{f(hn)} i_c$

La pente critique pour un débit donné est celle pour que le débit s'écoule en régime critique et uniforme, elle est donnée par :

$$I_c = \frac{Q^2}{C^2 * S^2 R_h} \quad (68)$$

Conclusions :

✓ $h_n > h_c \Rightarrow i < i_c$

✓ $h_n = h_c \Rightarrow i = i_c$

✓ $h_n < h_c \Rightarrow i > i_c$

Paramètre de cinétisme du courant d'eau- Nombre de Froude :

$$\frac{Q^2 * L}{g * A^3} = \left(\frac{E_c}{E_p} \right) \quad (69)$$

Ce rapport est appelé nombre de Froude, et caractérise l'étape énergétique du courant d'eau, autrement dit :

$$F = \frac{V}{\sqrt{g * D_h}} \quad (70)$$

✓ $h > h_c \Rightarrow E_p > E_c \Rightarrow Fr < 1$: et le régime est fluvial

✓ $h = h_c \Rightarrow E_p = E_c \Rightarrow Fr = 1$: et le régime est transitoire

✓ $h < h_c \Rightarrow E_p < E_c \Rightarrow Fr > 1$: et le régime est torrentiel

IV.4 Calcul de la ligne d'eau :

IV.4.1 Calcul de la ligne d'eau :

Les plans d'eau sont calculés à l'aide de l'équation de continuité et équation de conservation de l'énergie. En supposant la géométrie et la rugosité canal ainsi que la valeur du débit permanent. On cherche la ligne de flottation, c'est toute relation entre le tirant d'eau et l'abscisse.

L'équation de l'énergie :

$$H = Z + \frac{V^2}{2 * g} + h \quad (71)$$

L'équation de continuité : $Q = V.S$

IV.4.2 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 (VI.22). Et pour cela on désigne trois méthodes de calcul :

- Par approximation successive.
- Par intégration directe.

IV.5 Calcul hydraulique du canal :

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

IV.5.1 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 0.75.

IV.5.2 La rugosité :

Il est possible de définir 3 zones de rugosité différentes :

Pour la base d'oued la rugosité **n** égale à 0.017.

Pour les berges d'oued la rugosité **n** égale à 0.033.

IV.5.3 La largeur du canal :

On prend **b** = 20 m, elle correspond à largeur moyenne.

VI.6 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 l'oued après l'aménagement.

Les résultats de la simulation sont donnés dans le tableau et les figures suivants :

RIVER STA	Q	MIN CH	W.S ELE	CRIT W.S	E.G ELEV	EG SLOLP	VEL CHNL	FLOW AREA	TOP WIDTH	H eau	FROUD
unité	M ³ /S	m	m	m	m	m/m	m/s	m ²	m	m	
2600	164.41	271.95	273.49	273.49	274.24	0.002718	3.84	42.78	28.68	1.54	1
2550	164.41	273.02	274.56	274.56	275.31	0.002715	3.84	42.82	28.78	1.54	1.01
2500	164.41	274.09	275.63	275.63	276.38	0.002713	3.84	42.83	28.78	1.54	1
2450	164.41	275.15	276.69	276.69	277.44	0.002714	3.84	42.83	28.77	1.54	1
2400	164.41	276.22	277.76	277.76	278.51	0.002714	3.84	42.83	28.77	1.54	1
2350	164.41	277.29	278.83	278.83	279.58	0.002715	3.84	42.82	28.77	1.54	1
2300	164.41	278.36	279.9	279.9	280.65	0.002714	3.84	42.83	28.77	1.54	1
2250	164.41	279.43	280.97	280.97	281.72	0.002713	3.84	42.84	28.78	1.54	1
2200	164.41	280.5	282.04	282.04	282.79	0.002714	3.84	42.83	28.78	1.54	1
2150	164.41	281.56	283.1	283.1	283.85	0.002715	3.84	42.82	28.77	1.54	1
2100	164.41	282.63	284.17	284.17	284.92	0.002712	3.84	42.84	28.77	1.54	1
2050	164.41	283.68	285.22	285.22	285.97	0.002715	3.84	42.83	28.78	1.54	1
2000	164.41	284.71	286.25	286.25	287	0.002713	3.84	42.83	28.77	1.54	1
1950	164.41	285.73	287.27	287.27	288.02	0.002715	3.84	42.83	28.77	1.54	1
1900	164.41	286.74	288.28	288.28	289.03	0.002712	3.84	42.84	28.78	1.54	1
1850	164.41	287.74	289.28	289.28	290.03	0.002715	3.84	42.82	28.78	1.54	1.01
1800	164.41	288.74	290.28	290.28	291.03	0.002714	3.84	42.83	28.77	1.54	1
1750	164.41	289.74	291.28	291.28	292.03	0.002716	3.84	42.82	28.77	1.54	1.01
1700	164.41	290.75	292.29	292.29	293.04	0.002714	3.84	42.83	28.78	1.54	1
1650	164.41	291.75	293.29	293.29	294.04	0.002714	3.84	42.83	28.77	1.54	1
1600	164.41	292.75	294.29	294.29	295.04	0.002716	3.84	42.82	28.77	1.54	1.01
1550	164.41	293.76	295.3	295.3	296.05	0.002713	3.84	42.83	28.78	1.54	1
1500	164.41	294.76	296.3	296.3	297.05	0.002713	3.84	42.83	28.78	1.54	1
1450	164.41	295.76	297.3	297.3	298.05	0.002714	3.84	42.83	28.77	1.54	1
1400	164.41	296.76	298.3	298.3	299.05	0.002715	3.84	42.82	28.77	1.54	1
1350	164.41	297.77	299.31	299.31	300.06	0.002713	3.84	42.83	28.78	1.54	1
1300	164.41	298.77	300.31	300.31	301.06	0.002713	3.84	42.83	28.78	1.54	1
1250	164.41	299.77	301.31	301.31	302.06	0.002715	3.84	42.83	28.77	1.54	1
1200	164.41	300.77	302.31	302.31	303.06	0.002715	3.84	42.82	28.77	1.54	1
1150	164.41	301.78	303.32	303.32	304.07	0.002714	3.84	42.83	28.78	1.54	1
1100	164.41	302.78	304.32	304.32	305.07	0.002714	3.84	42.83	28.77	1.54	1
1050	164.41	304	305.54	305.54	306.29	0.002713	3.84	42.83	28.77	1.54	1
1000	164.41	305.54	307.08	307.08	307.83	0.002714	3.84	42.83	28.77	1.54	1
950	164.41	307.4	308.94	308.94	309.69	0.002716	3.84	42.82	28.77	1.54	1.01
900	164.41	309.59	311.13	311.13	311.88	0.002713	3.84	42.83	28.77	1.54	1
850	164.41	311.89	313.43	313.43	314.18	0.002716	3.84	42.82	28.77	1.54	1.01
800	164.41	314.19	315.73	315.73	316.48	0.002716	3.84	42.82	28.77	1.54	1.01
750	164.41	316.49	318.03	318.03	318.78	0.002712	3.84	42.84	28.77	1.54	1
700	164.41	318.8	320.34	320.34	321.09	0.002713	3.84	42.83	28.78	1.54	1
650	164.41	321.1	322.64	322.64	323.39	0.002714	3.84	42.83	28.78	1.54	1
600	164.41	323.4	324.94	324.94	325.69	0.002715	3.84	42.82	28.78	1.54	1
550	164.41	325.7	327.24	327.24	327.99	0.002714	3.84	42.83	28.78	1.54	1

Tableau XXXVI:: Les paramètres de l'écoulement du canal



Figure 31: Proposition du canal

Pour notre travail, HEC-RAS demande à l'utilisateur de lui fournir des profils en travers plus ou moins éloignés les uns des autres. C'est la partie du travail la plus contraignante, car il faut tabuler de nombreux profils.

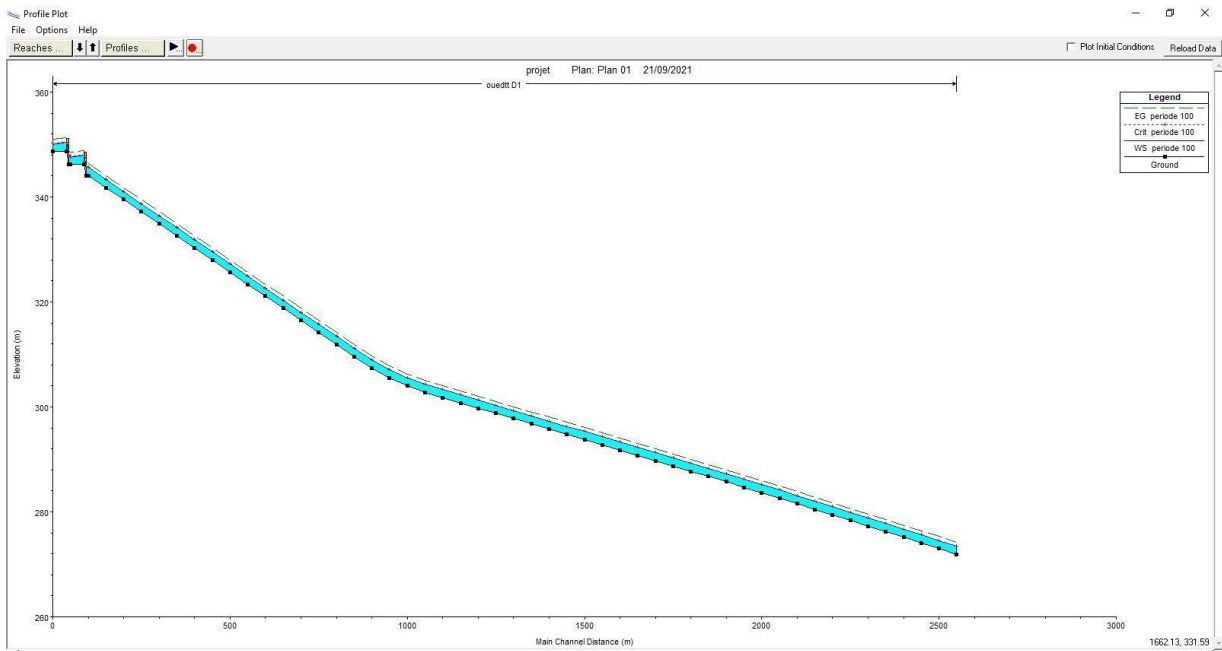


Figure 32: profile en long

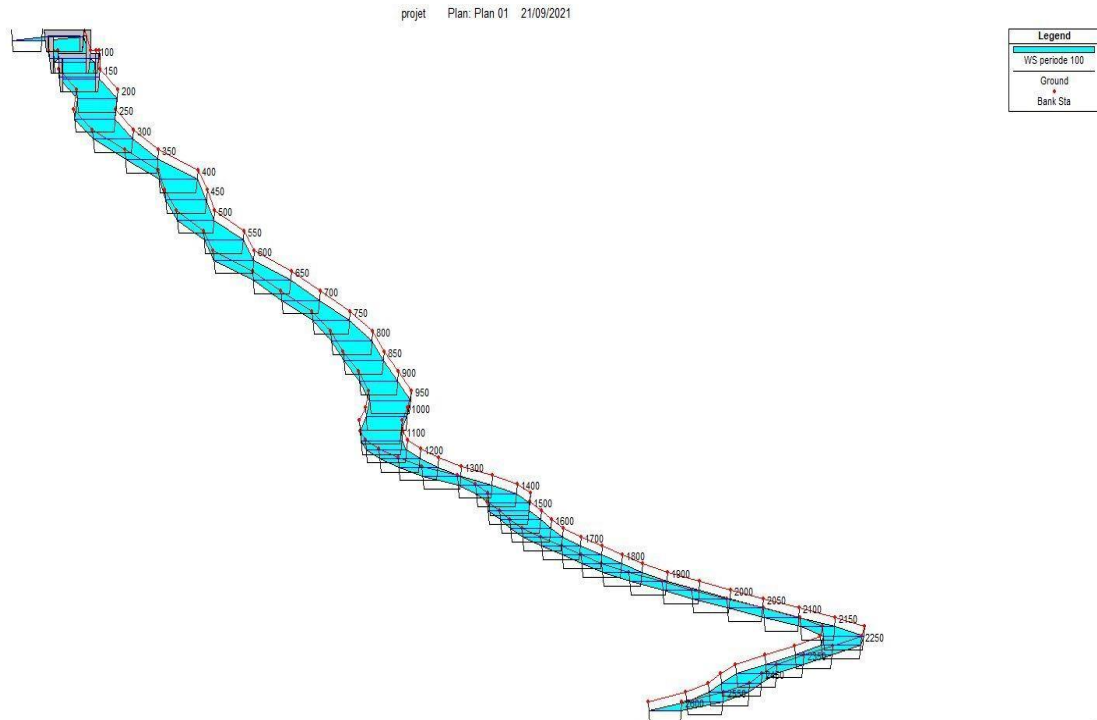


Figure 33: Visualisation en 3D de l'oued Teksiriden tronçon (50-2600)

Remarque :

Pour effectuer ces calculs, et trouver une solution convergente, le logiciel a besoin d'un espacement limité entre les sections. (Section retenue est de 50 m). Nous avons ainsi la possibilité d'interpoler de nouvelles sections entre les anciennes. Ainsi nous pouvons disposer d'un bief exploitable (solution choisie).

IV.7 Sections en travers du cours d'eau

HEC-RAS permet de prendre en compte toutes les irrégularités des sections. Pourtant, le manque de temps ne nous a pas permis de mettre dans la modélisation des singularités qui peuvent éventuellement freiner l'écoulement (rétrécissement du aux ponts, chutes sur les seuls).

Les résultats obtenus sont illustrés dans les figures suivantes :

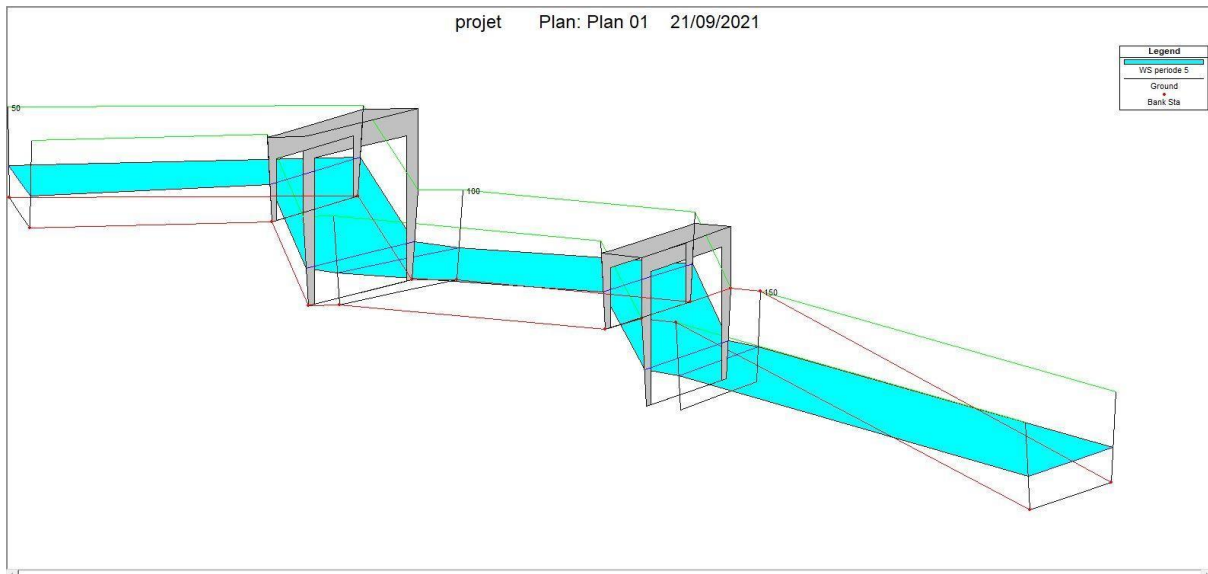
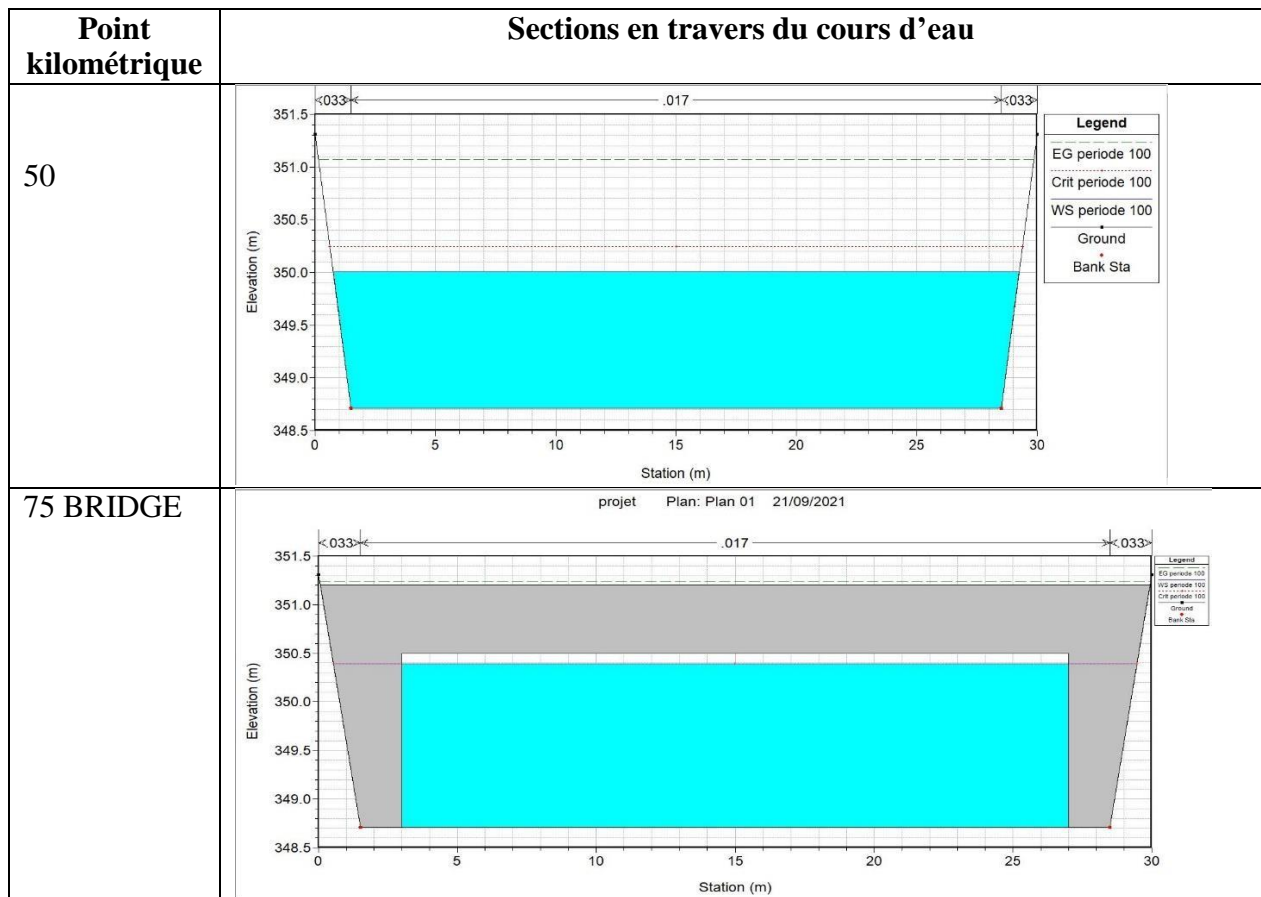
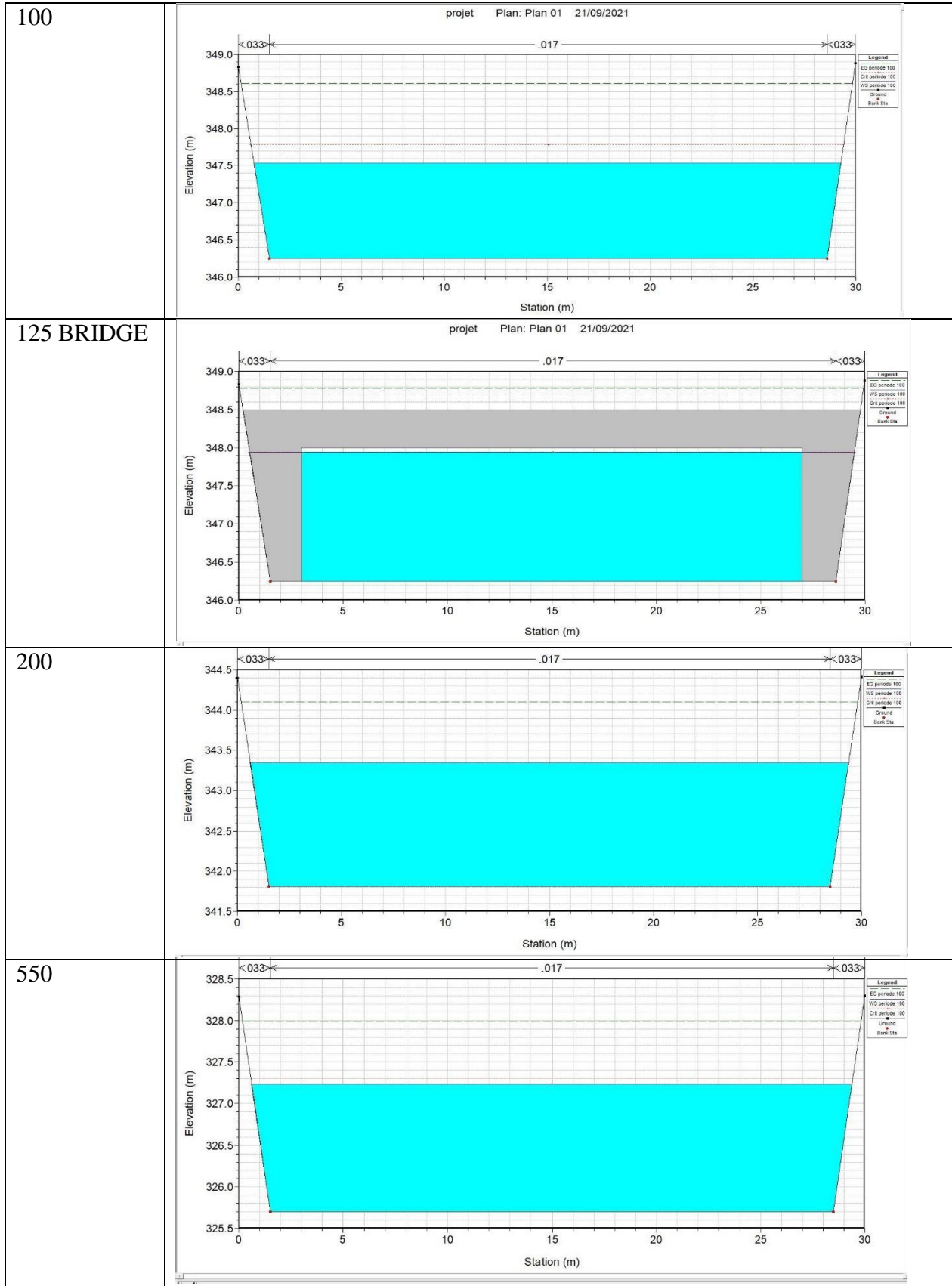


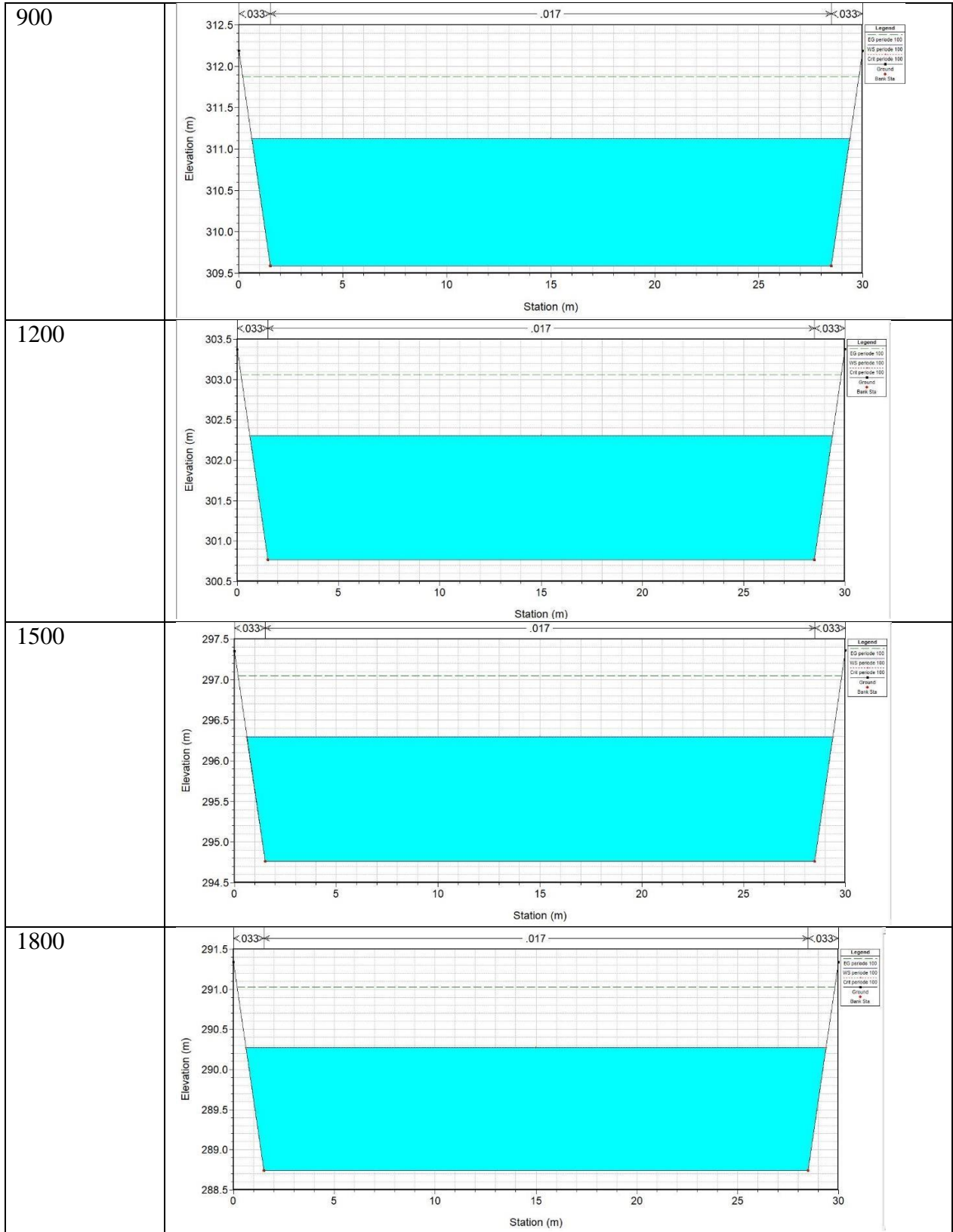
Figure 34: les Ponts disponibles au niveau de la vallée



Chapitre IV : Etude Hydraulique avec Aménagement



Chapitre IV : Etude Hydraulique avec Aménagement



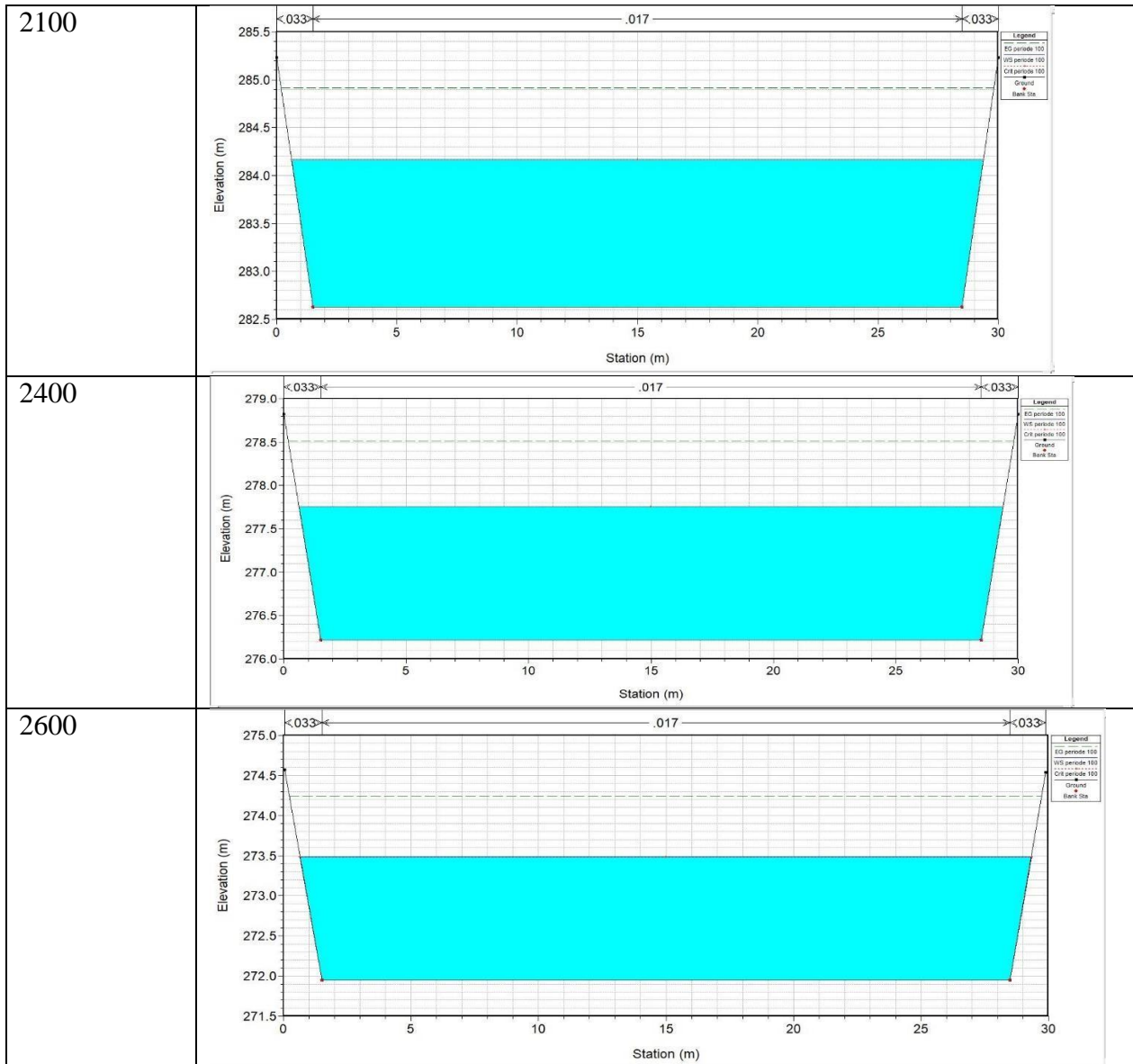


Figure 35 :Sections en travers du cours d'eau

Conclusion :

D'après les résultats obtenus après simulation des aménagements proposés, on constate que toutes les simulations d'aménagement ont un déplacement minimum de quelques centimètres dans le plan d'eau. Ces derniers nous montrent que l'écoulement est pratiquement critique tout le long du canal, ce qui engendre des vitesses importantes allant de 3.13 à 4.59 (m/s) pour des hauteurs d'eau inférieures au limite de vaguement. On observe aussi dans notre étude sans aménagements, des débordements dans toutes les zones au voisinage de notre oued. Contrairement dans le cas d'étude hydraulique avec aménagement, on obtient des résultats assurant l'absence de débordement le long du canal et la capacité de l'oued est suffisante pour évacuer le flux de la crue en toute sécurité.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Ce travail a porté sur l'étude hydrologique des bassins versants de l'oued de Teksiriden dans le but d'une simulation hydraulique qui permet d'identifier les zones à risque d'inondation dans la commune rurale de Chorfa.

L'étude hydrologique a montré que l'oued Teksiriden contient un petit bassin versant couvrant une superficie de 30,8 km² et une circonférence d'environ 37,3 km (selon la méthode numérique Google Earth, Global Mapper, Auto-cad, Covadis). Il est situé entre une altitude de 335 m et 1948 m. Les caractéristiques physiques de ce bassin versant montrent qu'il a une forme allongée avec une longueur de cours d'eau de 13 km et un rectangle équivalent d'une longueur de 16,64 km et d'une largeur de 1,85 km.

En examinant les cartes hypsométriques et de pente, l'écoulement le long de l'oued se dirige vers le sud du Chorfa. La localité de Chorfa est située non loin de l'exutoire.

D'après l'analyse de la série des données pluviométrique et climatologique, on trouve que :

La région est caractérisée par un climat subhumide avec une précipitation entre (660 et 400) mm par an. On retient un débit de projet $Q_{(100)}$ de 164.41 m³/s au niveau de l'exutoire de bassin d'oued.

La modélisation hydraulique à une dimension, grâce au logiciel HEC-RAS, permet d'une part la simulation de crue à différentes périodes de retour, et d'autre part de voir l'évolution hydraulique de l'oued Teksiriden en utilisant les hauteurs, les énergies et les vitesses de l'écoulement. Toutefois, un problème de surestimation des volumes et du débit de point persiste malgré les corrections effectuées. Ce problème est lié essentiellement au manque de données de pluviographes.

Les résultats obtenus à partir de la modélisation hydraulique à la fin de notre étude peuvent servir aux décideurs dans le choix des types d'interventions pour l'aménagement des zones inondables en offrant une vision générale sur le comportement de l'oued Teksiriden lors du dépassement de débits de pointe des périodes de retour.

Bibliographie

- [1] **Viziterv, Gauff**, Etude d'approvisionnement en eau potable et industrie des agglomérations du couloir AKBOU-BEJAIA à partir du Barrage Tichi-Haf, rapport de synthèse de la collecte des données, 1987.
- [2] (**Zerdane, D. (2013)**). Etude hydrologique et hydrogéologique de la région de Bouira (Doctoral dissertation.)
- [3] **RACHIDI, S., & Tensift, A. D. B. H.** Etude hydrologique et simulation hydraulique pour la délimitation des zones inondables au niveau de la localité de talet ighoud, province d'al Youssoufia,(Maroc).
- [4] **Livre "Crues et apports"** 2 mars 1998, "Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche"
- [5] **LIAMAS José, 1993**, "Hydrologie générale : principes et applications", 2ème édition, édition Gaëtan Morin, Québec Canada.
- [6] Organisation météorologique mondiale, « Pluviométrie » [archive], sur Eumetcal (consulté le 11 décembre 2012)
- [7] Organisation météorologique mondiale, « Trace » [archive du 3 mars 2016], sur Eumetcal (consulté le 11 décembre 2012)
- [8] **TOUAIBIA. B**, Manuel pratique d'hydrologie. Presses Madani Frères. , Blida, Algérie.
- [9] **SAKHRAOUI. F** : Cours d'hydraulique 3. Université Abderrahmane Mira-Bejaia
- [10] **ASTEE (2017)** : Memento technique : Conception et dimensionnement des systèmes de gestion des eaux pluviales et de collecte des eaux usées ; 273p.
- [11] HEC-RAS, Guide de laboratoire, Ecole de Technologie supérieure, Université de Québec, Mars 2005
- [12] **T. BENKACI et N. DECHEMI**, Hydrological risks analysis and impacts to water quality for east-west motorway, *Revue scientifique et Technique*. Vol. N°16 et 17, pp.37-45, Décembre 2010.

Bibliographie

[13] U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, HEC-RAS river analysis system, Hydraulic reference manual, USA, 441 pages, version 5.01, Avril 2016

[14] S. MEDJEK et N. TIZI, 2016 ÉTUDE D'AMENAGEMENT D'OUED EL KSEUR W.BEJAIA, Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira-Bejaia

[15] Robert Lagacé, 2016, cours aménagement des cours d'eau et conservation des sols, Université Laval

Résumé

Les inondations des cours d'eau en Algérie provoquent chaque année de nombreuses pertes humaines et matérielles, obligeant les ingénieurs de l'hydraulique à trouver les solutions nécessaires pour résoudre ces problèmes qui mettent en danger la société et la nature.

Cette étude propose des solutions concernant l'aménagement de l'oued de Tiksiridin en utilisant les différents logiciels comme Auto-cad, Civile 3D, Global Mapper, Covadis et Hec-Ras...

ملخص

تتسبب فيضانات الأنهار في الجزائر في كثير من الخسائر البشرية والمادية كل عام، مما أجبر المهندسين الهيدروليكيين على إيجاد الحلول اللازمة لحل هذه المشاكل التي تعرض المجتمع والطبيعة للخطر. وتقترح هذه الدراسة حلاً أولاً تتعلق بتهيئة وادي تيكسيريدين باستخدام برامج مختلفة مثل

(Hec-Ras و Covadis و Global Mapper و Civile 3D و Auto-cad)

abstract

The floods of rivers in Algeria cause many human and material losses every year, forcing hydraulic engineers to find the necessary solutions to solve these problems which endanger society and nature.

This study offers solutions for the development of the Tiksiridin wadi using various software such as Auto-cad, Civile 3D, Global Mapper, Covadis and Hec-Ras ...