

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

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

Option: CONCEPTION DES OUVRAGES HYDRAUTECHNIQUES

THEME :

**Étude d'aménagement hydraulique d'oued Tissiar ville d'Akbou
Wilaya de Béjaia**

Présente par:

- M^r MADACI Messaoud

Devant le membre de jure

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
- M ^r HADJ SADOK Ahmed	M.C.A	Président
- M ^r ZEROUAL Ayoub	M.C.A	Membre
- M ^r BOUZIANE Mamar	M.A.A	Membre
- M ^{me} DJOUDAR Dahbia	M.C.A	Promotrice

Session: octobre 2020.

Dédicace :

Du fond du cœur, je dédie cette thèse en signe d'amour, de respect et de reconnaissance :

A ma cher famille :

Pour leur soutien, patience et leurs sacrifices durant mes études et durant ce projet. Je vous dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferais toujours de mon mieux pour rester votre fierté et ne jamais vous décevoir que dieu le tout puissant, vous préserve, vous accorde santé, bonheur et vous protège de tout mal.

A mes amis de toujours :

La liste est longue et je ne peux pas citer tous mais au fond de mon cœur je voudrai dire merci d'être dans ma vie pour le soutien je vous aime tous également !

MADACI Messaoud

Remerciements :

Au terme de cette étude, fruit de mes années de labeur, je tiens à remercier en premier lieu dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage, les moyens et les personnes qui m'ont aidé à l'élaboration de ce modeste travail.

*Ces quelques lignes ne vont jamais exprimer à la juste valeur ma reconnaissance à l'égard de mon promoteur **Mme DJOUDAR** pour l'aide qu'elle m'a offerte durant la période de réalisation de ce travail.*

Toute gratitude à nos professeurs et enseignants qui nous ont guidés au cours de la formation d'ingénieur, et nos respects aux membres de jury qui nous feront l'honneur d'apprécier ce travail.

*Mes derniers remerciements, mais non les moindres s'adressent à tous mes amis de la promotion 2020, pour avoir beaucoup de sollicitudes et de chaleur humaine dont nous avons tant besoin, à savoir : **MAMITO, ELHACHOM, ROKHO, ISLEM LHAW, HAMDANI** sans oublier les autres ...*

ملخص :

تعتبر مخاطر الفيضانات إحدى الظواهر الطبيعية المستعرة في الجزائر ، وتظهر الدراسات الإحصائية الأخيرة التي وضعتها الحماية المدنية أن العديد من المدن معرضة لخطر الفيضانات. لهذا ، من الضروري وضع خطط للوقاية من الفيضانات في المناطق التي تعتبر معرضة للخطر.

وضمن هذا الإطار ، تندرج الدراسة الحالية في نطاق تطوير واد تسيار بلدية أكبو بولاية بجاية.

في هذا السياق ، تم إجراء دراسة هيدرولوجية مفصلة من أجل التمكن من تحديد تدفقات الفيضانات بدقة.

جعلت نتائج الدراسة الفنية الاقتصادية من الممكن الاحتفاظ بمتغير مع قناة خرسانية معززة شبه منحرفة مختلطة في أعلى الوادي لأول قسمين بارتفاع 2 متر وعرض 5 أمتار وفي التراب أسفل مجرى النهر. الوادي للأقسام الثلاثة الأخيرة بارتفاع 2.5 متر وعرض 5 متر.

الكلمات المفتاحية : الفيضانات ، وادي تيسيار ، أكبو ، القناة المختلطة ، خريطة الفيضان

Résumé :

Le risque d'inondation fait partie des phénomènes naturels qui sévissent en Algérie, des études statistiques récentes établies par la protection civile montrent que de nombreuses villes risquent d'être inondées. Pour cela, ils'avère incontournable de mettre en place des plans de prévention contre les inondations dans les zones jugées vulnérables.

C'est dans ce cadre que s'inscrit la présente étude dont l'objectif principal est l'aménagement d'oued Tissiar, de la commune d'Akbou, situé dans la wilaya de Bejaia.

Dans ce contexte, une étude hydrologique détaillée a été réalisée pour pouvoir procéder à une détermination précise des débits de crue.

Les résultats de l'étude technico-économique a permis de retenir une variante avec un canal mixte en béton armé de forme trapézoïdale en amont de l'oued pour les deux premiers tronçons avec 2m de hauteur et 5m de largeur et en gabion en aval de l'oued pour les trois derniers tronçons avec 2.5m de hauteur et 5m de largeur.

Mots clés : Inondations, Oued TISSIAR, Akbou ,canal mixte, carte d'inondation.

Abstract :

The risk of flooding is one of the natural phenomena raging in Algeria, recent statistical studies established by the civil protection show that many towns are at risk of being flooded. For this, it is essential to put in place flood prevention plans in areas deemed vulnerable.

It is within this framework that this study falls within the scope of the main objective of the development of oued Tissiar, in the municipality of Akbou, located in the wilaya of Bejaia.

In this context, a detailed hydrological study was carried out in order to be able to make a precise determination of the flood flows.

The results of the technico-economic study made it possible to retain a variant with a mixed trapezoidal reinforced concrete channel upstream of the wadi for the first two sections with 2m high and 5m wide and in gabion downstream of the wadi for the last three sections, 2.5m high and 5m wide.

Keywords : Floods, Oued TISSIAR, Akbou, mixed channel, flood map.

SOMMAIRE :

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I: Génialités sur les inondations

I.1 Introduction.....	2
I.2 Inondations.....	2
I.2.1 Définition	2
I-2-1-1. Les causes et origines des inondations.....	2
I-2-1-2. Les Type d'inondations.....	3
I-2-1-3. Les conséquences engendrées par les inondations	7
I-2-2. Les crues	7
I-2-2-1. Les éléments descriptifs d'une crue.....	8
I-2-3. Les cours d'eaux	8
I-2-3-1. Les différentes parties d'un cours d'eau	9
I-3. Les inondations dans le monde.....	10
I-4. Les inondations en Algérie	11
I.5 Conclusion.....	12

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

II.1 Introduction.....	13
II-2. Situation géographique	13
II-3. Situation démographique	13
II-4. Aperçu géologique	13
II-5. Synthèse hydrogéologique	16
II-6. Situation climatique	16
II-7 : Situation géomorphologique	18
II-8 : Situation sismique	19
II-9. Conclusion.....	20

Chapitre III: Etude Hydrologique

III.1 Introduction.....	21
-------------------------	----

III-2 Les caractéristiques du bassin versant.....	21
III.2.1 Caractéristiques géographiques du bassin versant	21
III-2-3 Caractéristique morphologique du bassin versant	22
III-2-3-5 Le relief.....	22
III-2-3-5-1 Les courbes hypsométriques.....	23
III-2-3-5-2 Les altitudes caractéristiques	25
III-2-4 Les caractéristiques des écoulements dans le bassin versant	28
III-2-4-1 Le réseau hydrographique	28
III-2-4-2 Le temps de concentration	29
III-2-4-3 La vitesse moyenne de ruissellement.....	30
III-2-5 L'étude pluviométrique du bassin versant	32
III-2-5-1 L'estimation de la pluie maximale journalière	32
III-2-5-2 Le calcul des paramètres statistiques de la série	33
III-2-5-3 L'ajustement a une loi statistique.....	33
III-2-5-3-1 L'ajustement a la loi de GUMBEL.....	33
III-2-5-3-2 L'ajustement a la loi NORMAL	34
III-2-5-3-3 L'ajustement a la loi LOG-NORMAL	35
III-2-5-4 Choix de la loi d'ajustement	36
III-2-5-5 Le test d'adéquation par le test de Khi-deux	37
III-2-5-6 Pluies de courte durée I.D.F (Intensité-Durée-Fréquence)	37
III-2-5-6-1 Les graphiques de pluies courtes durées et (IDF)	38
III-2-5-7 L'étude des apports.....	39
III-2-5-8 Les apports liquides	39
III-2-5-8-1 Caractéristiques de l'écoulement	42
III-2-5-8-2 Coefficient de variation.....	42
III-2-5-8-3 L'analyse fréquentielle de l'écoulement.....	43
III-2-5-9 Etude des apports solides	44
III-2-5-9-1 Estimation d'envasement annuel.....	46
III-2-5-9-2 Détermination des débits maximaux fréquents	46

III-2-5-9-3 Hydrogramme de crue	48
III-2-5-10 Choix de la crue du projet.....	50
III-3 Conclusion	51

Chapitre IV: Calcul Hydraulique

IV-1 Introduction.....	52
IV-2 Généralité sur les canaux	52
IV-2-1 Canaux à ciel ouvert.....	52
IV-2-2 Les canaux naturels.....	52
IV-2-2 Les canaux artificiels.....	53
IV-2-2 Dimensionnement des canaux.....	53
IV-2-2 Canal à section trapézoïdale.....	55
IV-2-2 Canal à section rectangulaire.....	56
IV-2-2 Calcul de la profondeur critique h_{cr}	56
IV-2-2 Calcul de la pente critique	57
IV-3 Généralités sur les écoulements	57
IV-3-1 L'écoulement à surface libre	57
IV-3-1 Régime d'écoulement	58
IV-3-1 Calcul de la ligne d'eau	59
IV-3-1 Equation de la ligne d'eau.....	59
IV-3-1 Les différentes formes de courbe de remous :	59
IV-3-1 Calcul du ressaut	61
IV-4 Modélisation de l'écoulement.....	63
IV-4-1 Présentation du logiciel Hec-Ras	63
IV-4-1 Les étapes de simulation par HEC-RAS.....	64
IV-4-1 Les données de l'écoulement et les conditions aux limites	65
IV-4-1 Données d'écoulement.....	65
IV-4-1 Condition aux limites.....	66
IV-4-1 Simulation.....	66
IV-5 Conclusion.....	69

Chapitre V: Choix de variante

V-1 Introduction.....	70
V-2 Processus de l'aménagement dans le cadre de l'étude.....	70
V-2-1 Les différents types d'aménagements.....	70
V-3. Les formules de dimensionnement des canaux	70
V-4. Choix des paramètres de dimensionnement.....	72
V-5. Etude des variantes.....	72
V-5-1. Canal trapézoïdal en béton armé.....	72
V-5-1-1. Dimensionnement.....	73
V-5-1-2. Les paramètres d'écoulement.....	73
V-5-1-3 . Estimation du coût de la variante.....	74
V-5-2. Canal en gabion.....	74
V-5-2-1. Dimensionnement.....	75
V-5-2-2. Les paramètres d'écoulement.....	76
V-5-2-3. Estimation du coût de la variante.....	76
V-5-3. Canal mixte Gabion et béton armé.....	76
V-5-3-1. Dimensionnement.....	76
V-5-3-2. Les paramètres d'écoulement.....	77
V-5-3-3. Estimation du coût de la variante.....	77
V-6. Choix de la variante d'aménagement.....	78
V-7. Conclusion.....	78

Chapitre VI: Organisation de chantier

VI-1 Introduction.....	79
VI-2. Rôles et responsabilités des intervenants sur le chantier.....	79
VI-2-1. Le maître de l'ouvrage.....	79
VI-2-2. Le maître d'œuvre.....	79
VI-2-3. L'entreprise.....	79
VI-2-4. L'entrepreneur.....	79
VI-3. Installations du chantier.....	79
VI-3-1. Installations de personnel.....	79
VI-3-2. Installation du stockage des matériaux.....	79
VI-3-3. Installation de la réparation des engins.....	79
VI-3-4. Installation des éléments de la préfabrication.....	79
VI-3-5. Succession des opérations du chantier.....	79
VI-4. Les moyens de chantier.....	79
VI-4-1. Les moyens humains.....	79
VI-4-2. Les moyens matériels.....	79
VI-5. Devis quantitatif et estimatif du projet.....	80
VI-6. Planification.....	80
VI-6-1. Méthodes basées sur le réseau.....	81
VI-6-2. Méthodes basées sur le graphique.....	82
VI-7. Les étapes de la planification.....	82
VI-8. Diagramme de Gantt.....	83
VI-9. Protection et sécurité de travail.....	84
VI-9. Conclusion.....	88

Conclusion générale.....	89
Bibliographie	
Annexe	

Liste des tableaux

Chapitre I: Génialités sur les inondations

Tableau I-1 : Conséquences des inondations.....	08
Tableau I.2 : les dégâts des pays touché par les inondations	11
Tableau I-3 : les inondations catastrophiques prévenus L'Algérie.....	12

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Tableau II-1 : Présentation de l'évolution démographique	14
Tableau II-2 : Présentation des données disponibles dans les différentes stations	16
Tableau II-3 : Répartition mensuelle de la pluie moyenne annuelle	17
Tableau II-4 : Répartition mensuelle de la température.....	17
Tableau II-5 : Répartition Mensuelle de l'évapotranspiration potentielle en(mm)	17
Tableau II-6 : Répartition mensuelle de vitesse du vent	18
Tableau II-7 : Répartition mensuelle de l'humidité relative	18
Tableau II-8 : Coefficients d'accélération du séisme.....	20

Chapitre III: Etude Hydrologique

Tableau III-1 : Caractéristique morphologique du bassin versant.....	22
Tableau III-2 : paramètres hypsométrique du bassin versant d'oued Tissiar.....	24
Tableau III-3 : les résultats de calcule des altitudes	25
Tableau III-4 : résultats de calcule d'indice de pente globale.....	26
Tableau III-5 : résultats de calcule de Dénivelée spécifique.....	26
Tableau III-6 : Classification O.R.S.T.O.M (type de relief)	27
Tableau III-7 : La classification de notre relief.....	27
Tableau III-8 : résultats de calcule de densité de drainage	29
Tableau III-9 : résultats de calcule de coefficient de torrentialité	29
Tableau III-10 : résultats de calcule du temps de concentration	30
Tableau III-11 : les résultats de calcule de la vitesse de ruissellement.....	31
Tableau III-12 : Tableau récapitulatif des caractéristiques morpho-métrique du bassin versant d'oued Tissiar.....	31
Tableau III-13 : Tableau des coordonnées de la station pluviométrique de Tifra	32
Tableau III-14 : Répartition mensuelle de la pluie moyenne annuelle (Tifra).....	32
Tableau III-15 : Tableau des Paramètres statistiques des précipitations annuelles de l'échantillon	33
Tableau III-16 : Tableau des résultats de l'ajustement à la loi de GUMBEL.....	34
Tableau III-17 : Tableau des résultats de l'ajustement de la loi NORMALE.....	35
Tableau III-18 : Tableau des résultats de l'ajustement a la loi LOG-NORMALE (HYFRAN)	35
Tableau III-19 : Tableau de comparaison des caractéristiques des lois.....	37
Tableau III-20 : Tableau de Pluies de courtes durées de différentes fréquences et leurs intensités	38
Tableau III-21 : résultats de calcule des apports et les lames d'eau écoulées.....	41
Tableau III-22 : Tableau des répartitions mensuelles de l'apport moyen annuel	41
Tableau III-23 : Les résultats de calcule des paramètres d'écoulement	42
Tableau III-24 : Résultats de calcul de coefficient de variation.....	43
Tableau III-25 : Tableau d'estimation des apports fréquentiels 80%	43
Tableau III-26 : Tableau de la répartition mensuelle de l'apport de fréquence 80%	44
Tableau III-27 : Tableau des résultats de calcule des apports solide.....	46
Tableau III-28 : Tableau de coefficient de ruissellement	48

Tableau III-29 : Tableau de résultats de calculs des débits maximaux fréquents d'oued Tissiar	48
Tableau III-30 : Tableau des débits de crues maximums choisis pour les différentes périodes de retour	48
Tableau III-31 : Coefficients de forme de l'hydrogramme de crue δ	49
Tableau III-32 : les valeurs des débits de crues en fonction du temps	49
Tableau III-33 : Tableau de Crue de projet recommandé	51

Chapitre IV: Calcul Hydraulique

Tableau IV-1 : Coefficient de Strickler pour divers types de canaux	54
Tableau IV-2 : Valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolidés	54
Tableau IV-3 : Paramètres géométriques d'un canal à section trapézoïdal	55
Tableau IV-4 : Quelques ordres de grandeur de fruit de talus.....	56
Tableau IV-5 : Les différentes formes de courbes de remous	61
Tableau IV-6 : Différents types de ressaut	63

Chapitre V: Choix de variante

Tableau V-1 : Rugosité pour différents canaux	71
Tableau V-2 : Revanches utilisées	72
Tableau V-3 : Valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolidés	72
Tableau V-4 : Dimensions de l'aménagement (canal en béton armé.....	73
Tableau V-5 : Paramètres d'écoulement de la variante canal en béton armé	73
Tableau V-6 : Devis de la variante (canal en béton armé)	74
Tableau V-7 : Paramètres hydrauliques pour une section en gabion.	74
Tableau V-8 : Dimensions de l'aménagement (canal en Gabion)	75
Tableau V-9 : Paramètres d'écoulement de la variante canal en Gabion.....	76
Tableau V-10 : Devis de la variante (canal en Gabion)	76
Tableau V-11 : Dimensions de l'aménagement (canal Mixte)	77
Tableau V-12 Paramètres d'écoulement de la variante canal mixte	77
Tableau V-13 : Devis de la variante (canal mixte en béton armé et gabion).....	77

Chapitre VI: Organisation de chantier

Tableau VI. 1 : Engins et leurs tâches.....	80
Tableau VI-2 : Le devis des différents travaux d'Oued Tissiar.....	80
Tableau VI- 3 : Liste des opérations avec leurs durées.....	83
Tableau VI-4 : Succession des tâches	83

Liste des figures

Chapitre I: Génialités sur les inondations

Figure I-1 : Rupture d'une digue à Novato.....	04
Figure I-2 : Embâcle sur un torrent, inondation par crue torrentielle	05
Figure I-3 : Débordement direct.....	06
Figure I-4 : Stagnation des eaux pluviales.....	06
Figure I-5 : Inondation par rupture du barrage	07
Figure I-6 : Inondation par submersion marine	07
Figure I-7 : Les éléments descriptif d'une crue	09

Figure I-8 : Schéma issu de la plaquette "Morphologie des cours d'eau".....	10
--	----

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Figure II-1 : Les communes limitrophes d'Akbou.	13
Figure II-2 : Situation administrative de la commune	14
Figure II-3 : Extrait de la carte géologique de la région d'Akbou au 1/500.000ème	15
Figure II-4 : Carte de zonage sismique de territoire nationale	19

Chapitre III: Etude Hydrologique

Figure III-1 : délimitation du bassin versant d'oued Tissiar	21
Figure III-2 : Carte hypsométrique du bassin versant d'oued Tissiar	23
Figure III-3 : La courbe hypsométrique du bassin versant d'oued Tissiar	24
Figure III-4 : Le Profil en long du cours d'eau principal d'oued Tissiar.....	25
Figure III-5 : Courbe de niveau du bassin versant d'oued Tissiar	27
Figure III-6 : Carte hydrographique de bassin versant d'oued Tissiar	28
Figure III-7 : Représentation graphique de l'ajustement de la loi de GUMBEL.....	34
Figure III-8 : représentation graphique de l'ajustement de la loi NORMALE	35
Figure III-9 : représentation graphique de l'ajustement de la loi LOG-NORMALE	36
Figure III-10 : présentation graphique des trois lois de distribution	36
Figure III-11 : Courbe de pluie courte durée de différentes fréquences.....	39
Figure III-12 : Intensités maximales pour différentes périodes de retours	39
Figure III-13 : Extrait de la carte des écoulements moyens annuels de l'ANRH	41
Figure III-14 : Hydrogrammes de crues pour différentes périodes de retour de BV-Tissiar ...	50

Chapitre IV: Calcul Hydraulique

Figure IV-1 : caractéristiques d'un lit d'oued.....	52
Figure IV-2 : Types de canaux artificiels (ouvert et fermé)	53
Figure IV-3 : Canal à forme trapézoïdale.....	55
Figure IV-4 : Canal à forme rectangulaire.....	56
Figure IV-5 : Schéma illustrant les différents types d'écoulements	58
Figure IV-6 : Différents courbes de Remous.....	60
Figure IV-7 : schéma d'un ressaut hydraulique.....	62
Figure IV-8 : Typologie des ressauts	62
Figure IV-9 : Fenêtre d'accueil du logiciel HEC-RAS	63
Figure IV-10 : Les profils en travers des oueds Tissiar	65
Figure IV-11 : Définition de la crue et des conditions aux limites	65
Figure IV-12 : Profil en long d'Oued Tissiar après la simulation.	66
Figure IV-13 : Vue en plan en 3D d'oued Tissiar.....	66
Figure IV-14 : Section en travers (63) d'oued Tissiar et résultats de simulation	67
Figure IV-15 : Section en travers (47) d'oued Tissiar et résultats de simulation	67
Figure IV-16 : Section en travers (61) d'oued Tissiar et résultats de simulation	68
Figure IV-17 : Section en travers (46) d'oued Tissiar et résultats de simulation	68

Chapitre V: Choix de variante

Figure V. 1 : Eléments géométriques pour des sections ouvertes diverses	71
Figure V-2 : schéma d'un canal trapézoïdal en béton armé	73
Figure V-3 : Coupe en travers d'un canal en gabion.....	75

Chapitre VI: Organisation de chantier

Figures VI-1 : Réseau de planification des tâches par la méthode CPM	84
---	----

Liste des abréviations

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques

ONM : Agence nationale métrologique

B.V : Bassin versant

Q : Débit

Min Ch. El : La cote de lit

W.S.Elev : La cote de ligne d'eau

Crit.W.S : La ligne critique

Vel Chn : Vitesse de l'écoulement

Flow Area : La surface

Fr : Nombre de Froude

RPA : Règlementation parasismique algérienne

Tmin : Température minimale

Tmax : Température maximale

Tmoy : Température moyenne

Vmoy : Le vent moyen

P : précipitation mensuelle

Liste des planches

Planche N°01: Levé final d'oued Tissiar ville d'Akbou (w.Béjaia)

Planche N°02: Variante d'aménagement d'oued Tissiar de la commune Akbou (w.Bejaia)

Planche N°03: Variante 2 d'aménagement d'oued Tissiar de la commune akbou (w.Bejaia)

Planche N°04: Profil en long d'oued Tissiar.de la commune Akbou (w.Bejaia)

Planche N°04: Profil en travers d'oued Tissiar dela commune Akbou (w.Bejaia)

Liste des annexes

ANNEXE 01 : Pluie maximales journalières (mm), STATION TIFRA (15-10-07)

ANNEXE 02 : Paramètres hydrauliques de toutes les sections d'oued TISSIAR avant l'aménagement (Hec-Ras)

Introduction générale

Introduction générale

L'eau sous toutes ses formes (fleuves et rivières, lacs, marais, zones humides, nappes souterraines), joue des rôles multiples dans le fonctionnement des écosystèmes. Pourtant, elle est également source de graves difficultés en particulier dans les domaines de la santé et de l'environnement. Les évolutions climatiques engendrent parfois des crues ou inondations et orages brutaux qui sont, sans doute, le risque naturel majeur qui fait le plus de victimes et de dégâts à travers le monde.

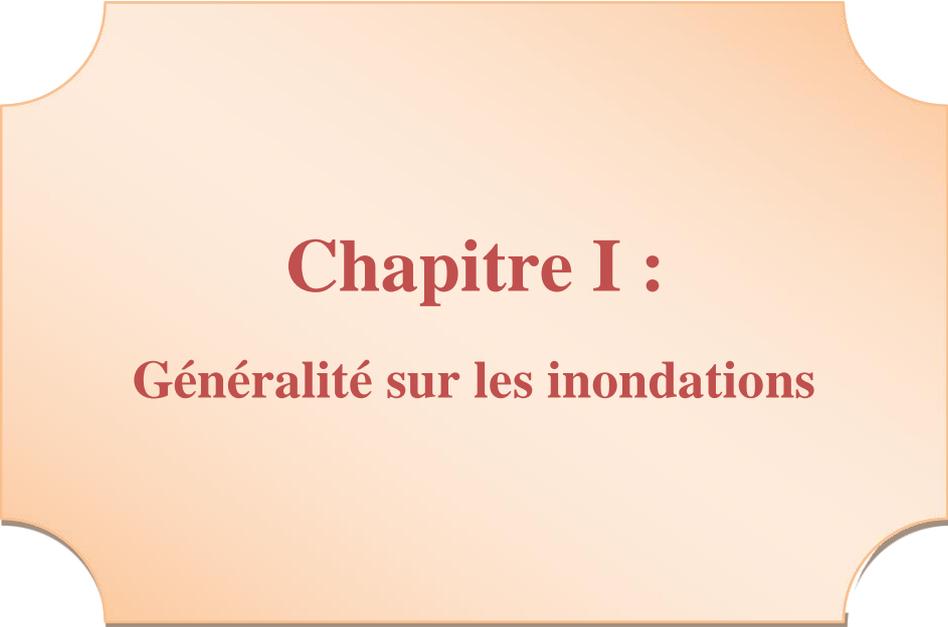
D'après l'historique des inondations et les services concernés, le risque d'inondation existe bel et bien en Algérie, aussi les statistiques de la protection civile montrent que des communes sont susceptibles d'être inondées. Donc, c'est pour cela qu'il faut mettre en place des plans de prévention contre les inondations dans les zones jugées vulnérables au risque. C'est dans ce cadre que s'inscrit notre étude, du fait que le cours d'eau d'Oued Tissiar, de la commune d'Akbou de la wilaya de Béjaia, est à l'origine d'inondation récurrente engendrée par des précipitations intenses.

Face à cette situation alarmante, la protection de la ville et de sa population s'impose.

L'objet du travail sera donc l'estimation de l'hydrogramme de crues, puis l'identification des zones à risque, ainsi que les enjeux dans le but d'envisager des mesures structurelles de protection.

Pour ce faire, le travail est divisé en cinq volets : on entamera l'étude avec une présentation détaillée de la zone d'étude, puis on traitera les pluies maximales journalières pour aboutir aux pluies maximales probables qui seront incluses dans le calcul des débits. Une fois les hydrogrammes estimés, les levés topographiques détaillés, on pourra étudier les écoulements dans les cours d'eau à l'état naturel afin d'élaborer une carte d'inondation sur l'Oued Tissiar et ses affluents en associant les fonctionnalités des deux logiciels AutoCad Civil 3D et HEC-RAS. Cela nous permettra d'identifier les zones inondables de l'Oued étudié.

Dès lors, on saura proposer des solutions sous forme de différentes variantes dont on choisira la mieux adaptée, et en faire une estimation quantitative et financière.

A decorative orange box with rounded corners and a slight shadow, containing the chapter title.

Chapitre I :
Généralité sur les inondations

I-1.Introduction

Une inondation est un fléau naturel qui affecte plusieurs pays du monde. Elle est due à de nombreux facteurs et aggravée par d'autres dont l'activité de l'homme qui fait souvent parti de l'un de ces facteurs. Les dégâts engendrés par cette catastrophe, qu'ils soient humains ou matériels engendrent généralement des conséquences lourdes.

L'inondation fait souvent référence au débordement de cours d'eau qui affectent gravement des terrains environnants par submersion. Elles peuvent être bénéfiques quand elles sont lentes et procurent des apports de limons fertilisants. Cependant, elles peuvent être désastreuses et dévastatrices rapides et violentes.

Dans ce premier chapitre nous allons entamer une présentation générale sur les inondations.

I-2.Définition

I-2-1. Les inondations :

Une inondation correspond à la submersion ponctuelle d'une zone habituellement sèche, par des eaux douces ou salées. Cette inondation peut être un phénomène régulier ou catastrophique et peut se produire lentement ou très rapidement.

Il existe deux types d'inondations, selon qu'elles impliquent des eaux douces ou des eaux marines. Les premières, que l'on pourrait qualifier de « terrestres », peuvent se produire dans l'intérieur des terres, tandis que les inondations marines concernent le littoral. (Lhomme,2011).

L'inondation est un phénomène spatial, qui peut s'étendre sur de vastes espaces géographiques, et cyclique, résultant de l'alternance des hautes et basses eaux d'une rivière.

De ce fait, la gestion de se risque s'organise également de façon cyclique, autour de trois temps principaux : avant, pendant et après.

I-2-1-1. Les causes et origines des inondations :

Les inondations terrestres :

- Le débordement direct d'un cours d'eau dans son lit majeur, suite à des épisodes de fortes précipitations ou à la fonte des neiges hivernales (ce sont les crues).
- Le débordement indirect d'une réserve d'eau (de surface ou souterraine) suite à la remontée des nappes phréatiques ou bien d'eaux à travers les canalisations.
- L'accumulation des eaux de ruissellement suite à des précipitations abondantes. Il se peut en effet que les capacités de drainage et d'infiltration d'une zone soient insuffisantes pour évacuer les eaux reçues, qui s'accumulent alors. Ce phénomène est accru lorsqu'il y a eu une imperméabilisation des sols (urbanisation) sans création d'un réseau d'évacuation suffisant. (Lhomme, 2011).
- La rupture d'un ouvrage de génie civil, comme un barrage ou une digue. Un défaut de conception, un manque d'entretien ou tout simplement un volume d'eau trop important peuvent créer une brèche puis une rupture d'un ouvrage de protection. Les conséquences sont en général catastrophiques car le flux d'eau est soudain et très puissant.



Figure I-1 : Rupture d'une digue à Novato (Californie) en 2005. jessicafm, CC by 2.0

(<https://www.google.com/search?q=hydrogramme>)

Les inondations marines :

- La marée haute de vives-eaux exceptionnelle : à l'équinoxe, lorsque les conditions astronomiques sont favorables, le coefficient de marée peut frôler la valeur maximale de 120. C'est alors que se produisent les marées les plus importantes qui, parfois, inondent les terres du littoral.
- Les phénomènes de surcote, qui provoquent une élévation supplémentaire du niveau de la marée haute. Ondes de houle, vagues, dépressions atmosphériques et plus rarement tempêtes et tsunamis créent une élévation locale du niveau des eaux sur le littoral. Ces phénomènes rendent alors possible une pénétration des eaux marines à l'intérieur des terres.
- La rupture d'un ouvrage de génie civil sur le littoral est encore une fois possible.
- L'élévation du niveau de la mer suite au réchauffement climatique. Cette montée des eaux à long terme menace des zones qui ne sont actuellement pas inondables et fragilisent celles qui le sont.

L'ensemble de ces mécanismes peut bien entendu se combiner et créer les conditions d'une inondation d'ampleur très importante aux conséquences dévastatrices. (SERRE .Francois ,1953)

Les inondations dans les zones à risque :

Lorsque ces différents phénomènes peuvent se produire dans des zones d'activités humaines, on parle de zones à risque. Le bilan humain et économique d'une inondation dépend donc à la fois de phénomènes la plupart du temps naturels et de l'implantation humaine dans des secteurs à risques (ancien marais, littoral, lit majeur de cours d'eau, etc.).

La mise en place de mesures d'information, de prévention, d'alerte et de défense réduit le facteur de risque mais ne le supprime pas. (<https://jdtechnologiesgroupe.fr/exposition-catastrophes-naturelles-sevres/>)

I-2-1-2. Les Type d'inondations :

Même si d'autres causes sont possibles (rupture de barrage, raz de marée, etc...), les inondations résultent généralement de crues.

Selon la rapidité d'évolution du phénomène, on distingue souvent les crues fluviales et les crues torrentielles (ou crues rapides), même si le passage d'un type de crue à l'autre est continu.

Il existe au moins cinq types d'inondations :

1- Les inondations par crues torrentielles :

Les **crues torrentielles** sont des phénomènes brusques et violents issues d'épisodes pluvieux d'une importante intensité. Le ruissellement de ces eaux charrie une grande quantité de matériaux solides (sédiments, bois morts,... etc.) qui font en quelque sections colmater le lit du cours d'eau et former des obstacles appelés **embâcles** (Figure I-1).

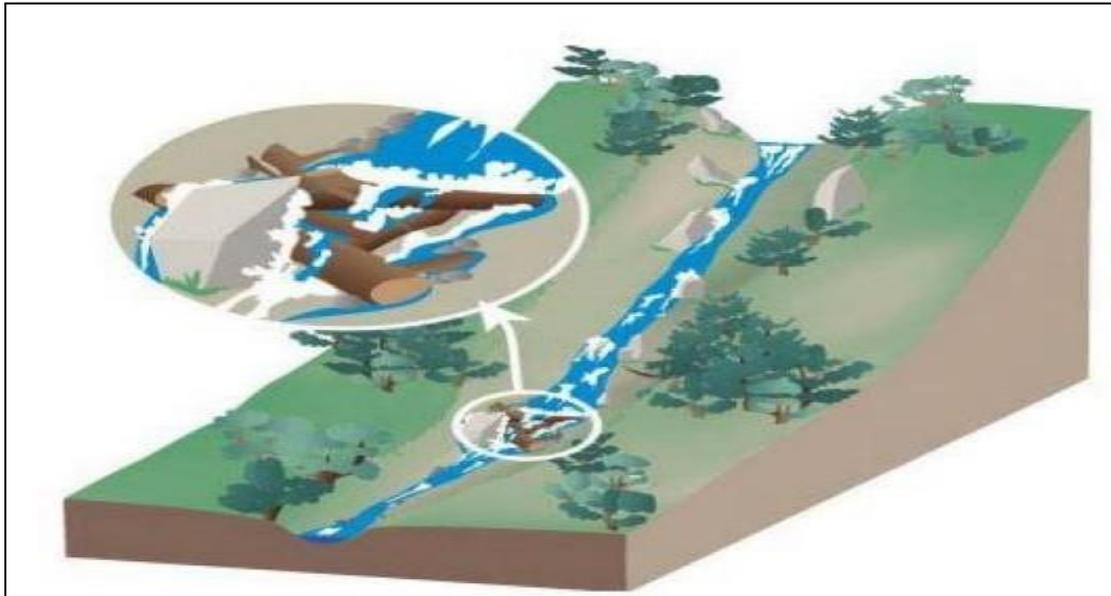


Figure I-2 : Embâcle sur un torrent, inondation par crue torrentielle

(<https://www.google.com/search?q=hydrogramme>)

En cédant, ces embâcles libèrent brutalement l'eau qu'ils ont retenue. En conséquence à cela des dégâts très importants sont engendrés.

On parle des **crues torrentielles**, lorsque le **temps de concentration** d'un bassin est inférieur à 12h.

Elles touchent, généralement, les bassins de montagnes et les régions méditerranéennes mais aussi de petits bassins au relief accentué et à forte capacité de ruissellement peuvent être concernés.

2- Les inondations par débordement directe (débordement des plaines) :

Les inondations de plaine résultent d'épisodes pluviaux de longue durée et d'intensité modérée. Le sol recevant ces pluies est caractérisé par une faible capacité de ruissellement (lent à déclencher). Par accumulation d'eau, dépassant sa capacité, le cours d'eau déborde, l'écoulement sort du lit mineur pour occuper les terres avoisinantes.

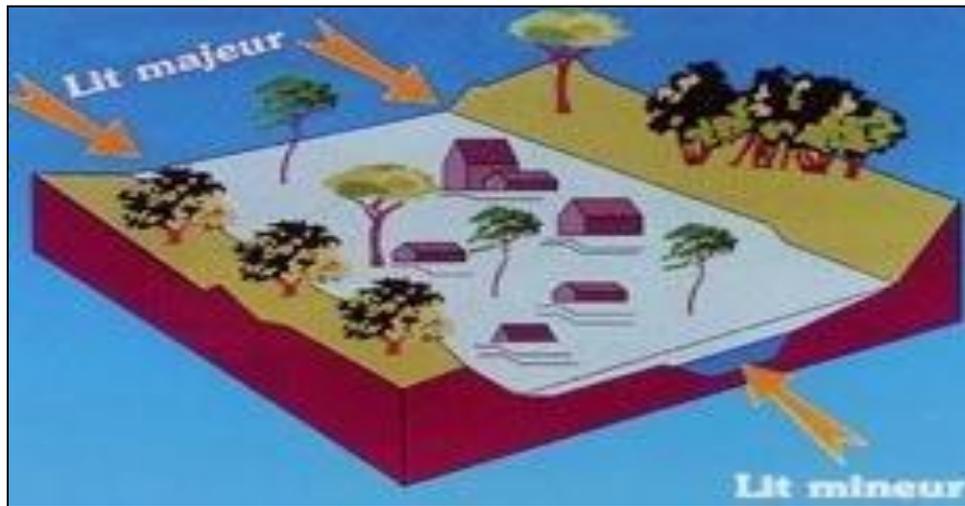


Figure I-3 : Débordement direct

(<https://www.sybtb.fr/le-territoire/fonctionnement-des-cours-deau>)

3- Les inondations par accumulation d'eau ruisselée :

Ce type d'inondation est provoqué suite à des pluies exceptionnelles ou d'orages violents s'abattant sur un sol de capacité d'infiltration et de drainage insuffisantes.

Cette insuffisance est due essentiellement à deux facteurs :

- Soit, l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltrabilité du sol,
- Ou bien, le ruissellement se fait sur un sol déjà saturé par une nappe.

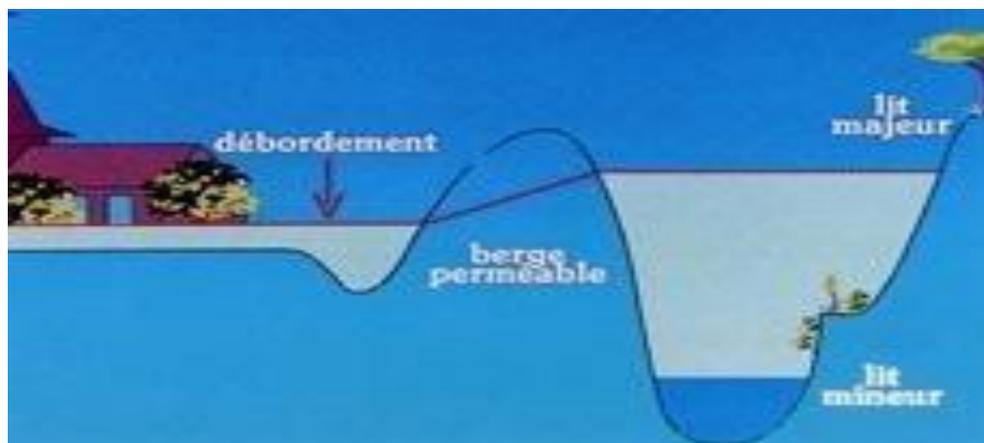


Figure I-4 : Stagnation des eaux pluviales

(<http://www.occitanie.developpement-durable.gouv.fr/methode>)

4- Les inondations par rupture d'un ouvrage hydraulique :

L'**inondation** causée par la destruction d'un ouvrage est un phénomène brutal et extrêmement dangereux. En effet, cette rupture provoque la libération d'une énorme quantité d'eau munie d'une force dévastatrice gigantesque détruisant tout sur son passage. Les statistiques des dégâts matériels et humains engendrés sont inestimables.

La rupture d'un ouvrage est très difficile à prévoir par conséquent la prévention de la calamité est encore plus difficile.

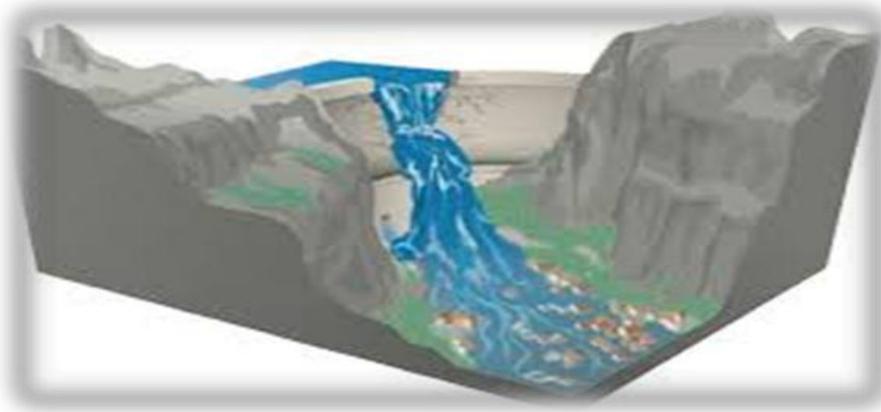


Figure I-5 : Inondation par rupture du barrage
(<https://www.google.com/search?q=hydrogramme>)

5- Les inondations par submersion marine :

Une submersion marine est une inondation temporaire des régions côtières par des eaux salées provenant de la mer avoisinante.

Elle est due à des événements météorologiques ou océanographiques de dimensions inhabituelles, tels que : marée haute de vives eaux exceptionnelle, phénomène de la surcote et l'élévation du niveau de la mer suite à une fonte importante des glaciers. (<https://hydrologie.org/glu/FRDIC/DICCRUE.HTM>)



Figure I-6 : Inondation par submersion marine
(<https://hydrologie.org/glu/FRDIC/DICCRUE.HTM>)

I-2-1-3. Les conséquences engendrées par les inondations :

Les inondations touchent tous les pays du monde avec des degrés différents. L'aléa présente des effets sur plusieurs secteurs.

Tableau I-1 : Conséquences des inondations (SERIR , 2013)

Secteurs	Conséquences
Santé et vie	Propagation des maladies infectieuses et psychologiques.
	Malnutrition.
	Blessures physiques.
	Décès.
	Manque d'hygiène.
Socioéconomique	Menace le développement des villes et des villages.
	Destruction des infrastructures.
	Baisse d'emploi à long terme.
	Migration.
	Pertes financières.
Environnement	Destruction des cultures.
	Pertes animales.
	Contaminations des eaux.

I-2-2. Les crues :

Une **CRUE**, phénomène hydrologique de base, est l'augmentation plus ou moins brutale du débit et par conséquent de la hauteur d'un cours d'eau. (<https://hydrologie.org/glu/FRDIC/DICCRUE.HTM>)

En général, on distingue deux types de crues : les crues fluviales et les crues torrentielles même si le passage de l'une à l'autre se fait de façon continue.

- **Les crues fluviales** : souvent saisonnières, affectent les cours d'eau importants aux vastes bassins versants; en général la montée des eaux y est lente.
- **Les crues torrentielles ou rapides** : subites, brutales, soudaines ou encore éclair affectent n'importe quelle partie du réseau hydrographique, elles sont souvent dues à des pluies de caractère convectif très violentes et localisées, elles sont caractérisées par une évolution très rapide, la montée des eaux étant très brutale. Le mot "cruie pluviale" est parfois employé pour des crues torrentielles dues à une pluie très intense et localisée. (<https://hydrologie.org/glu/FRDIC/DICCRUE.HTM>)

I-2-2-1. Les éléments descriptifs d'une crue :

Une **crue** est décrite par quatre éléments (**Figure I-1**), qui sont :

- 1) **Temps de concentration**: durée nécessaire à la goutte d'eau tombée au point le plus éloigné du bassin pour atteindre l'exutoire.
- 2) **Pointe de crue** : puissance de la crue et durée de la période critique.
- 3) **Courbe de tarissement**: retour de la rivière au niveau antérieur à la crue.
- 4) **Fréquence de retour** : une crue centennale a, chaque année, une chance sur cent (1/100) de se produire.

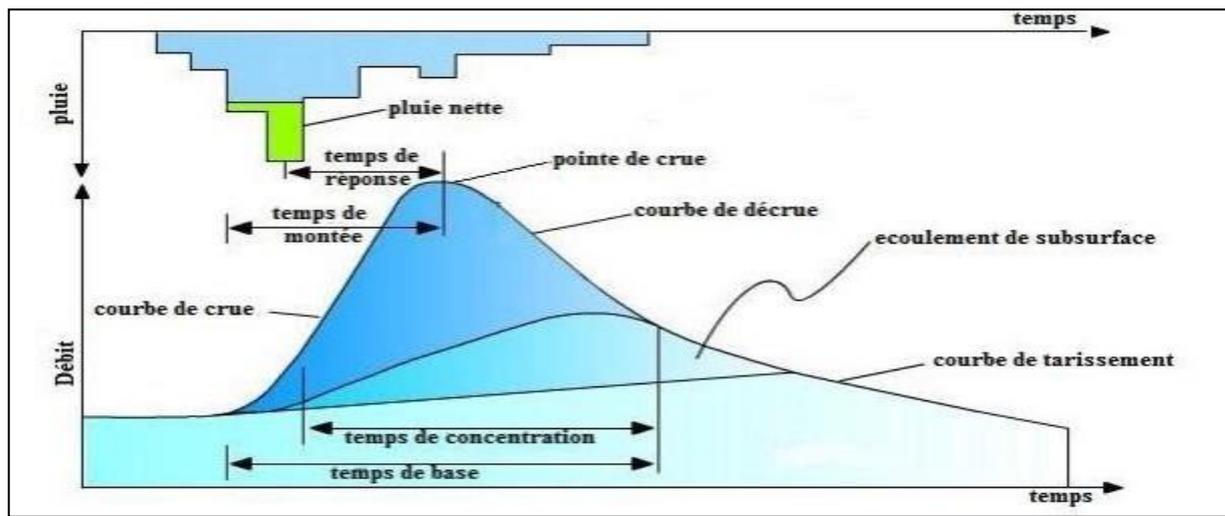


Figure I-7 : Les éléments descriptifs d'une crue

(<http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0304/optsee/bei/4/html/groupe/projgr.htm>)

I-2-3. Les cours d'eaux :

Le **cours d'eau** est le nom générique des eaux courantes qui circulent à travers un canal fixe.

Les **cours d'eau** sont nommés en fonction de caractéristiques de débit ou flux, de dimensions, comme les fleuves, les rivières, les ravines, les ruisseaux, les torrents, Si la majorité des cours d'eau sont visibles en permanence à la surface, certains sont souterrains et d'autres encore sont temporaires.

En hydrologie, **un cours d'eau** est un collecteur d'eau alimenté par les sources, les nappes phréatiques et les eaux de ruissellement qui trouvent leur origine dans les précipitations. De la source à l'embouchure, les conditions de vie se transforment dans les cours d'eau en permanence et, parallèlement à ces modifications du milieu, des flores et des faunes variées s'y succèdent. Les cours d'eau transportent des eaux continentales sur leur lit et entre des rives. (<https://www.aquaportail.com/definition-3804-cours-d-eau.html>)

I-2-3-1. Les différentes parties d'un cours d'eau :

Diverses parties peuvent caractériser un cours d'eau :

- **la source** : qui représente le point d'origine du cours d'eau
- **L'amont** : (la partie la plus élevée du cours d'eau topographiquement) en opposition à l'**aval** (la partie la moins élevée)

- **le lit mineur** : c'est-à-dire l'espace qui est occupé de manière permanente ou temporaire par le cours d'eau
- **le lit majeur** : qui est occupé temporairement en période de crue lors des inondations
- **la rive** : qui borde le cours d'eau
- **les berges** : qui délimitent le lit mineur maintenues par la végétation (les saules, aulnes...)
- **les annexes hydrauliques** : qui peuvent être définies comme une forme topographique quelconque, remplie plus ou moins d'eau et fréquemment coupée du lit majeur du fleuve durant la période d'étiage
- **la ripisylve** : qui correspond à la végétation de bords de cours d'eau ; elle est composée de plusieurs strates : herbacée, arbustive, arborée
- **l'embouchure** : ou estuaire qui est le lieu où le cours d'eau (fleuve) termine sa course (généralement dans un océan, dans la mer ou dans un lac)

D'autres éléments secondaires permettent de caractériser un cours d'eau comme les **méandres** par exemple qui sont des sinuosités très prononcées du cours d'un fleuve ou d'une rivière.

L'ensemble des cours d'eau naturels et artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement forme le réseau hydrographique. (<http://www.eau-poitou-charentes.org/Quelques-generalites-sur-les-cours.html>)

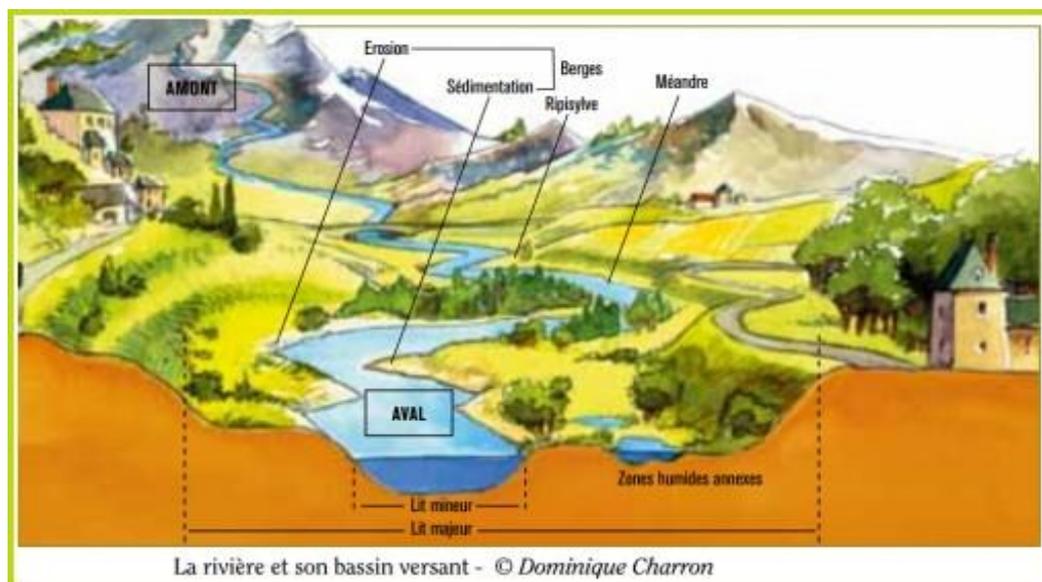


Figure I-8 : Schéma issu de la plaquette

("Morphologie des cours d'eau" de France Nature Environnement (janvier 2010))

I-3. Les inondations dans le monde :

Le tableau suivant présente les dégâts des pays touchés par les inondations :

Tableau I.2 : les dégâts des pays touché par les inondations (CRED)

Pays	L'année d'inondation	Dégâts des inondations
Chine	2017	128 morts 42 personnes disparues Les dégâts sont estimés a plus de 5.13 milliards d'euros
Inde (Népal et Bengladesh)	2017	175 morts 36 personnes disparues 21000 personnes ont été déplacées 48000 foies ont été totalement submergé par les inondations
Philippine	2015	54 morts 16000 personnes ont été déplacées 200000 maisons ont été endommagées
Japon	2017	15 morts 22 personnes disparues
L'États-Unis (Texas)	2017	40 morts Dégâts estimés plus de 30 milliards de dollars
Indonésie	2016	47 morts 22 personnes disparues

I-4. Les inondations en Algérie :

Tableau I-3 : les inondations catastrophiques prévenus L'Algérie (1970-2000) dans le tableau suivant :
(LAHLAH 2004)

Date	Inondation	Pluie journalier (mm)	Dégâts
12 octobre 1971	Fortes pluies orageuses localisés aAzzazga	182.6	40 morts et certaines d'habitation détruites
28 au 31mars 1974	Pluies exceptionnelles dans les wilayas d'Alger et TiziOuzou	381	52mort 4570maisons détruites 130 villages isolés 13 ponts détruits et dizaines kilomètres de routes emportés Dégâts évalués à 27 millions DA
01 septembre 1980	Pluies orageuses violentes à la ville d'El Eulma provoque des crues catastrophiques de l'oued Djehadi	--	44 morts 50 blesses 365familles sinistrées
05 juillet 1987	Pluies orageuses très violentes à Batna	57	02 morts Des dizaines de familles sinistrées Degat évalués à 175millions de centimes
06 février 1996	Forte pluie dans la daïra d'El khemis à AIN Defla	81	158 familles sinistrées Importants dégâts matériels
14 janvier 1999	Fortes chutes de pluies à Adrar	74	12 morts et plusieurs disparus 174 habitations en toub détruites dans les localités de : Reggane, Tsabit, Timmimoun
14 octobre 2000	Fortes pluies dans la wilaya de Ain Temouchent	56mm/04h	04 morts et plusieurs disparus Plusieurs habitations démolies et immenses dégâts matériels

I-5. Conclusion :

Dans ce premier chapitre, on a vu qu'une crue est une élévation de niveau inhabituel observée dans un cours d'eau, son intensité varie spatialement et temporairement.

Les inondations engendrent plusieurs effets dévastateurs sur les structures d'urbanismes et la nature.

Il est donc difficile de connaître le moment où elle se manifestera.

Ce constat rend incontournable la nécessité de prévision et la protection contre ce genre de phénomène.

Donc la prévision des inondations porte principalement sur l'observation continue des précipitations pour un meilleur prise de décision afin de réduire le degré d'exposition au risque de son impact.

Chapitre II :

Présentation de la zone d'étude

II-1. Introduction :

La présentation du lieu de l'étude est importante, parce qu'elle nous renseigne sur le terrain du point de vue topographique, géologique, hydrogéologique, climatique, la démographie, développement urbain pour mieux choisir le type d'aménagement hydraulique.

II-2. Situation géographique :

Akbou est une commune algérienne de la wilaya de Bejaia, en Petite Kabylie, elle se situe dans la vallée de la Soummam sur les flancs de la chaîne montagneuse du Djebel Djurdjura à une altitude moyenne de 280 m avec une superficie de 52,18 km².

Akbou est classée comme second pôle économique et urbain du chef-lieu de la wilaya de Bejaia. Elle est distante de la ville de Bejaia de 70 km et environ de 200 km de la capitale Alger.

À propos de l'oued l'axe d'oued Tissiar se situe à une distance de 5.0km du chef-lieu d'Akbou, et traverse la localité LAAZIB centre et ferme.

La commune est traversée par les routes suivantes :

- RN 26 : Bejaia-Tazmalt
- RN 26A : Akbou-Chellata

Elle est limitée :

- Au nord : Par la commune d'Ouzellaguen.
- Au sud : Par la commune d'Ait Rzine et Tazmalt.
- A l'Est : Par la commune d'Amalou et Bouhamza.
- A l'Ouest : Par la commune d'Ighrem et Chellata.



Figure II-1: Les communes limitrophes d'Akbou

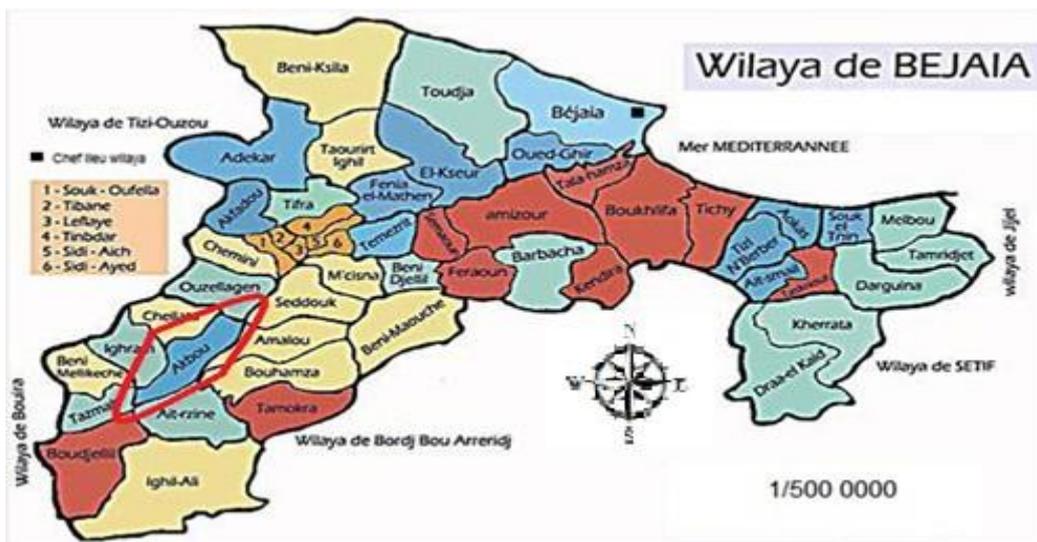


Figure II-2 : Situation administrative de la commune

II-3. Situation démographique :

Akbou est la deuxième commune la plus peuplée de la wilaya de Béjaia après Béjaia, et également la deuxième agglomération avec 43 000 habitants, selon le recensement général de la population et de l'habitat de 2008, la population de la commune d'Akbou est évaluée à 53 282 habitants contre 19 992 en 1977 avec un taux de croissance annuel de 1.67%.

Tableau II-1 : Présentation de l'évolution démographique (DRE d'Akbou, 2004)

Évolution démographique			
1977	1987	1998	2008
19 992	34 183	44 576	53 282

II-4. Aperçu géologique :

La géologie de la commune d'Akbou est caractérisée par sa diversité stratigraphique à savoir :

1. le quaternaire :

Les cônes de déjections des affluents et les alluvions de l'Oued Soummam formant une série de terrasses constituées de galets, graviers, sables et argiles.

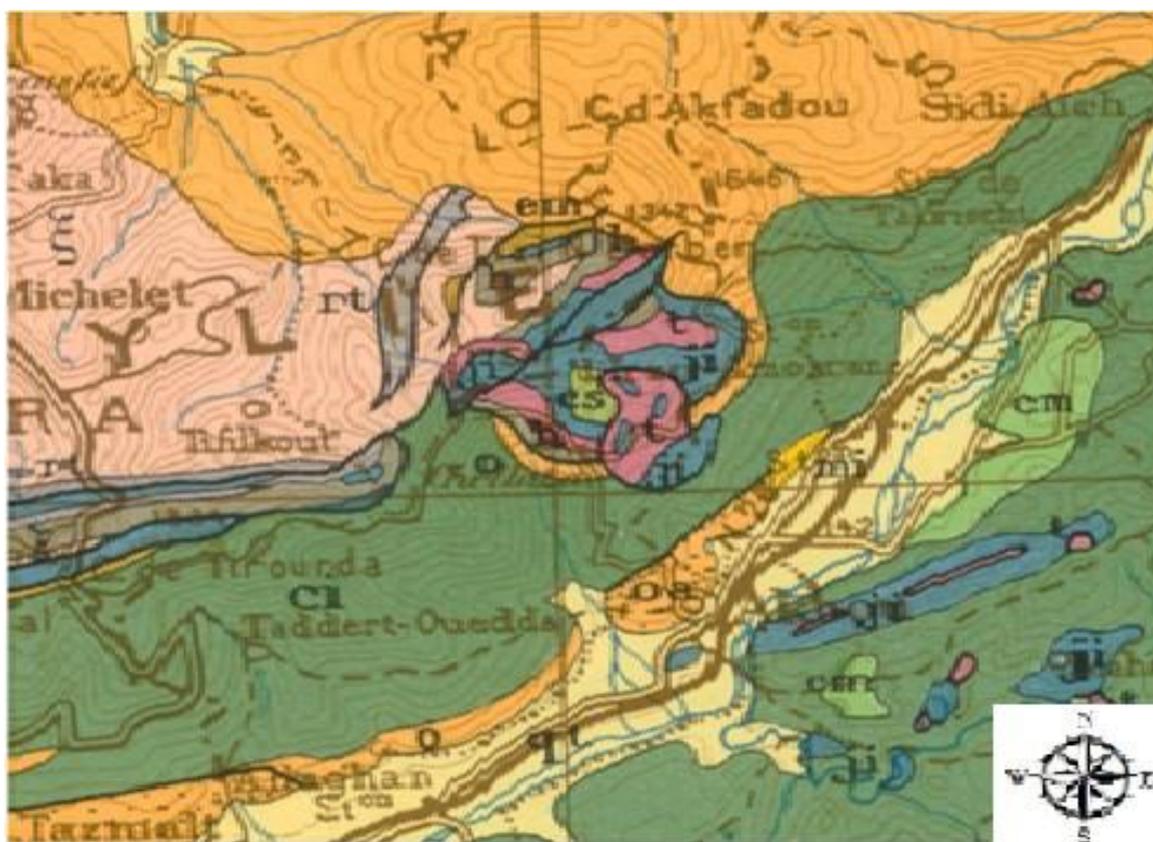
2. le miocène post nappe :

Une succession de bancs marneux, conglomératiques et gréseux dont l'épaisseur a été estimée à 1000 m environ. Cette série est transgressive, en contact anormal sur le crétacé. Elle affleure en rive gauche de l'Oued Soummam dans la région d'Akbou et d'Azib.

3. les flychs kabyles :

De constitution argileuse et gréseuse qui leur confère une très facile friabilité et donc une mauvaise stabilité ;

- **les flyschs internes du paléocène** : formés de marnes rouges à micro brèches calcaires, grés glauconie vert sombre, grés quartzite violacé, conglomérats gréseux et de calcaires. Cette série affleure aux environs de Tifrit.
 - **les flyschs externes du crétacé** : allochtones chevauchant l'unité tellienne, il comprend une série renversée allant du crétacé inférieur (l'Albo-Aptien) jusqu'au Crétacé supérieur(Cénomaniens). On les rencontre principalement au Nord d'Akbou.
4. **le Jurassique** :
 Constitué de dolomies noires, calcaires dolomitiques, calcaires à débris et calcaires gris-bleu contenant de bancs de Silex à la base. Le passage du jurassique au Crétacé est formé de calcaire gris-brin à lits plus marneux. Il affleure uniquement au niveau du piton d'Akbou.
5. **L'Unité tellienne du trias** :
 Représentée par faciès gypseux dolomitique rencontrée le long des contacts de nappes (Nord d'Akbou), leurs faibles résistances et la possibilité de dissolution du gypse entraînera la formation de cavernes souterraines vouées à l'effondrement.



La légende :

 Quaternaire continental : alluvion, regs, terra	 Eocène moyen marin
 Mafiocène inférieur marin (Burdigalien)	 Crétacé moyen (marin ou la gunaire)
 Aquitarien continental (pouvant inclure localement la base du Burdigalien)	 Crétacé inférieur
 Oligocène marin incluant localement l'Eocène supérieur	 Jurassique inférieur marin

Figure II-3 : Extrait de la carte géologique de la région d'Akbou au 1/500.000^{ème}
 (Source : ANRH Blida)

II-5. Synthèse hydrogéologique :

Deux formations aquifères sont reconnues dans la commune d'AKBOU :

1. Les poudings miocènes d'extensions restreintes, un forage seulement réalisé en 1978 est alimenté par cette nappe.
2. Les terrasses alluviales des oueds, de bonne perméabilité plus développées dans la vallée de la Soummam (surtout en aval d'Akbou).

Notons qu'Oued Tissiar draine un bassin versant d'une superficie d'environ 7.80 km². Comme son bassin, ne dispose d'aucune mesure pluviométrique, nous utilisons les données disponibles de la station de Tifra (15-10-07), qui est la station la plus représentative du bassin. La série de données observées dans cette station est de 88 années (1922 à 2009).

Mais cette série présente des années lacunaires, nous adoptons pour une série de données de 42 années d'observation (1968 à 2009) car cette période contient seulement quelques lacunes qui seront comblées par les moyennes tout en évitant tout problème de comblements des grands intervalles de lacunes.

La série que nous venons d'adopter pour notre travail présente une pluie moyenne annuelle de 806.30mm, une valeur près de celle lue sur la carte pluviométrique de l'ANRH qui est de 700 à 900mm.

En l'absence de stations hydrométriques et pour les besoins de l'étude, les apports liquides et les apports solides sont estimés à partir de relations empiriques.

Tableau II-2 : Présentation des données disponibles dans les différentes stations : (DRE de la wilaya de Bejaia, 2009)

Nom de la station	Code	X °	Y °	Z(m)	Données disponibles	Pluie moyenne annuelle (mm)
Sidi Aich	15 10 01	4.68	36.61	196	1954-1992 Avec 3 années de lacunes	595
Akbou	15 10 02	4.53	36.46	240	Station en arrêt	481
Seddouk	15 10 06	4.67	36.54	370	1968-2009	520
Tifra	15 10 07	4.70	36.67	450	1922-2009	891
Ighil Ali	15 05 03	4.47	36.34	650	1968-2009	467

II-6. Situation climatique :

1. **La pluviométrie** : La pluie moyenne interannuelle dans le bassin en tenant en compte de la station de Tifra, est estimée à près de 806.30 mm, donnant un léger déficit pluviométrique par rapport à la carte des précipitations, éditée en 1993 par l'ANRH.

Tableau II-3 : Répartition mensuelle de la pluie moyenne annuelle : (DRE Tifra, 2009/2008)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
P(mm)	37,0	64,5	84,1	160,7	118,6	99,1	100,3	78,1	41,5	12,9	2,5	6,9	806,3

2. **La température** : la station de Bejaia (36.7 N, 5.1 E, altitude : 2 m), station qui présente les mêmes caractéristiques climatiques que notre bassin projeté, sur plus de trente années observées. la température moyenne annuelle est de 17.3°C. En terme saisonnier, les températures varient entre 11°C au mois de janvier, généralement allégé, par la proximité des effets régulateurs marins et 25°C aux mois de juillet-août.

Tableau II-4 : Répartition mensuelle de la température :(DRE Bejaia, 1990-2009)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
Temp Min (°C)	7,7	7,6	8,5	10,1	13,1	16,6	19,3	20,2	18,5	15	11,2	8,4	12,9
Temp Max (°C)	16,4	16,8	17,7	19,3	22	25,3	28,7	29,3	27,8	24,3	20,3	16,9	22,1
TempMoy (°C)	22,9	19,6	15,5	12,2	11,6	12,0	12,9	14,4	17,3	20,7	24,0	24,6	17,30

3. **L'évapotranspiration potentielle** : l'évapotranspiration potentielle moyenne interannuelle à près de 1180 (mm) donc la région est soumise au climat humide. Il a été évalué sur une période longue (plus de 30 années). La répartition mensuelle donne plus de 50% de perte d'eau par évaporation sur les quatre mois plus secs de l'année (mai-août).

Tableau II-5 : Répartition Mensuelle de l'évapotranspiration potentielle en(mm): (DRE Bejaia, 2009/2010)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aut	Année
BOUIRA	122	76	48	30	31	44	63	90	132	151	178	166	1131
Tizi-Ouzou	124	78	52	37	37	50	77	100	136	156	175	160	1184
Bejaia	128	84	56	43	45	57	87	104	145	159	181	163	1252

4. **Les vents** : Les directions des vents dominants sont :
- Ouest et Sud-ouest,
 - Est et Nord-est

Avec une vitesse comprise entre 05 et 10 m/s et en hiver avec une vitesse supérieure à 16 m/s.

Tableau II-6 : Répartition mensuelle de vitesse du vent :(ONM, Bejaia, 2007)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
V (m/s)	2.4	2.7	3.08	3.21	2.9	3.1	2.8	3.0	2.6	2.7	2.6	2.67	2.83

5. **L'humidité relative** : Représente le rapport entre la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air et la pression de saturation à la même température, dans la région de Bejaia l'humidité dans l'atmosphère varie peu avec des valeurs moyennes fluctuant autour de 75 %.

Tableau II-7 : Répartition mensuelle de l'humidité relative (ONM Bejaia, 2009/2010)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Ann
Min (%)	15.70	12.60	9.40	7.70	7.40	7.30	8.60	9.50	11.60	14.60	16.70	17.40	11.50
Moy (%)	49.20	47.90	47.10	48.60	50.50	48.10	47.50	47.50	49.20	49.20	50.20	49.20	48.70
Max (%)	73.00	73.00	74.00	76.00	79.00	75.00	73.00	73.00	74.00	73.00	74.00	73.00	74.20

: Situation géomorphologique :

La commune d'Akbou comprend trois types de relief :

1. **La plaine** :

La localisation : au Sud de la commune, perturbée dans sa partie centrale par le piton d'Akbou.

La pente : inférieure à 5%.

Le taux d'occupation de cette plaine : représente 48% par rapport à la superficie totale de la commune d'Akbou.

2. **Les piémonts** :

La localisation : c'est la zone intermédiaire entre la plaine et la zone montagneuse. Elle est située le long de la partie centrale de la commune.

La pente : On distingue deux types de pente dans cette zone :

- Bas piémonts : la pente varie entre 5 et 25 %
- Hauts piémonts : la pente varie entre 25 et 45%

Le taux d'occupation de cette zone : représente 44% par rapport à la superficie totale de la commune d'Akbou, avec une altitude moyenne comprise entre 200 et 300 m.

3. **La montagne** :

La pente : dépasse 45%.

Le taux d'occupation : la partie centrale de la commune d'Akbou avec 37% par rapport à la superficie totale de la commune

: Situation sismique :

Il est impératif de tenir compte de la sismicité régionale avant d'entreprendre toute action de construction dans la région d'étude, pour cela il est indispensable de respecter les normes parasismiques pour la réalisation du projet.

En fonction de l'intensité sismique, l'Algérie est décomposée en quatre zones sismiques :

1. **Zoné 0 :** Sismicité négligeable.
2. **Zone I :** Faible sismicité.
3. **Zone II :** moyen sismicité.
 - a : risque très élevé.
 - b : risque élevé.
4. **Zone III :** Forte sismicité.

Notre zone d'étude est située dans la **zone II-a**, donc pour un ouvrage courant le coefficient d'accélération est de **0.15**.

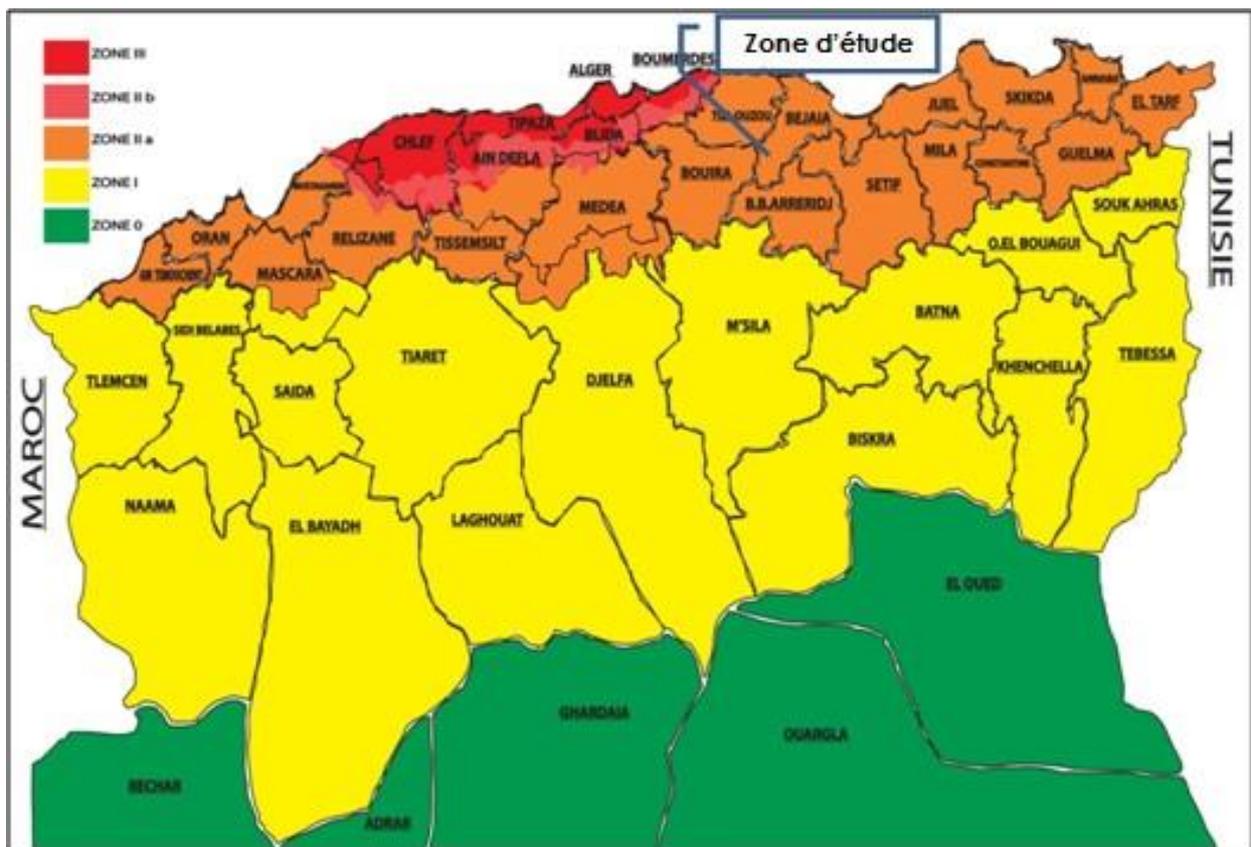


Figure II-4 : Carte de zonage sismique de territoire nationale (R.P.A 99 en 2003)

Tableau II-8 : Coefficients d'accélération du séisme.

Groupe	Zone I	Zone II- a	Zone II- b	Zone III	Classification des ouvrages selon leur importance
1A	0.15	0.25	0.30	0.40	Ouvrages d'importance vitale
1B	0.12	0.20	0.25	0.30	Ouvrages de grande importance
2	0.10	0.15	0.20	0.25	Ouvrages courants
3	0.07	0.10	0.14	0.18	Ouvrages de faible importance

II-9. Conclusion :

Toutes les informations et données nécessaires à propos de notre zone d'étude que ce soit géologique dont elle se situe dans la **zone II-a**, donc pour un ouvrage courant le coefficient d'accélération est de **0.15.**, morphologique, climatologique et hydrogéologique sont bien collecter dans ce chapitre pour nous aider à entamer l'étude de notre projet.

A decorative orange frame with rounded corners and a thin black border, containing the chapter title.

Chapitre III :

L'étude hydrologique

III-1. Introduction :

L'hydrologie est la science de l'eau à tous ses cycles ainsi que les phénomènes d'érosion et les écoulements dans les cours d'eau.

L'étude hydrologique doit être établie pour bien protéger notre zone d'étude de la ville d'Akbou contre les inondations.

Donc dans ce chapitre nous allons déterminer tous les caractéristiques du bassin versant de l'oued et sa délimitation en utilisant le logiciel ArcGIS, et les principaux paramètres hydrologiques pour bien estimer les périodes de retours et déterminer les débits de crue nécessaire pour la bonne conception de l'aménagement de l'oued.

III-2. Les caractéristiques du bassin versant :

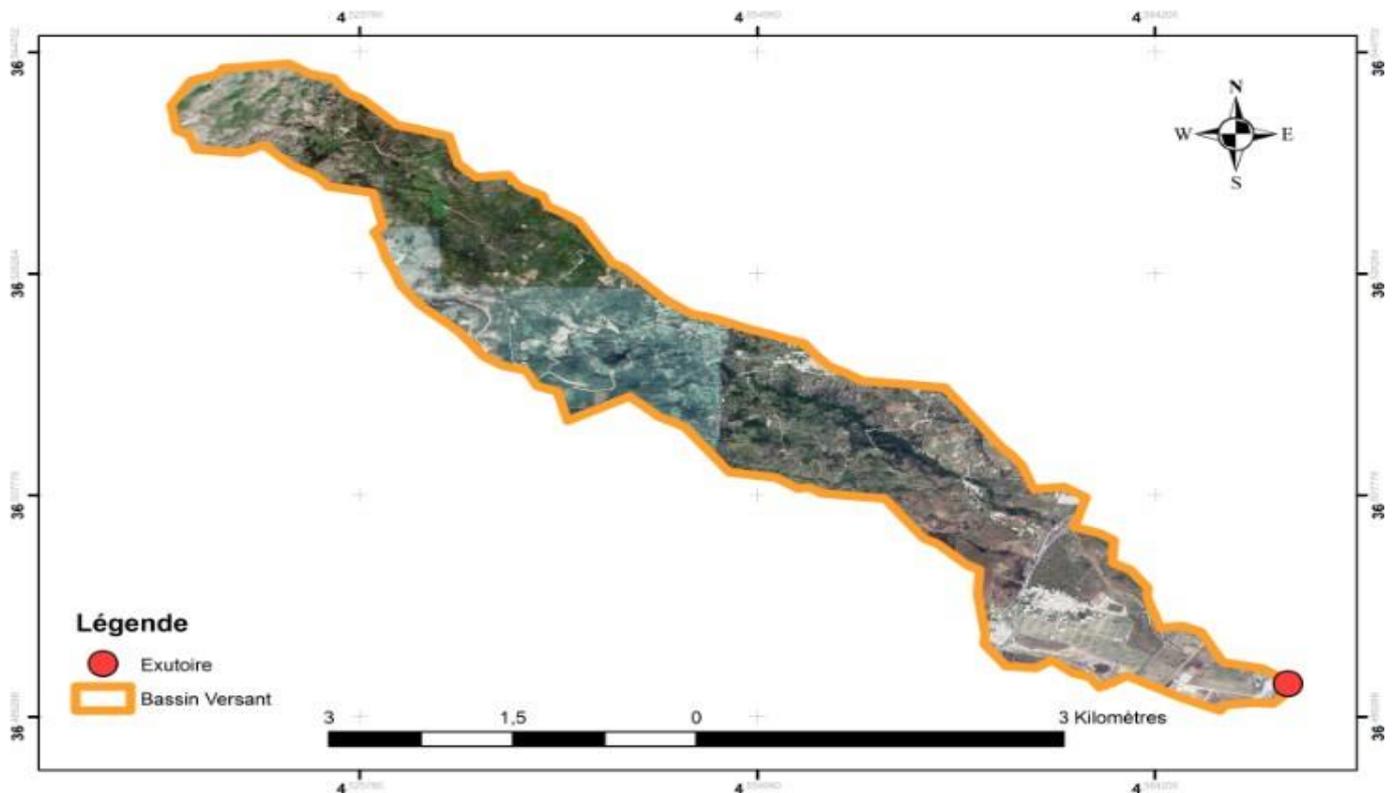


Figure III-1 : délimitation du bassin versant d'oued Tissiar.

III-2-1. Définition du bassin versant :

Le bassin versant est un espace géographique dont les apports hydriques naturels sont alimentés exclusivement par les précipitations, et dont les excès en eau ou en matières solides transportées par l'eau fortement à un point unique de l'espace une embouchure ou un exutoire. Il est délimité sur une carte topographique, par le contour démarant de l'exutoire et perpendiculaire aux courbes de niveau. Ce contour est appelé ligne de crête ou ligne de partage des eaux.

III-2-2. Caractéristique géographique du bassin versant :

Les coordonnées UTM de l'exutoire de notre bassin versant d'oued Tissiar sont :

- Zone 31
- Longitude X = 642,7668 Km
- Latitude Y = 4039,70409 km.
- L'altitude Z= 131 m.

III-2-3. Caractéristique morphologique du bassin versant :

1. **La surface (S) :** est le paramètre le plus important des caractéristiques, il permet de contrôler l'intensité de plusieurs phénomènes hydrologiques (apports, volume de précipitation ou d'infiltration), elle est déterminée sur le fond de carte topographique, par un logiciel de cartographie ou suivant la ligne de crête par un planimètre.
2. **Le périmètre (P) :** est la limite extérieure du bassin défini par la ligne des crêtes.
3. **La longueur du talweg principal (L') :** est le talweg le plus long.
4. **La forme :** La forme du bassin versant influence sur l'écoulement global et le temps de repense du bassin versant, le bassin versant peut être soit allongé ou ramassé.
 - 1) **L'indice de compacité (Kc) :** caractérise la forme du bassin versant (allongé ou ramassé).

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}} \dots\dots\dots \text{(III-1)}$$

- P: périmètre du bassin versant.
- S: surface du bassin versant.

2) **Coefficient d'allongement (Ca) :** est obtenu par la relation :

$$Ca = L'^2 / S \dots\dots\dots \text{(III-2)}$$

- L' : la longueur du talweg principal.
- S : la superficie du bassin versant.

3) **Le rectangle équivalent :** est une transformation purement géométrique de la forme du bassin versant réel en rectangle de dimension L et l respectivement la longueur et la largeur, de même superficie et même périmètre et donc même Kc.

- La longueur est donnée par la formule :

$$L = K_c \frac{\sqrt{S}}{1.128} \left[\sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_c} \right)^2} + 1 \right] \dots\dots\dots \text{(III-3)}$$

- La largeur est donnée par la formule :

$$l = \frac{P}{2} - L \dots\dots\dots \text{(III-4)}$$

L'application numérique :

Tableau III-1 : Caractéristique morphologique du bassin versant :

Caractéristiques morphologiques	S (km ²)	P (km)	L' (km)	K _c	Ca	Rectangle équivalent		Type de bassin
						L (km)	l (km)	
Bassin-versant Tissiar	7.80	19.50	8.70	1.95	9.70	8.87	0.88	Allongé

5. **Le relief** : L'influence du relief sur l'écoulement se conçoit aisément, car de nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude (précipitations, températures... etc.) 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 suivantes :

- **Les courbes hypsométriques.**
- **Les altitudes caractéristiques.**
- **Les indices de pente.**

1) **Les courbes hypsométriques** : La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du sous bassin en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface (ou le pourcentage de surface) du sous bassin qui se trouve au-dessus (ou au-dessous) de l'altitude représentée en ordonnée.

Elle exprime ainsi la superficie du sous bassin ou le pourcentage de superficie, au-delà d'une certaine altitude.

Les courbes hypsométriques demeurent un outil pratique pour comparer plusieurs sous bassins entre eux ou les diverses sections d'un seul sous bassin.

Elles peuvent en outre servir à la détermination de la pluie moyenne sur un bassin versant et donnent des indications sur le comportement hydrologique et hydraulique du bassin et de son système de drainage.

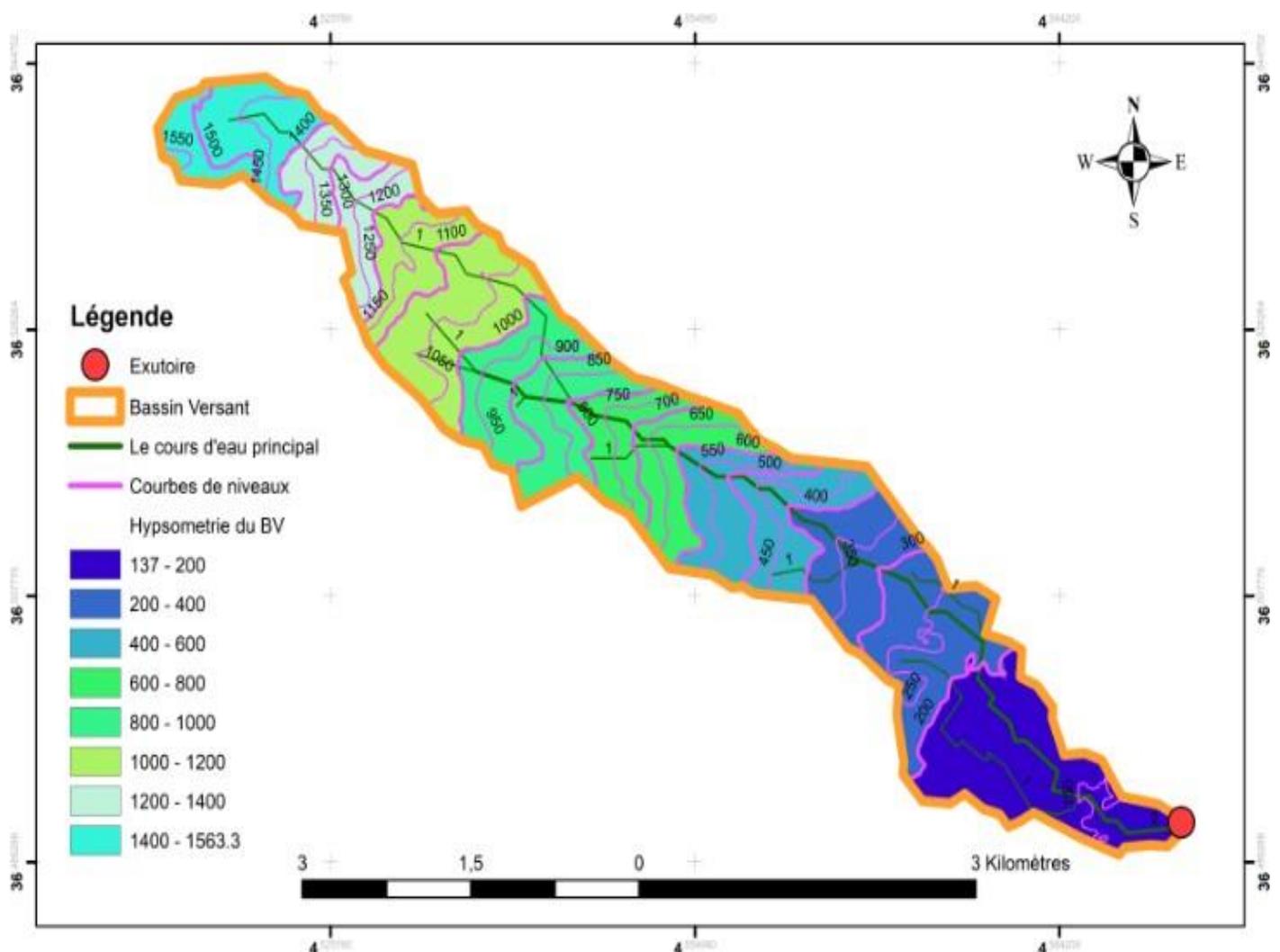


Figure III-2 : Carte hypsométrique du bassin versant d'oued Tissiar

Tableau III-2 : paramètres hypsométrique du bassin versant d'oued Tissiar

BASSIN VERSANT TISSIAR					
Altitude (H _i)	Altitude moyen	Surfaces partielles (S)	Surfaces partielles (S)	Surfaces cumulées	Surfaces cumulées
(m)	(m)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
1464-1400	1432	0.37	4.74	0.37	4.74
1400-1300	1350	0.33	4.23	0.70	8.97
1300-1200	1250	0.38	4.87	1.08	13.85
1200-1100	1150	0.44	5.64	1.52	19.49
1100-1000	1050	0.76	9.74	2.28	29.23
1000-900	950	0.47	6.03	2.75	35.26
900-800	850	0.43	5.51	3.18	40.77
800-700	750	0.38	4.87	3.56	45.64
700-600	650	0.44	5.64	4.00	51.28
600-500	550	0.45	5.77	4.45	57.05
500-400	450	0.52	6.67	4.97	63.72
400-300	350	0.61	7.82	5.58	71.54
300-200	250	0.85	10.90	6.43	82.44
200-140	170	1.37	17.56	7.80	100.00

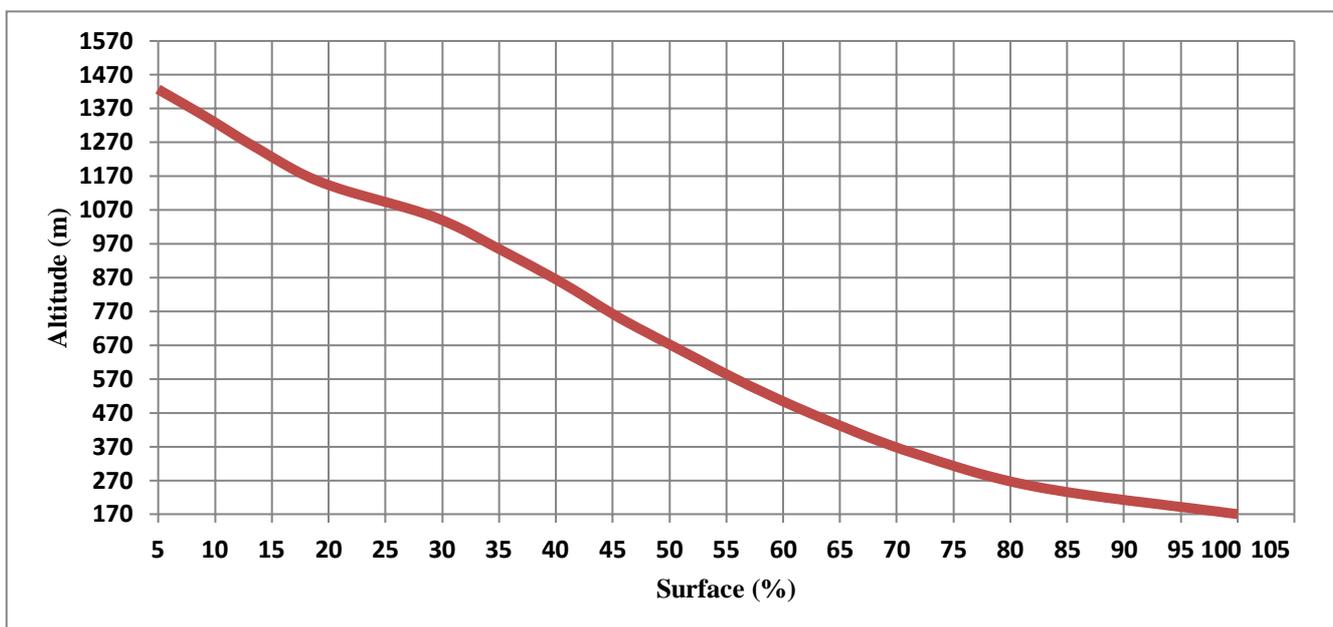


Figure III-3 : La courbe hypsométrique du bassin versant d'oued Tissiar

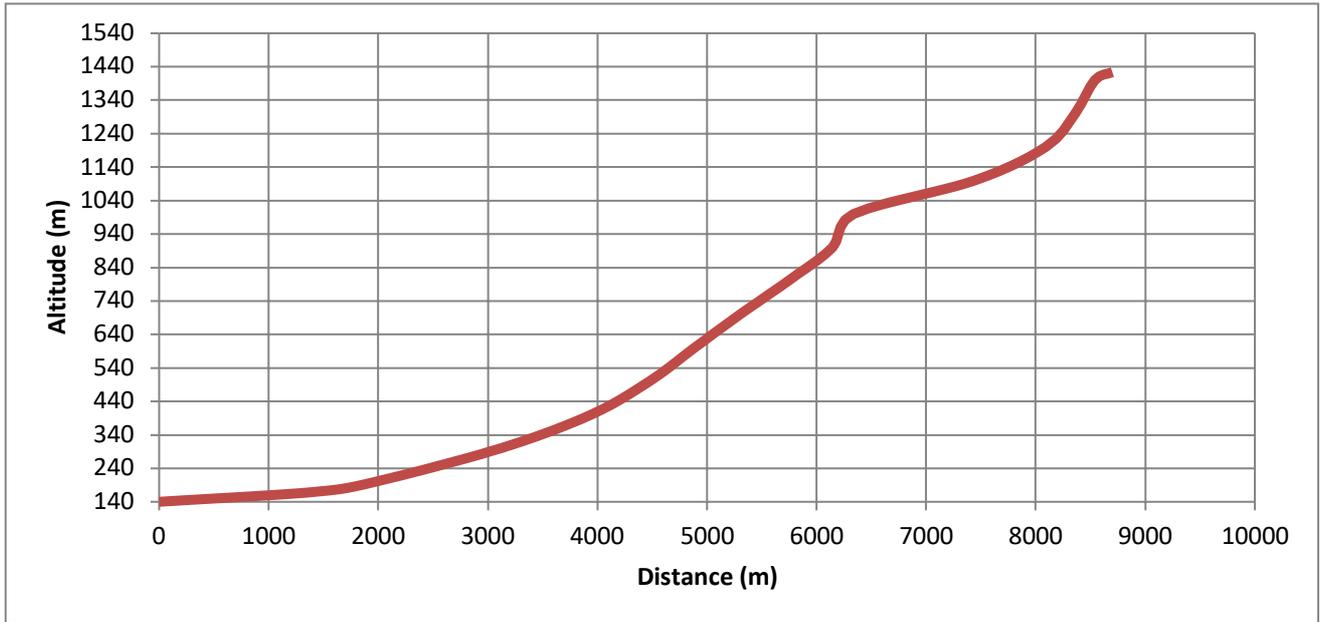


Figure III-4 : Le Profil en long du cours d'eau principal d'oued Tissiar

2) Les altitudes caractéristiques :

- L'altitude maximale et minimale << H max et H min >> :

Elles sont obtenues directement à partir de la carte topographique tel que :

- **H max** : représente le point le plus élevé du bassin versant.
- **H min** : représente le point le plus bas, généralement à l'exutoire.

- L'altitude moyenne << H moy >> : calculer par la formule suivante :

$$H_{moy} = \frac{\sum S_i H_i}{S} \dots\dots\dots (III-5)$$

- **Si** : surface partielle entre deux courbes de niveaux (Km2).
- **Hi** : altitude moyenne entre deux courbes de niveaux successives (m).
- **S** : Superficie du bassin versant (Km2).

- L'altitude médiane : L'altitude médiane est H_{med} ou H_{50%} est lue sur la courbe hypsométrique qui correspond à 50% de la surface cumulée.

L'application numérique : Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III-3 : les résultats de calcul des altitudes

Les altitudes	H _{50%} (m)	H moy (m)	H max (m NGA)	H min (m NGA)
Bassin Versant Tissiar	670.00	676.63	1464	140

3) Les indices de pente :

1. La pente moyenne du bassin versant :

$$I_{moy} = \frac{\Delta H(0.5L_1 + L_2 + L_3 + \dots + 0.5L_n)}{\bar{S}} \dots\dots\dots (III-6)$$

ΔH : Dénivelée entre deux courbes de niveaux successives.

- L_1, L_2, \dots, L_n : les longueurs des courbes de niveaux (Km).
- S : superficie du bassin versant (Km²).

2. **L'indice de pente moyenne** : est le rapport entre la dénivelée et la longueur de rectangle équivalent :

$$I_{pm} = \frac{\Delta}{L} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} \dots\dots\dots (III-7)$$

3. **L'indice de pente globale** : est déterminé par la formule suivante :

$$I_g = \frac{D}{L} \dots\dots\dots (III-8)$$

- $D = H_{5\%} - H_{95\%}$
- L : la longueur du rectangle équivalent.
- $H_{5\%}$: qui correspond à 5% de la surface cumulée sur la courbe hypsométrique.
- $H_{95\%}$: qui correspond à 95% de la surface cumulée sur la courbe hypsométrique.

L'application numérique :

Tableau III-4 : résultats de calcul de l'indice de pente globale

paramètres	H _{5%} = (m)	H _{95%} = (m)	D (m)	I _g m/Km	I moy (%)	I _{pm} (%)
B-V Tissiar	1425	190	1235	139.23	22.85	14.39

La dénivelée spécifique : sert à comparer les indices de pentes du bassin de superficie différentes, d'après la deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M appliquée à tout le bassin quel que soit sa surface. Elle est donnée par la formule :

$$D_s = I_g \sqrt{S} \dots\dots\dots (III-9)$$

- I_g : l'indice de pente globale.
- S : surface du bassin.

L'application numérique :

Tableau III-5 : résultats de calcul de Dénivelée spécifique

Paramètres	S (km ²)	I _g m/Km	D _s (m)
BV T	7.80	139.23	388.85

D'après le calcul de D_s et I_g on estime la classification de notre relief :

Tableau III-6 : Classification O.R.S.T.O.M (type de relief)

Le relief	Ds (m)	Ig (m/m)
Très faible	<10	$Ig \leq 0,002$
Faible	25	$0,002 < Ig \leq 0,005$
Assez faible	50	$0,005 < Ig \leq 0,01$
Modéré	100	$0,01 < Ig \leq 0,02$
Assez modéré	250	$0,02 < Ig \leq 0,05$
Fort	500	$0,05 < Ig \leq 0,1$
Très fort	>500	$0.1 \leq Ig$

La classe de notre bassin est :

Tableau III-7 : La classification de notre relief

paramètres	S (km ²)	I _g m/Km	D _s (m)	Relief
BV Tissiar	7.80	139.23	388.85	Assez modéré

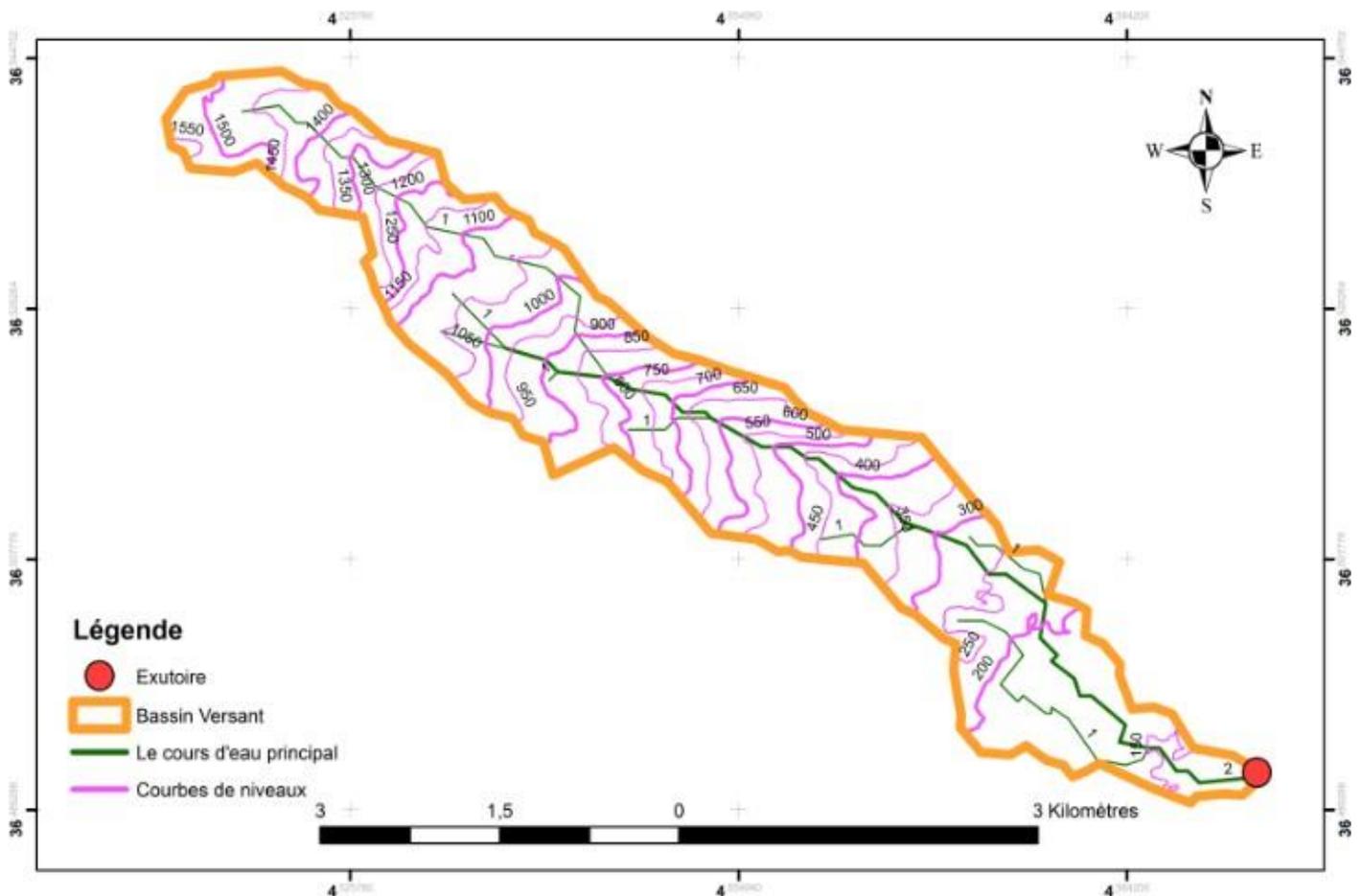


Figure III-5 : Courbe de niveau du bassin versant d'oued Tissiar

III-2-4. Les caractéristiques des écoulements dans le bassin versant :

1. **Le réseau hydrographique** : La restitution du réseau hydrographique est faite sur les cartes d'état-major (Akbou-Ouest et Sidi Aich-Ouest) pour la détermination de l'altitude moyenne.

Pour procéder au calcul de la densité de drainage, il faut classer les cours d'eau, il existe plusieurs classifications dont la plus courante est la classification de SCHUM.

Dans cette classification de SCHUM est considéré « ordre(x+1) tout tronçon de rivière formé par la réunion de 02 cours d'eau d'ordre (x) ».

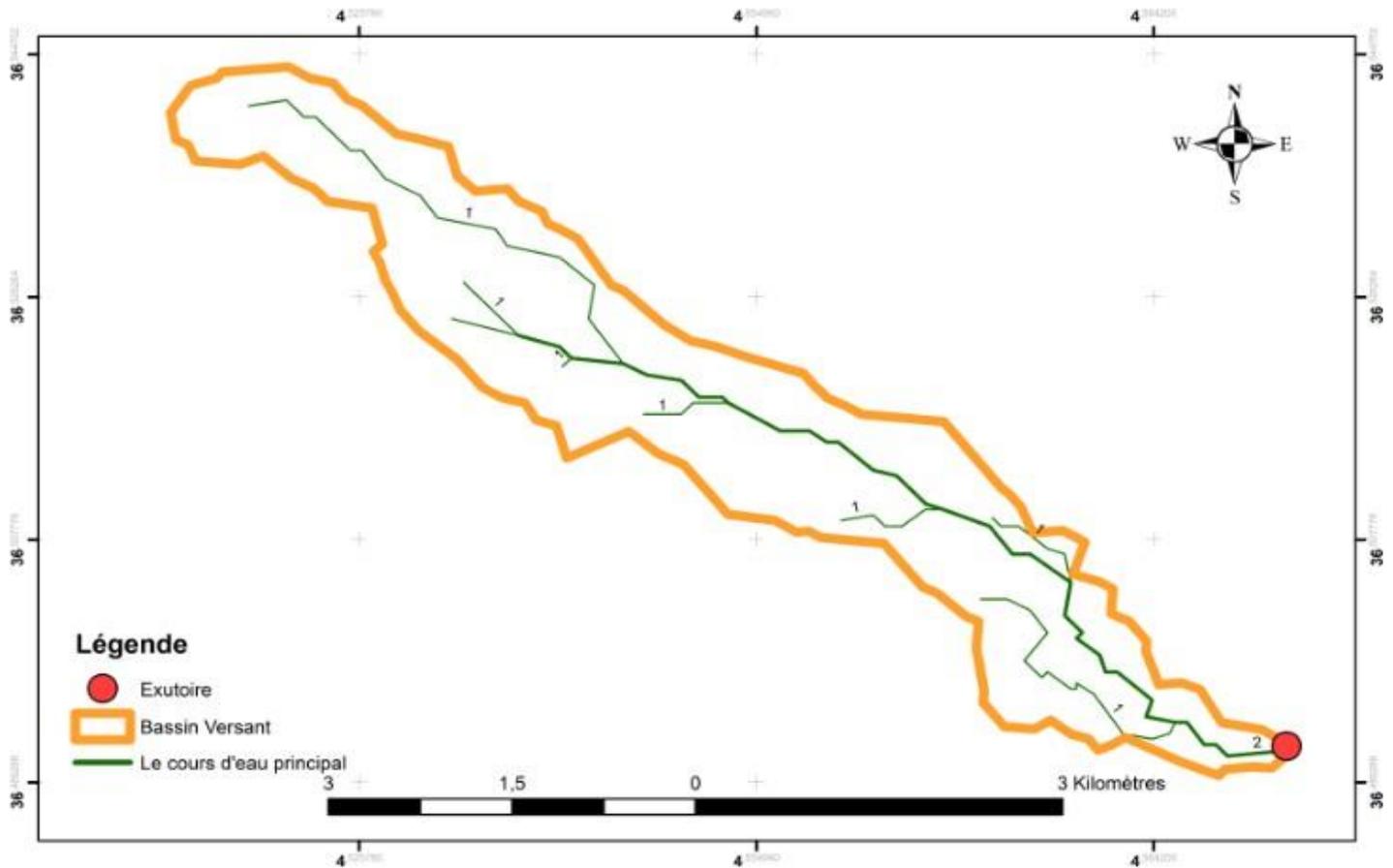


Figure III-6 : Carte hydrographique de bassin versant d'oued Tissiar (Logiciel ArcGIS)

La densité de drainage : est la longueur totale de tous les talwegs du bassin.

$$D_d = \frac{\sum L_i}{S} \dots\dots\dots (III-10)$$

- $\sum L_i$: longueur total des talwegs d'ordre i en (Km)
- S : surface du bassin versant en (Km²).

Pour procéder à ce calcul, il faut classer les cours d'eau en utilisant la méthode de Schum.

Tableau III-8 : résultats de calcul de densité de drainage :

paramètres	S (km ²)	ΣLi(km)	D _d (km/km ²)
BV Tissiar	7.80	9.90	1.27

Le coefficient de torrentialité C_t : est calculé par la formule suivante:

$$C_t = D_d \cdot F_1 \text{.....(III-11)}$$

- F₁ : le rapport entre le nombre des talwegs d'ordre 1(N 1) et la surface globale du bassin versant :

$$F_1 = \frac{N_1}{S} \text{ (III-12)}$$

Tableau III-9 : résultats de calcul de coefficient de torrentialité :

paramètres	S (km ²)	N ₁	F ₁	D _d (km/km ²)	C _t (km ⁻³)
BV Tissiar	7.80	19	2.44	1.27	3.10

Le temps de concentration : C'est le temps que met la particule d'eau la plus éloignée pour arriver à l'exutoire, il peut être calculé à partir de plusieurs formules :

1) La formule de GIANDOTTI :

$$T_C = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L_p}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \text{ (III-13)}$$

- S : surface du bassin versant en (Km).
- L_p : longueur du talweg principal en (Km).
- H_{moy} et H_{min} : respectivement la hauteur moyenne et minimale du bassin versant.

2) La formule de SOGREAH (ANRH) : est développée par SOGREAH à la demande de l'ANRH, en 1986/89 elle est recommandée pour les petits bassins versants de l'Algérie, et s'écrit comme suit :

$$T_c = 3 [(S \times L_{cp}) / (10 \times I)^{3/2}]^{0.25} \text{..... (III-14)}$$

- T_c : temps de concentration (h).
- S : superficie du bassin versant (km²).
- L_{cp} : longueur du talweg principal (km).
- I : pente du cours d'eau principal (%).

3) La formule de TURRAZA :

$$T_C = 0,108 \frac{\sqrt[3]{S \cdot L_p}}{\sqrt{I}} \text{ (III-15)}$$

- T_C : Temps de concentration (h).

- **S** : Superficie du bassin versant (Km²).
- **L_P**: Longueur du talweg principal (Km).
- **I** : Pente moyenne du cours d'eau (m/m).

Ou par la formule :

$$I = \frac{H_{MAX} - H_{MIN}}{L_P} \dots\dots\dots (III-16)$$

- **H_{MAX}** : Altitude maximale du bassin versant (m).
- **H_{MIN}** : Altitude minimale du bassin versant (m).

4) La formule de VENTURA :

$$T_c = 0.1272 \times (S/i)^{0.5} \dots\dots\dots (III-17)$$

- **T_c** : temps de concentration (h).
- **S** : superficie du bassin versant (km²).
- **i** : pente du cours d'eau principal (m/m).

L'application numérique :

Tableau III-10 : résultats de calcul du temps de concentration :

Formules	Tc(h) BV Tissiar
GIANDOTTI	1.31
ANRH	1.31
TURRAZA	1.13
VENTURA	0.91
Moyenne	1.51

D'après ces résultats on remarque que les formules (GIANDOTTI, ANRH, TURRAZA) donnent des valeurs extrêmes et VENTURA donne une valeur petite.

Nous optons pour les plus petits valeurs, et de là nous adoptons les résultats obtenus par la formule de **VENTURA**.

La vitesse moyenne de ruissellement : Cette vitesse est donnée par la formule suivante :

$$V_R = \frac{L_P}{T_C} \dots\dots\dots (III-18)$$

- **L_p** : longueur du talweg principal.
- **T_C** : temps de concentration.

L'application numérique :

Tableau III-11 : les résultats de calcul de la vitesse de ruissellement

Paramètres	L_p (km)	T_c (h)	V_r (km/h)
BV Tissiar	8.70	0.91	9.56

Voila le tableau récapitulatif des caractéristiques du bassin versant d'oued Tissiar

Tableau III-12 : Tableau récapitulatif des caractéristiques morpho-métrique du bassin versant d'oued Tissiar :

DESIGNATION		SYMBOLE	UNITES	BV TISSIAR
Superficie		S	km ²	7.80
Périmètre		P	Km	19.50
Longueur du thalweg principal		L_P	Km	8.70
Indice de compacité		K_C	-	1.95
Coefficient d'allongement		Ca	-	9.70
Rectangle équivalent	Longueur	L_r	km	8.87
	Largeur	l_r	Km	0.88
Altitudes	Maximale	H_{max}	m	1464
	Moyenne	H_{moy}	m	676.63
	Médiane	H_{med}	m	670
	Minimale	H_{min}	m	140
Pente moyenne de B.V		I_{moy}	%	22.85
Indice de pente globale		I_g	m/km	139.23
Indice de pente moyenne		I_{pm}	%	14.93
Dénivelée spécifique		D_s	m	388.85
Densité de drainage		D_d	km/km ²	1.27
Coefficient de torrentialité		C_t	km ⁻³	3.10
Longueur moyenne des versants		L_i	km	3.49
Temps de concentration		T_c	h	0.91
Vitesse de ruissellement		V_r	Km/h	9.56

III-2-5. L'étude pluviométrique du bassin versant :

Après la provenance d'un évènement pluvieux extrême les inondations découlent principalement, ce qui nous pousse à faire une étude des pluies maximales journalières afin d'aboutir aux pluies extrêmes suivant différentes périodes de retour et ainsi faire le calcul des pluies de courtes durées.

Dans notre cas, il est aisément pris en considération les stations d'Akbou et de Tifra près de Sidi Aich qui sont situées près du site étudié, pour ainsi évaluer les intensités de pluie de projet de courtes durées. La station d'Akbou semble sous-estimer le régime pluviométrique du bassin versant étant donné que le site du poste d'observation est localisé sous le vent du relief, ce qui diminue nettement les précipitations presque de moitié par effet de Foehn. Par contre, celle de Tifra est la plus située en altitude pour pouvoir mieux représenter le régime fort des pluies des Monts de Djurdjura.

La période d'observation exploitée dans ce contexte pluviométrique a dépassé la normale requise, caractérisant ainsi les précipitations annuelles du bassin, ainsi que les intensités fréquentielles génératrices des crues de projet.

La pluie moyenne interannuelle dans le bassin en tenant en compte de la station de Tifra, est estimée à près de **806.30 mm**, donnant un léger déficit pluviométrique par rapport à la carte des précipitations, éditée en 1993 par l'ANRH dont la pluviométrie de la dernière décennie n'a pas été prise en compte. Le coefficient de variation des précipitations annuelles a été estimé de l'ordre de **0.392**.

Tableau III-13 : Tableau des coordonnées de la station pluviométrique de Tifra :

Code	Source	Coordonnées			Années	Pluie moyenne annuelle (mm)
		X(Km)	Y(Km)	Z(m)		
15 10 07	A.N.R.H	4.70	36.67	450	1922-2009	806,3

Source: Direction des ressources en eau W. Bordj-Bou-Argeridj

Tableau III-14 : Répartition mensuelle de la pluie moyenne annuelle (Tifra)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
P (mm)	37,0	64,5	84,1	160,7	118,6	99,1	100,3	78,1	41,5	12,9	2,5	6,9	806,3

Notons un pic au mois de janvier estimé à 118.6 (mm) et un minimum au mois de juillet avec 2.5 (mm) et une moyenne mensuelle de 806.3 (mm).

1. L'estimation de la pluie maximale journalière :

L'étude consiste à faire un ajustement pour la série de données des précipitations maximales journalières par une loi théorique afin de déterminer une intensité de pluie de durée et de période de retour donnée.

Cette étude est faite sur **la série des pluies maximale journalière de la station de Tifra** (tableau dans l'annexe) suivant ces étapes :

- **Le calcul des paramètres statistiques de la série.**
- **L'ajustement à une loi statistique (choix de la loi adéquate).**
- **Le calcul des quantiles pour différentes périodes de retour.**

- Le calcul des pluies et intensités de courte durée.

2. Le calcul des paramètres statistiques de la série :

Tableau III-15 : Tableau des Paramètres statistiques des précipitations annuelles de l'échantillon.

Nombre d'observations	42 ans
Moyenne des Pmax j en (mm)	71.32
Ecart-type (σ_x)	27.80
Coefficient de variation (Cv)	0.39
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0.882
L'exposant climatique (b)	0,35

3. L'ajustement a une loi statistique : Comme il existe plusieurs méthodes d'ajustement des séries pluviométriques, Les lois d'ajustement choisies sont :

- la loi de GUMBEL (droite de HENRY).
- la loi Normale
- la loi de log-normale (droite de GALTON).

De nombreuses études comparatives, empiriques et théoriques, ont été menées afin de déterminer dans quelles circonstances une méthode d'estimation est la plus efficace pour une loi donnée dont l'efficacité d'une méthode d'estimation dépend de :

- La loi de probabilité.
- La taille de l'échantillon.
- Certaines caractéristiques de l'échantillon.

L'ajustement a la loi de GUMBEL : la loi de GUMBEL a été établi par le logiciel HYFRONT, elle est dite aussi loi doublement exponentielle ou loi des valeurs extrêmes. La fonction de répartition de la loi s'exprime de la manière suivante :

$$F(x) = e^{-e^{-u}} \dots\dots\dots \text{(III-19)}$$

$$u = \frac{x - x_0}{\alpha} \dots\dots\dots \text{(III-20)}$$

- u : la variable réduite
- x : la précipitation maximale journalière (mm).
- x_0 : le paramètre de position (ordonnée à l'origine).
- α : paramètre d'échelle.

L'équation de la droite de GUMBEL sera :

$$X = \alpha u + X_0 \dots\dots\dots \text{(III-21)}$$

Tableau III-16 : Tableau des résultats de l'ajustement à la loi de GUMBEL :

Période de retour T (ans)	Probabilité (q)	Précipitation (mm)	Intervalle de confiances
			95 %
1000	0.999	208	160 - 257
200	0.995	174	136 - 211
100	0.990	158	126 - 191
50	0.980	143	115 - 172
20	0.950	123	101 - 145
10	0.9000	108	90 - 125
5	0.8000	91.3	78.3 - 104

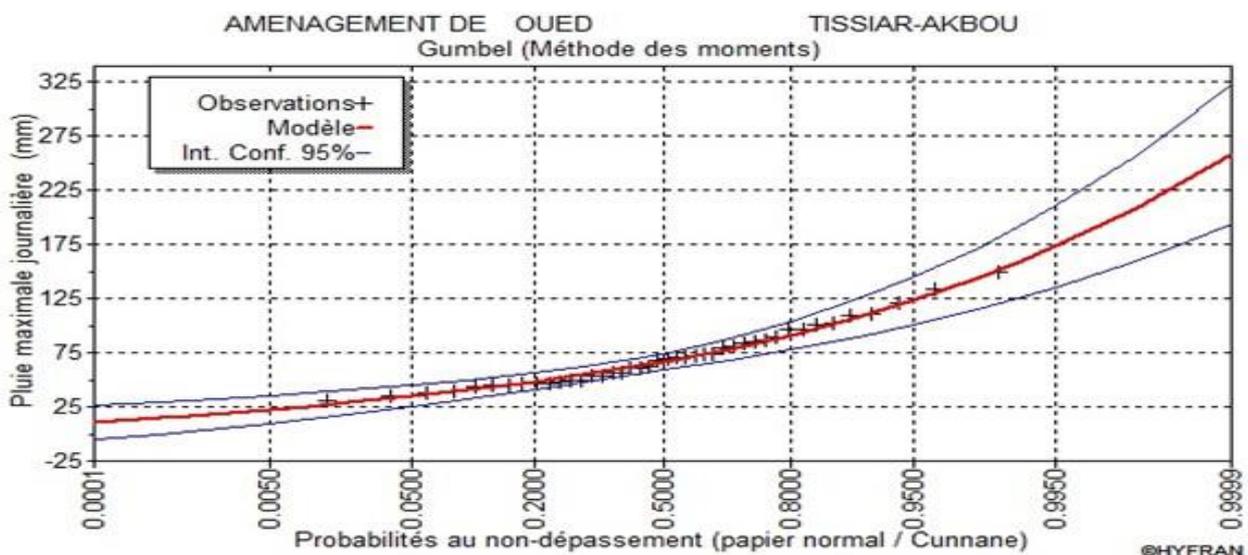


Figure III-7 : Représentation graphique de l'ajustement de la loi de GUMBEL (HYFRAN)

L'ajustement a la loi NORMAL : La distribution normale (N), également connue sous le nom de distribution de GAUSS, est une fonction symétrique par rapport à sa moyenne et découle du théorème de la limite centrale. La fonction de la densité de probabilité d'une variable aléatoire X s'exprime alors :

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu_x}{\sigma_x} \right)^2 \right] \dots \dots \dots \text{(III-22)}$$

Pour estimer un quantile quelconque de x à partir de la distribution normale, on recourt généralement à la formulation suivante (équations de droite de Henry):

$$x_p = \mu_x + \sigma_x * u \dots \dots \dots \text{(III-23)}$$

- μ_x : Moyenne.
- σ_x : écart-type (paramètre de dispersion).
- u : variable réduite de gauss.

Les résultats de calcul sont représentés dans le **Tableau III-17** ainsi que le graphique est donné par la **Figure III-8**.

Tableau III-17 : Tableau des résultats de l'ajustement de la loi NORMALE :

Période de retour T (ans)	Probabilité (q)	Précipitation (mm)	Intervalle de confiances
			95 %
1000	0.999	157	137 - 178
200	0.995	143	125 - 161
100	0.990	136	120 - 152
50	0.980	128	113 - 143
20	0.950	117	104 - 130
10	0.9000	107	95.5 - 118
5	0.8000	94.7	84.9 - 105

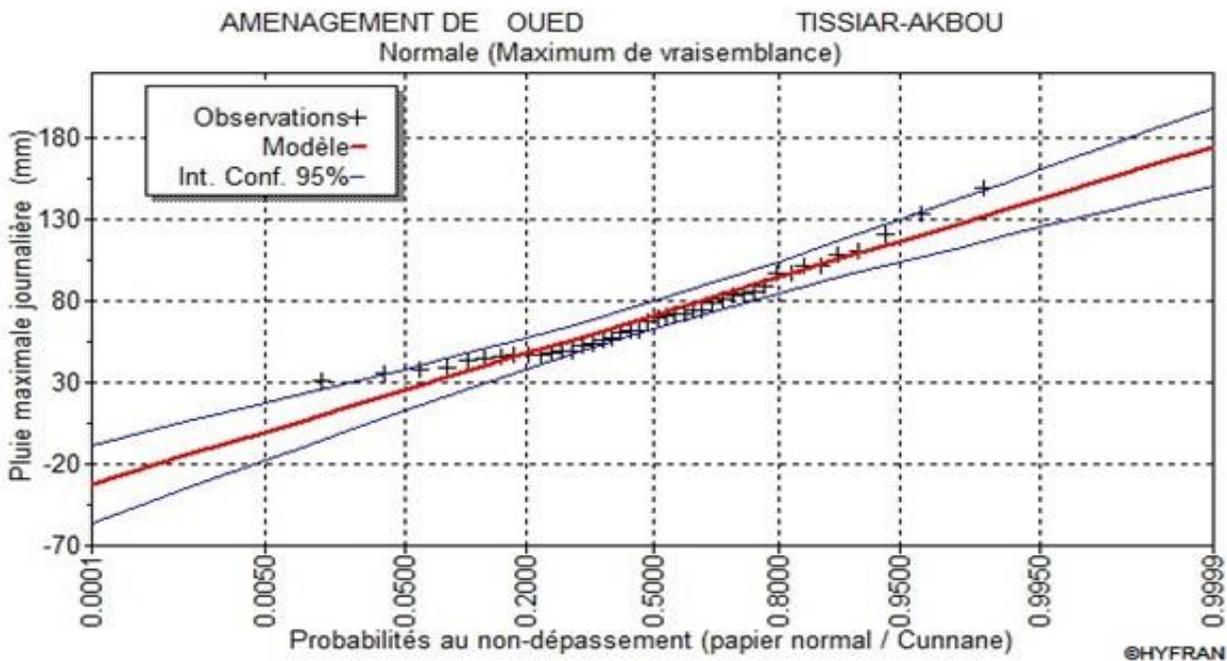


Figure III-8 : représentation graphique de l'ajustement de la loi NORMALE (HYFRAN)

L'ajustement a la loi LOG-NORMAL : La loi de Galton s'appelle également loi log-normale ou loi de Gibrat-Gauss, cette distribution découle d'une modification apportée à la distribution normale afin d'étudier le logarithme de la variable aléatoire X.

On requiert une telle procédure lorsque la variable aléatoire à l'étude s'étend sur plusieurs ordres de grandeur par rapport à la distribution normale, cette dernière à l'avantage d'être bornée (X>0) et de réduire l'asymétrie de la variable X, Cette loi d'ajustement impose une limite inférieure à X, ce qui permettra de pallier le problème de la distribution non normale due au logarithme d'une variable La fonction de répartition est donnée par la représentation suivante :

$$f(x) = \frac{1}{x \cdot 2\pi\sigma_y^2} \exp \left[-\frac{1}{2} \frac{(\ln(X/\xi) - \mu_y)^2}{\sigma_y^2} \right] \dots \dots (III-24)$$

Tableau III-18 : Tableau des résultats de l'ajustement a la loi LOG-NORMALE (HYFRAN)

Période de retour T (ans)	Probabilité (q)	Précipitation (mm)	Intervalle de confiances
			95 %
1000	0.999	244	131 - 357

200	0.995	193	123 - 263
100	0.990	173	117 - 228
50	0.980	153	111 - 195
20	0.950	128	99.8 - 156
10	0.9000	109	89.8 - 129
5	0.8000	90.9	77.7 - 104

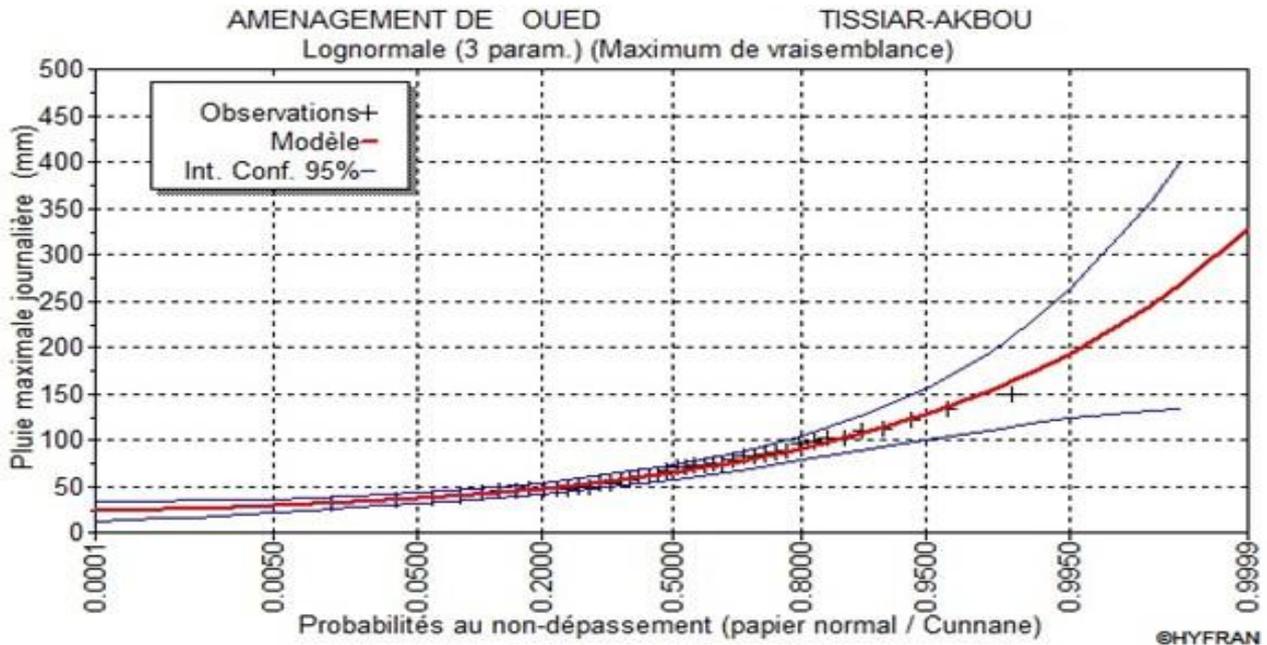


Figure III-9 : représentation graphique de l'ajustement de la loi LOG-NORMALE (HYFRAN)

4. Choix de la loi d'ajustement :

Interprétation graphique : Cette procédure permet dans ce cas, de vérifier la qualité de l'ajustement des fonctions. Notons qu'une estimation juste des valeurs extrêmes demande un bon ajustement de la partie supérieure du graphique, qui correspond aux probabilités cumulées élevées.

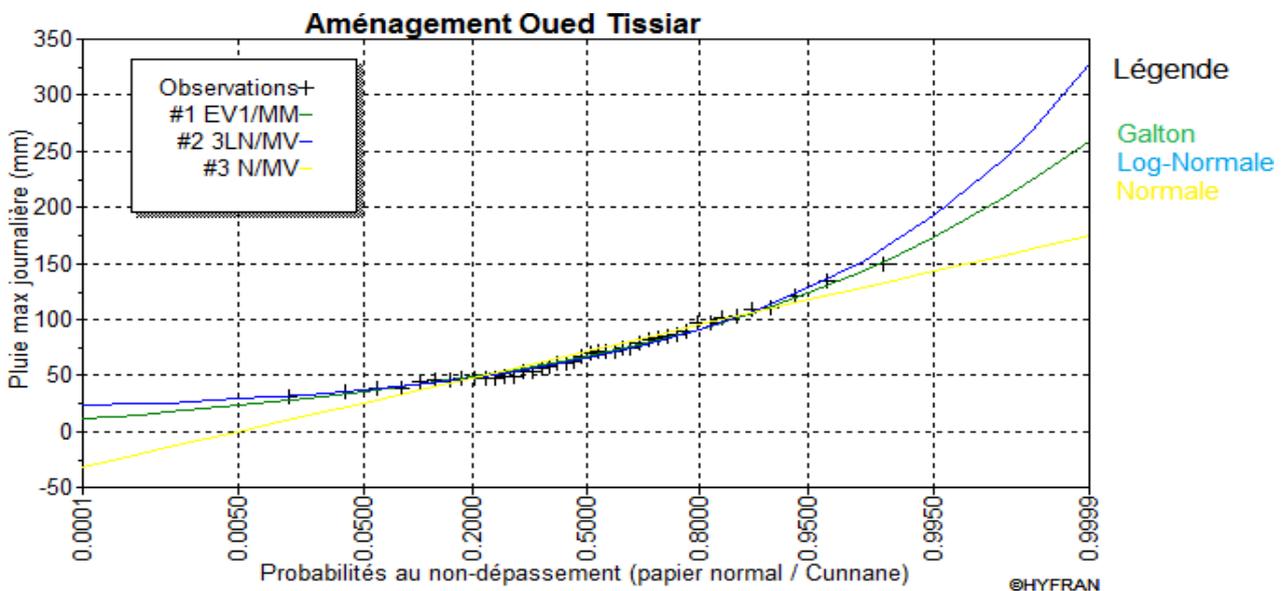


Figure III-10 : présentation graphique des trois lois de distribution

En interprétant la Figure III- , on voit bien que la distribution **GUMBEL** (courbe avec la couleur verte) est la plus adaptée à l'échantillon. La loi **LOG-NORMAL** (courbe avec couleur bleu) est moins adaptée. Contrairement à la loi **NORMALE** (courbe avec couleur jaune) on confirme la piètre performance de cette dernière.

5. Le test d'adéquation par le test de Khi-deux : Utilisant le logiciel de calcul HYFRAN pour le test Khi-deux.

Tableau III-19 : Tableau de comparaison des caractéristiques des lois :

	Log-Normal	Gumbel	Normal
Hypothèses			
H₀: L'échantillon provient d'une loi Gamma inverse			
H₁ : L'échantillon ne provient pas d'une loi Gamma inverse			
Résultats			
Résultat de la statistique : X²	4.84	5.24	4.86
p-value	0.3454	0.3875	0.4336
Degrés de liberté	4	5	5
Nombre de classes	8	8	8
Nous pouvons accepter H₀ au niveau de signification de 5% ?	accepter	accepter	accepter

Donc la loi **NORMALE** est à écarter car elle avait un mauvais ajustement dans le graphique (que les fréquences empiriques ne convergent pas vers les probabilités théoriques). D'autant plus en hydrologie fréquentielle des valeurs extrêmes, les distributions ne sont cependant pas symétriques, ce qui constitue un obstacle à son utilisation alors que la loi de **GUMBEL**, convient à la distribution de la valeur maximale d'un échantillon de valeurs. Le maximum annuel d'une variable étant considéré comme le maximum de 365 valeurs journalières. Cette loi doit être capable de décrire les séries de maxima annuels. Il est à remarquer que plus le nombre de paramètres d'une loi est grand plus l'incertitude dans l'estimation est importante. Puisque la loi de **GUMBEL** présente deux paramètres donc les résultats favorables des tests d'adéquation vont permettre à cette loi de sortir gagnante de la compétition du choix du modèle adéquat d'ajustement.

6. Pluies de courte durée I.D.F (Intensité-Durée-Fréquence) :

Elle est utilisée pour l'estimation des crues, la pluie qui donne la crue critique est la pluie de durée égale au temps de concentration d'où la formule de K. Body (ANRH1984) :

$$P_{tc} = P_{maxj} \left| \frac{t}{24} \right|^b \dots\dots\dots \text{(III-25)}$$

- **P_{tc}** : pluies de courte durée (mm) de fréquence égale à celle de **P_{maxj}**.
- **P_{maxj}** : pluies maximales fréquentielles.
- **T** : temps en heure.
- **B** : exposant climatique ($b = 0,35$).

L'intensité de pluies est donnée par la formule suivante :

$$I_t = \frac{P_{ct}}{t} \dots\dots\dots \text{(III-26)}$$

Les résultats de calcul sont donnés dans le Tableau III-21 :

Tableau III-20 : Tableau de Pluies de courtes durées de différentes fréquences et leurs intensités:

ftè	5		10		20		50		100		1000	
Fréquence (%)	20		10		5		2		1.00		0.10	
P _{maxj,p} (%)(mm)	91.3		108		123		143		158.0		208	
T (h)	P _{maxj,p} %	I ₀										
	(mm)	(mm/h)										
0.5	23.55	47.10	27.86	55.72	31.73	63.46	36.89	73.78	40.76	81.52	53.66	107.31
0.72	26.76	37.16	31.65	43.96	36.05	50.07	41.91	58.21	46.31	64.32	60.96	84.67
0.96	29.59	30.83	35.01	36.46	39.87	41.53	46.35	48.28	51.21	53.35	67.42	70.23
1.44	34.11	23.68	40.34	28.02	45.95	31.91	53.42	37.10	59.02	40.99	77.70	53.96
2	38.26	19.13	45.26	22.63	51.55	25.77	59.93	29.96	66.21	33.11	87.17	43.58
3	44.09	14.70	52.16	17.39	59.41	19.80	69.06	23.02	76.31	25.44	100.46	33.49
4	48.77	12.19	57.69	14.42	65.70	16.42	76.38	19.10	84.39	21.10	111.10	27.77
5	52.73	10.55	62.37	12.47	71.03	14.21	82.59	16.52	91.25	18.25	120.12	24.02
6	56.20	9.37	66.48	11.08	75.72	12.62	88.03	14.67	97.26	16.21	128.04	21.34
7	59.32	8.47	70.17	10.02	79.91	11.42	92.91	13.27	102.65	14.66	135.14	19.31
9	64.77	7.20	76.62	8.51	87.26	9.70	101.45	11.27	112.09	12.45	147.56	16.40
12	71.63	5.97	84.74	7.06	96.50	8.04	112.20	9.35	123.96	10.33	163.19	13.60
15	77.45	5.16	91.62	6.11	104.34	6.96	121.31	8.09	134.03	8.94	176.45	11.76
18	82.55	4.59	97.66	5.43	111.22	6.18	129.30	7.18	142.87	7.94	188.08	10.45
21	87.13	4.15	103.07	4.91	117.38	5.59	136.47	6.50	150.79	7.18	198.50	9.45
24	91.30	3.80	108.00	4.50	123.00	5.13	143.00	5.96	158.00	6.58	208.00	8.67

Les graphiques de pluies courtes durées et l'intensité-durée-fréquence (IDF) :

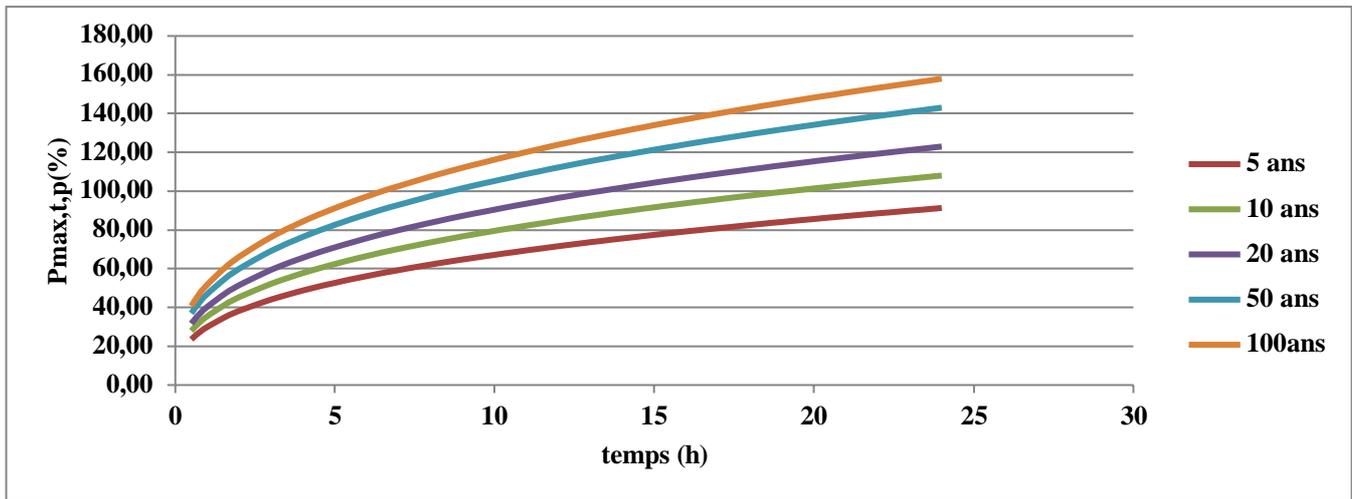


Figure III-11 : Courbe de pluie courte durée de différentes fréquences

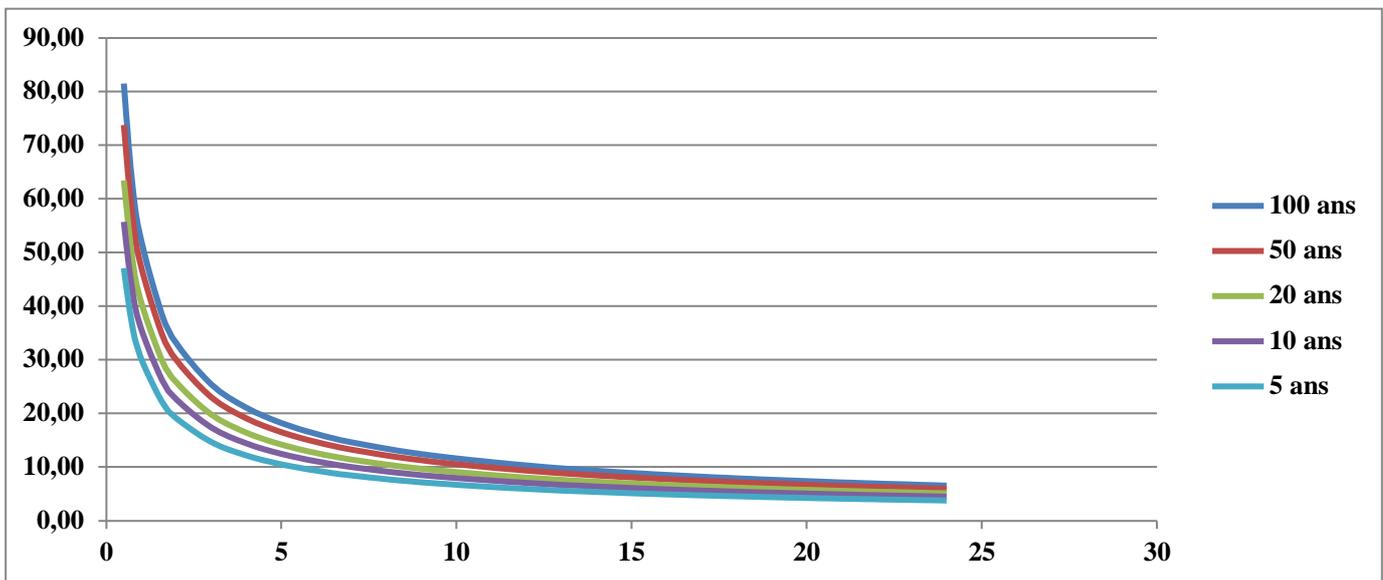


Figure III-12 : Intensités maximales pour différentes périodes de retours

7. L'étude des apports : Par manque de stations hydrométriques au niveau du talweg principal, les apports seront estimés à partir des formules empiriques.

1) Les apports liquides : Il existe plusieurs formules pour l'estimation des apports moyens interannuels, parmi lesquelles :

▪ Formule de SAMIE :

$$A = L_e \cdot S \dots\dots\dots (III-27)$$

$$L_e = P^2(293 - 2.2\sqrt{S}) \dots\dots\dots (III-28)$$

- L_e : lame d'eau écoulée (mm).
- P : précipitation moyenne (m).
- S : la superficie en Km^2 du bassin versant.

▪ Formule de MEDINGER :

$$L_e = 1.024(P - 0.26)^2 \dots\dots\dots (III-29)$$

- **P** : précipitation moyenne (m).
- **L_e**: lame d'eau écoulée (mm).

▪ **Formule de MALLET–GAUTHIER :**

$$C_e = 0,6 \left(1 - 10^{-0,36 P^2} \right) \quad \text{III-30}$$

- **C_e** : Coefficient d'écoulement.
- **P̄** : Précipitation moyenne (m).
- **A₀** : Apport moyen annuel (Mm³) **A₀=L_e.S**.
- **L_e** : Lame d'eau écoulée (m) **L_e=P.C_e**
- **S** : Surface du bassin versant (km²).

▪ **Formule de TURC:**

$$L_e = P - \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad \text{III-31}$$

$$L = 300 + 25T_0 + 0,05 (T_0)^3 \quad \text{III-32}$$

- **T₀**: température moyenne dans la zone d'étude. **A = L_e .S**

▪ **Formule de l'ANRH :**

L'apport moyen interannuel est donné par:

$$A_0 = 0,915 . P^{-2,684} . S^{0,842} \quad \text{III-33}$$

- **P** : précipitation moyenne (m).
- **S** : superficie (en Km²).

▪ **Formule de DERIE II :**

$$A_0 = 0,513 \bar{P}^{-2,683} D_d S^{0,842} \quad \text{III-34}$$

- **A₀** : Apport moyen annuel (Mm³).
- **P̄**: Précipitation moyenne (m).
- **D_d** : Densité de drainage (km/km²).
- **S** : Surface du bassin versant (km²).

L'application numérique : Les résultats sont récapitulés dans le Tableau III-22.

Tableau III-21 : résultats de calcul des apports et les lames d'eau écoulées

Formule	Oued Tissiar	
	Lame d'eau écoulée L_e (mm)	Apport moyen annuel (Hm^3)
SAMIE	186.35	1.45
MEDINGER	305.27	2.38
DERIE II	264.04	2.06
MALLET GAUTIER	201.36	1.57
TURC	160.88	1.25
ANRH	370.51	2.89
Moyenne	230.59	1.80

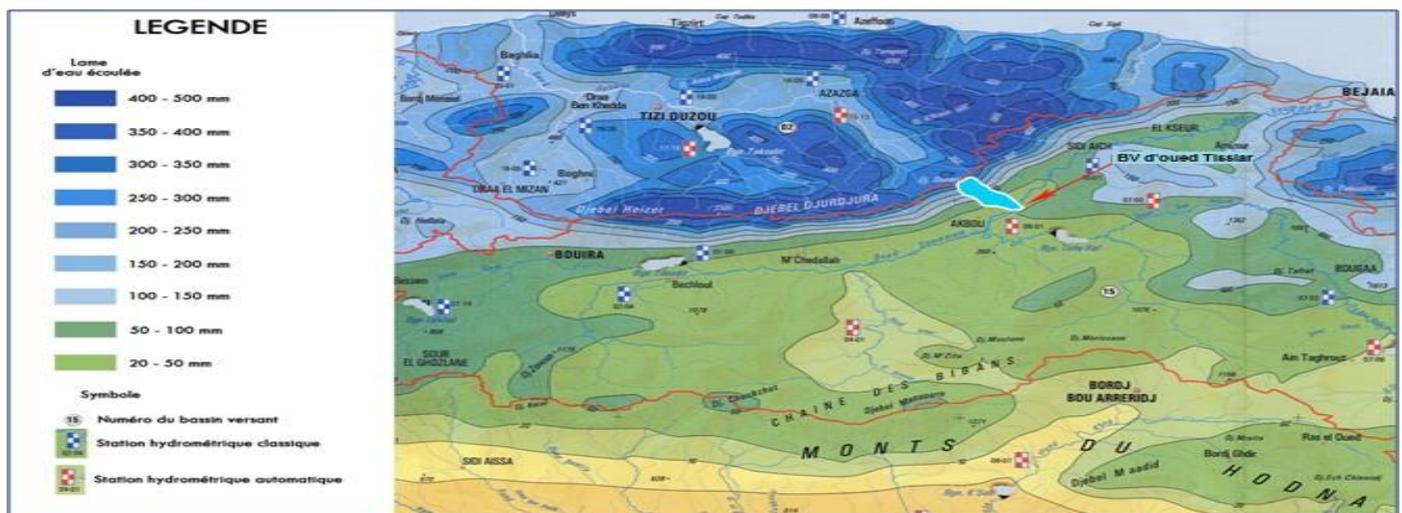


Figure III-13 : Extrait de la carte des écoulements moyens annuels de l'ANRH

D'après les résultats obtenus par les différentes formules empiriques on prend la vallée la plus proche à la moyenne et pour assurer en faisant référence à la carte des écoulement moyens annuels de l'ANRH, la lame d'eau écoulée moyenne au droit de la zone d'étude est environ de 200mm ce qui correspond à la valeur donnée par la formule de MALLET GAUTIER avec un apport moyen annuel de $1.57 (Mm^3)$.

Tableau III-22 : Tableau des répartitions mensuelles de l'apport moyen annuel.

Mois	P mens (mm)	A (%)	A (hm^3)
			BV TISSIAR
Sept	37.0	4.6	0.07
Oct	64.5	8.0	0.13
Nov	84.1	10.4	0.16
Déc	160.7	19.9	0.31
Janv	118.6	14.7	0.23
Fév	99.1	12.3	0.19
Mars	100.3	12.4	0.20
Avr	78.1	9.7	0.15
Mai	41.5	5.1	0.08
Juin	12.9	1.6	0.03
Juil	2.5	0.3	0.00
Août	6.9	0.9	0.01
Total	806.3	100.0	1.57

Etude des caractéristiques de l'écoulement :

1) Module de l'écoulement :

$$M_e = A_0 / T \dots\dots\dots(III-35)$$

- A₀ : Apport moyen annuel (l).
- T : Temps d'une année en secondes = 365*24*3600 = 3153600 s.

2) Module de l'écoulement relatif (spécifique) :

$$M_0 = M_e / S_{bv} \dots\dots\dots (III-36)$$

- M₀ : Module de l'écoulement (l/s).
- S : Superficie du bassin (Km²).

3) lame d'eau écoulée :

$$L_e = A_0/S_{BV} \dots\dots\dots (III-37)$$

4) Coefficient de l'écoulement :

$$C_e = L_e / P_{moy} \dots\dots\dots(III-38)$$

L'application numérique :

Tableau III-23 : Les résultats de calcul des paramètres d'écoulement :

BV	M _e (l/s)	M ₀ (l/s/km ²)	L _e (mm)	C _e
TISSIAR	49.78	6.38	201.36	0.250

5) Coefficient de variation : pour la détermination de coefficient de variation Cv des apports annuels, les calculs sont effectués à partir des formules empiriques a cause de l'absence des données hydrométriques des petits bassins versants.

▪ Les formules :

• Formule d'OURKGUIPROVODKHOZ :

$$C_v = 0.7 / (M_0)^{0.125} \dots\dots\dots (III-39)$$

M₀ : module spécifique en (l/s Km²).

• Formule Algérienne de N.N PADOUM :

Cette formule donne de bons résultats de l'estimation du coefficient de variation de l'apport annuel et en plus elle est établie à partir d'une analyse statistique de 42 oueds de l'Algérie du nord, cette relation s'écrit comme suit :

$$C_v = 0.93 K / M_0^{0.23} \dots\dots\dots(III-40)$$

- K : coefficient de réduction K= (0.25-1.00) on prend K=0.75
- M₀ : module spécifique du bassin versant en (l/s/km²).

• Formule de SOKOLOVSKY :

$$C_v = 0.78 - 0.29 \log M_0 - 0.063 \log (S + 1) \dots\dots\dots(III-41)$$

- M₀ : Module de l'écoulement relatif

• Formule de KRISTEKLY MENKEL:

$$C_v = 0.83 / (S^{0.06} \cdot M_0^{0.27}) \dots\dots\dots (III-42)$$

- M_0 : module de l'écoulement relatif

L'application numérique : Les résultats de C_v sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau III-24 : Résultats de calcul de coefficient de variation :

Formule	Coefficient de variation
	C_v TISSIAR
OURKGUIPROVODKHOZ	0.55
N.N. PADOUM	0.46
SOKOLOVSKI	0.49
KRISTEKLY MENKEL	0.44
Moyenne	0.49

On opte pour une valeur moyenne, c'est-à-dire que $C_v=0,49$

- 6) **L'analyse fréquentielle de l'écoulement** : L'estimation fréquentielle des apports peut être envisagée par l'application de la loi de Pearson III qui est donnée comme suit :

$$A_{(\%)} = \frac{A}{\left(C_v^2 + 1 \right)^{1/2}} \cdot e^{-U \left(Ln(C_v^2 + 1) \right)^{1/2}} \dots\dots\dots (III-43)$$

- $A\%$: Apport de fréquence donnée.
- U : Variable réduite de Gauss.
- A_0 : Apport moyen annuel (Hm^3).
- C_v : Coefficient de variation.

L'application numérique : Les calculs des apports fréquentiels une estimation de 80% a conduit au tableau suivant :

Tableau III-25 : Tableau d'estimation des apports fréquentiels 80%.

Période de retour (ans)	Fréquence (%)	Variable de Gauss	Apport A (hm^3) TISSIAR
5	80	0,8428	0.96

La répartition mensuelle de l'apport moyen annuel :

Tableau III-26 : Tableau de la répartition mensuelle de l'apport de fréquence 80%

Mois	A 80% (%)	A 80% (hm ³) TISSIAR
Sept	4.6	0.05
Oct	8.0	0.09
Nov	10.4	0.11
Déc	19.9	0.22
Janv	14.7	0.16
Fév	12.3	0.13
Mars	12.4	0.14
Avril	9.7	0.11
Mai	5.1	0.06
Juin	1.6	0.02
Juil	0.3	0.00
Août	0.9	0.01
Total	100.0	1.09

2) Etude des apports solides :

- **L'estimation de l'apport solide** : L'évaluation de l'envasement est indispensable dans de tels cas pour que le dimensionnement du canal soit plus fiable vis-à-vis sa durée de vie et pour son fonctionnement. Pour cela on doit calculer les apports solides et par défaut de manque de données sur les débits solides sur Oued TISSIAR nous opterons pour un calcul empirique en utilisant les formules suivantes :

▪ **Formule de SOGREAH (ANRH) :**

Cette formule donne l'apport solide moyen annuel en suspension (en t/Km²/An), elle est exprimée par :

$$E_s = a \cdot L_e^{0.15} \dots\dots\dots \text{(III-44)}$$

- E_s : Apport solide moyen annuel en suspension (t/Km²/An).
- a : Coefficient dépend de la perméabilité, pour une perméabilité faible, $a=1400$, nous avons pris une perméabilité faible du bassin versant car le relief du bassin est fort (pente forte)
- L_e : lame d'eau écoulée. ($L_e = 201.36\text{mm}$)
- S : superficie du bassin versant en Km².

▪ **Formule de TIXERONT** : Cette formule donne l'apport solide moyen annuel en suspension (en t/Km²/An), elle est exprimée par :

$$E_s = 92 \cdot L_e^{0.21} \dots\dots\dots \text{(III-45)}$$

- E_s : Apport solide moyen annuel en suspension (t/Km²/An).
- L_e : lame d'eau écoulée. ($L_e = 201.36\text{mm}$).
- S : superficie du bassin versant en Km².

▪ **Formule de FOURNIER** : Le transport solide est donnée par la formule suivante :

$$T = \frac{1}{36} \left(\frac{E_s}{P_a} \right)^{2.65} \left(\frac{h^2}{S} \right)^{0.46} \dots\dots\dots \text{(III-46)}$$

- E_s : érosion spécifique (t/Km²/an)
- P_m : Pluie moyenne mensuelle du mois le plus pluvieux (mm).
- $P_m = 160.7\text{mm}$.
- P_a : Pluie moyenne interannuelle (mm).
- $P_a = 806.30\text{mm}$.
- $h = 45\%(H_{\max} - H_{\min})$ (m).
- h_{\max} : Altitude maximale.
- H_{\min} : Altitude minimale.
- S : Surface du bassin versant (km²).

▪ **Formule de GRAVILOVITCH** : Cette relation largement utilisée en Algérie, fait intervenir des caractéristiques physiques et un indice climatique du bassin versant.

$$T_a = T_{sp} * G_{rm} \dots\dots\dots \text{(III-47)}.$$

Avec :

$$T = T_{sp} * P_{moy} * \pi * \sqrt{Z^3} \dots\dots\dots \text{(III-48)}.$$

$$T = (t/10)^{0.5} + 0.1 \dots\dots\dots \text{(III-49)}.$$

$$G_{rm} = \frac{(\sqrt{P} + H_{moy})}{0.2(L + 10)} \dots\dots\dots \text{(III-50)}.$$

- T_a : taux d'abrasion (t/Km²/an).
- T_{sp} : le taux de la production annuel des matériaux en (m³/km²/an).
- G_{rm} : taux de rétention des sédiments produits par le bassin.
- T : coefficient thermique.
- Z : coefficient d'érosion relative en fonction de la description du bassin versant (pour le cas d'une érosion moyenne z=0.55). (ANRH)
- P_{moy} : Pluie moyenne interannuelle (mm).
- t : température moyenne annuelle (°C). $t=17.3^\circ\text{C}$
- P : périmètre du bassin versant (Km).
- L : longueur du talweg principal (Km).
- H_{moy} : Altitude moyenne (km).

▪ **Formule de SAMI** :

$$E = P^2 / (293.2 * 2S^{0.5}) \dots\dots\dots \text{(III-51)}$$

- E : apport solide (t/km²/an).
- P : pluie moyenne sur le bassin versant (mm).

S : surface du bassin versant (km²).

L'application numérique : les résultats de calcul sont récapitulés dans le Tableau III-28

Tableau III-27 : Tableau des résultats de calcul des apports solide

Formule	Apport solide (T/Km ² /An) TISSIAR
SOGREAH (ANRH)	3108
TIXERONT	280
FOURNIER	37692
GRAVILOVITCH	4006
SAMI	397
Moyenne	9097

Nous constatons que la valeur donnée par la formule de GRAVILOVITCH et SOGREAH sont moyennes, nous allons choisir valeur donnée par la formule de GRAVILOVITCH la plus proche à la moyenne.

Estimation d'envasement annuel : Est calculé par la formule suivante :

$$V_m = \frac{E_s * S * T}{\gamma_s} \dots\dots (III-51)$$

- E_s : Erosion spécifique (t/km²/an).
- T : Une (01) année.
- γ_s : Poids spécifique des sédiments (1,4 t/m³). [ANBT].
- S : Surface du bassin versant (Km²).

- **BV TISSIAR: V_m=22319m³/an**

Le transfert sédimentaire par charriage est estimé à (10-15) % [ANBT], on prend 10% donc :

- **BV TISSIAR: V_m=24550m³/an**

Etude des crues : L'évaluation des crues a toujours été un souci majeur dans le dimensionnement des ouvrages hydrauliques. L'étude des crues a comme but la détermination des hydrogrammes de crue afin de déterminer les débits maximums probable.

La construction des hydrogrammes de crues passe d'abord par l'estimation des débits maximum fréquentiels. (Musy & Higy, 1998)

- Détermination des débits maximaux fréquentiels :

Par les formules empiriques suivantes :

▪ **Formule de GIANDOTTI :**

$$Q_{\max \%} = \frac{C.S.(H_{\text{moy}} - H_{\text{min}})^{1/2}}{4(S)^{1/2} + 1.5L} \cdot P_{tc} \dots\dots\dots (III-52)$$

- Q_{max (%)} : débit maximum de crue en m³/s de même fréquence que celle de la pluie de courte durée.
- C : Coefficient fonction des conditions topographiques généralement pris égal à 120-160 pour des petits bassins, on prend une moyenne C=140, [ANBT]
- S : superficie du bassin versant.

- L : longueur du talweg principal.
- H_{moy} , et H_{min} : altitudes moyennes et minimales (en m).
- P_{tc} : pluies de courte durée.

▪ Formule de SOKOLOVSKY :

$$Q_{max,p\%} = 0.28 \cdot \frac{P_{tc\%} \cdot \alpha_{p\%} \cdot S \cdot f}{t_m = t_c} \dots\dots\dots (III-53)$$

- P_{tc} : Précipitation de probabilité P% correspondant à un temps t_c
- $t_m = T_c$: temps de concentration.
- F : Coefficient de forme de la crue : $F = 12 / (4 + 3 \cdot \gamma)$
- $\gamma = 2$ pour $S \leq 50 \text{ km}^2$ d'où $F = 1.2$
- S : Superficie du bassin (Km^2).
- $\alpha_{p\%}$: Coefficient de ruissellement de la crue pour une période donnée.

$$\alpha_{p\%} = \frac{\sqrt{P_{tc\%}} - \sqrt{H_0}}{\sqrt{P_{tc\%}} + \sqrt{H_0}} \dots\dots\dots (III-54)$$

- H_0 : C'est la perte d'eau initiale, au nord de l'Algérie $H_0 = 14 \text{ mm}$, [ANRH]

▪ Formule de MALLET-GAUTHIER :

$$Q_{max\%} = 2k \text{Log}(1 + AP) \cdot \frac{S}{\sqrt{L_p}} \cdot \sqrt{1 + 4 \text{Log}T - \text{Log}S} \dots\dots (III-55)$$

- S : superficie du bassin versant (Km^2).
- L_p : longueur du talweg principal (Km).
- A : coefficient régional pris égal à 20.
- K : constante comprise entre 1 et 3 on prend une valeur moyenne 2.
- P : précipitation moyenne interannuelle.
- T : période de retour en années.

▪ Formule de POSSENTI:

$$Q_{p\%} = \frac{\mu P_{max\ j\%} S}{L_p} \dots\dots\dots (III-56)$$

- $P_{max\ j\%}$: Pluie maximale journalière correspondante à la période de retour donnée.
- μ : Coefficient compris entre : (700 – 800) On prend $\mu = 750$.
- L_p : Longueur du cours d'eau principal (Km).

▪ Formule de TURRAZA

$$Q_{\max \%} = \frac{\alpha \times P_{tc} \times S}{T_c} \times \dots\dots\dots \text{(III-57)}$$

- P_{tc} : Pluie de courte durée (mm)
- T_c : Temps de concentration (h).
- S : Surface du bassin versant (Km²).
- α : Coefficient de ruissellement de la crue pour une période donnée.

Tableau III-28 : Tableau de coefficient de ruissellement

Période	5	10	20	50	100	1000
α	0.55	0.6	0.6	0.65	0.7	0.8

Les résultats de calcul sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau III-29 : Tableau de résultats de calculs des débits maximaux fréquents d'oued Tissiar

BV TISSIAR Q(m ³ /s)						
Période de retour	5	10	20	50	100	1000
GIANDOTTI	11.33	14.88	20.87	26.51	32.49	40.11
SOKOLOVSKY	12.06	17.12	21.97	28.82	34.19	42.26
MALLET-GAUTIER	22.23	26.45	30.07	34.28	37.15	45.40
POSSENTI	15.39	20.62	24.71	31.16	33.24	42.86
TURRAZA	8.03	11.08	18.90	23.40	28.77	36.04
Q_{\max}	22.23	26.45	30.07	34.28	37.15	45.40

On remarque que les résultats donnés par la formule de Mallet-Gautier sont les plus extrêmes, alors on opte pour les valeurs de la formule de Mallet-Gautier.

Tableau III-30 : Tableau des débits de crues maximums choisis pour les différentes périodes de retour :

Période de retour	5	10	20	50	100	1000
Q_{\max} (m ³ /s) TISSIAR	22.23	26.45	30.07	34.28	37.15	45.40

Hydrogramme de crue :

L'hydrogramme de crue est une identité de la crue, il détermine ses caractéristiques principales qui sont Le volume, La durée et Le débit maximum (débit de pointe).

La forme des crues (temps de montée et de décrue) est déterminée à l'aide de la méthode de SOKOLOVSKY, qui assimile l'hydrogramme de crue à deux équations paraboliques l'une pour le temps de montée et de la

décru :

- Pour le temps de montée :

$$Q_t = Q_{\max\%} \left(\frac{t}{t_m} \right)^n \dots\dots (III-59)$$

▪ Pour le temps de décrue :

$$Q_t = Q_{\max\%} \left(\frac{t_d - t}{t_d} \right)^m \dots\dots (III-60)$$

- **Qmax (%)** : débit maximum de fréquence donnée.
- **Qt** : débit instantané au moment (t).
- **tm , td** : temps de montée et de décrue.
- **m, n** : puissances des paraboles pour les bassins de petits gabarits m=3 et n=2.
- Temps de base: **tb = tm+ td**
- **td = δ* tm.**
- **δ** : coefficient de forme de l'hydrogramme de crue.

Tableau III-31 : Coefficients de forme de l'hydrogramme de crue δ.

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

Donc : $t_d = 2,5t_m$, et $t_m = t_c$ (pour des petits bassins).

- $t_m = t_c = 0.91 \text{ h}$
- $t_d = 2,5 t_m = 2.275 \text{ h}$
- $t_b = t_m + t_d = 3.185 \text{ h}$

Tableau III-32 : les valeurs des débits de crues en fonction du temps

temps (h)	Période de retour (ans)					
	5	10	20	50	100	1000
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	0.60	0.72	0.82	0.93	1.01	1.23
0.30	2.42	2.87	3.27	3.73	4.04	4.93

0.45	5.44	6.47	7.35	8.38	9.08	11.10
0.60	9.66	11.50	13.07	14.90	16.15	19.74
0.91	22.23	26.45	30.07	34.28	37.15	45.40
1.20	16.51	19.65	22.34	25.46	27.60	33.72
1.30	14.07	16.74	19.03	21.69	23.51	28.73
1.40	11.87	14.13	16.06	18.31	19.84	24.25
1.50	9.92	11.80	13.42	15.30	16.58	20.26
1.60	8.19	9.75	11.08	12.63	13.69	16.73
1.70	6.68	7.95	9.04	10.30	11.16	13.64
1.80	5.37	6.38	7.26	8.27	8.97	10.96
1.90	4.24	5.04	5.73	6.53	7.08	8.65
2.00	3.28	3.90	4.43	5.05	5.48	6.69
2.10	2.48	2.95	3.35	3.82	4.14	5.06
2.20	1.82	2.16	2.46	2.80	3.04	3.71
2.30	1.29	1.53	1.74	1.98	2.15	2.63
2.40	0.87	1.04	1.18	1.34	1.46	1.78
2.50	0.56	0.66	0.75	0.86	0.93	1.14
2.60	0.33	0.39	0.44	0.51	0.55	0.67
2.70	0.17	0.21	0.23	0.27	0.29	0.35
2.80	0.08	0.09	0.10	0.12	0.13	0.16
2.90	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05
3.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
3.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

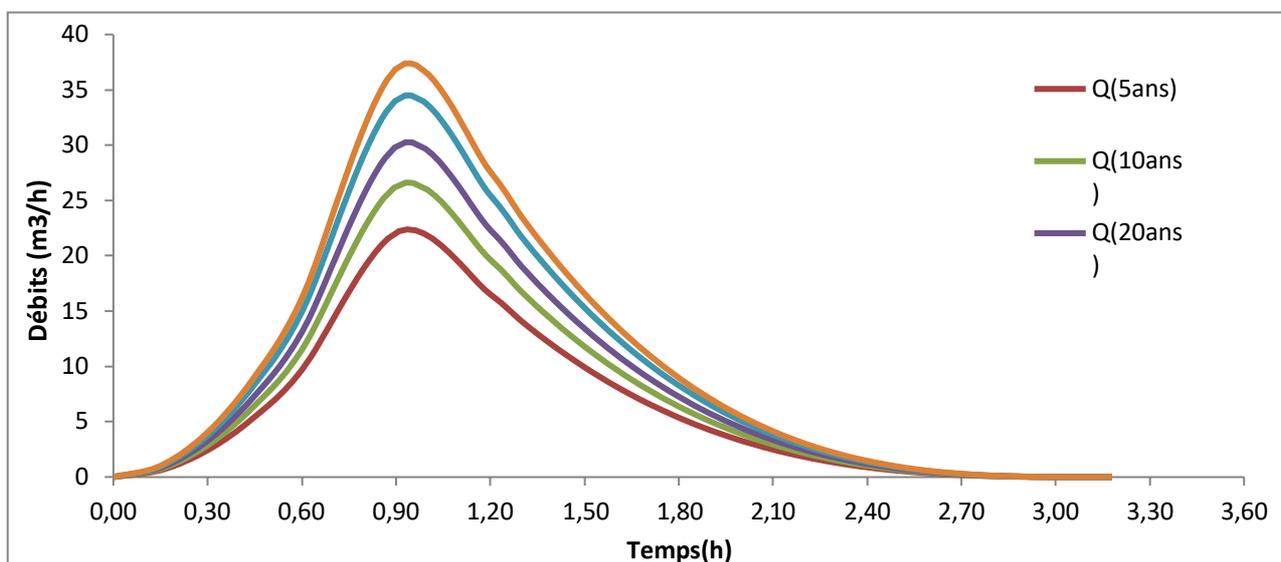


Figure III-14 : Hydrogrammes de crues pour différentes périodes de retour de BV-Tissiar

Choix de la crue du projet :

La crue de projet est la crue maximale que l'ouvrage doit être capable d'évacuer pour une probabilité donnée. Alors que le choix de la crue de ce projet dépend, essentiellement, de l'importance de l'ouvrage à réaliser, des conséquences qui peuvent se produire à l'aval et des considérations technico-économiques liées à l'aménagement et à l'environnement.

Tableau III-33 : Tableau de Crue de projet recommandé

Catégories des dommages	Crue de projet recommandé de probabilité de dépassement annuelle
Elevés : - Perte de vie -Dommage considérable	1/100000 à 1/10000
Importants : -Pas de perte de vie -Dommages importants	1/10000 à 1/1000
Faibles ; -Pas de perte de vie -Dommages légers	1/1000 à 1/100

On peut considérer que les intensités des crues et les difficultés topographiques et géotechniques sont moins compliquées, les connaissances hydrologiques paraissent moyennes et que le risque en aval est moins élevé.

D'après ce tableau nous optons pour une crue de projet de probabilité de 1% (T = 100 ans).

Donc pour un débit qui vaut $Q = 37,15 \text{ (m}^3/\text{s)}$.

III-3. Conclusion :

Ce chapitre nous a conduit au calcul des caractéristiques de notre bassin versant d'oued Tissiar qui influence les cours d'eau ainsi que l'estimation des débits de crue optimaux afin de pouvoir réaliser un aménagement adéquat à la situation des Oueds.

Les résultats obtenus des calculs effectués dans ce chapitre nous montrent que :

- La série pluviométrique s'ajuste bien avec la loi GUMBEL.
- Le débit de crue optimal est estimés a $37,15 \text{ m}^3/\text{s}$.

A decorative orange frame with rounded corners and a slight shadow, containing the chapter title.

Chapitre IV :

Calcul hydraulique

IV-1. Introduction :

Le calcul hydraulique s'inspire de la règle des valeurs extrêmes (débit et vitesse d'écoulement), donc c'est l'étude des écoulements dans les canaux artificiels et naturel sa surface libre ou en charge, dont les canaux doivent satisfaire les conditions de l'évacuation rapide et continue de toutes les quantités des eaux.

L'objectif de ce chapitre est d'étudier l'écoulement des eaux dans l'oued à aménager pour assurer une protection régulière contre les inondations.

IV-2. Généralité sur les canaux :

1. Canaux à ciel ouvert :

On appelle canal, un système de transport dans lequel l'eau s'écoule et dont la surface libre est soumise à la pression atmosphérique. Le profil de meilleure conductivité est le profil qui véhicule le débit maximum. Pour un canal de pente "i" et de coefficient de rugosité "n", La section qui véhicule le débit maximum est celle où le rayon hydraulique est maximum, et la section est minimale. (Vazquez, 2016).

- On distingue deux catégories de canaux :
 - 1) **Les canaux naturels** : Ce sont les cours d'eau qui existent naturellement sur (ou sous) terre, tels que les ruisselets, torrents, rivières, fleuves et estuaires. Les propriétés géométriques et hydrauliques des canaux naturels sont généralement assez irrégulières. L'application de la théorie hydraulique ne donne que des résultats approximatifs obtenus moyennant certaines hypothèses.

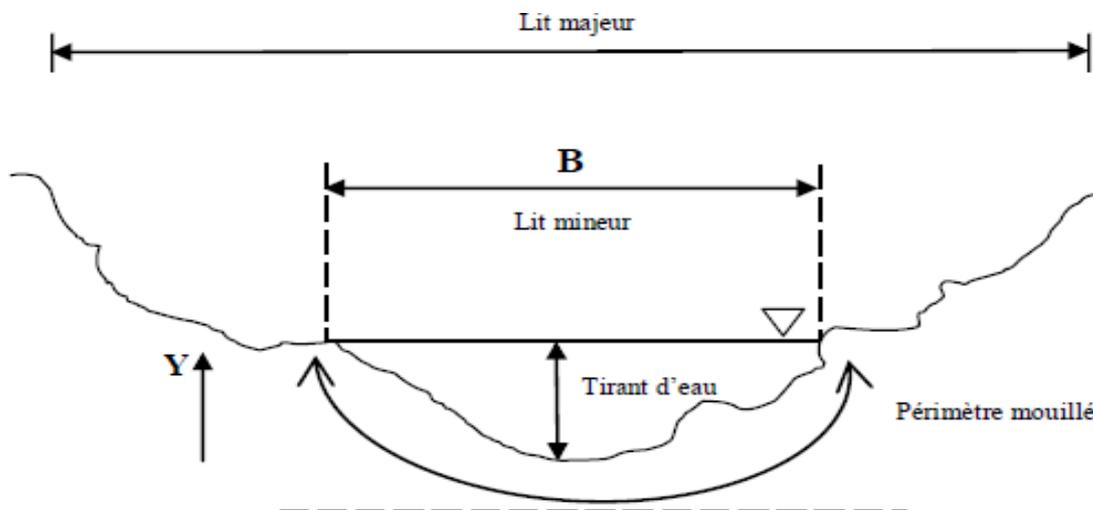


Figure IV-1 : caractéristiques d'un lit d'oued.

- **Section mouillée S_m** : Partie de la section du canal limitée par les parois et la surface libre
- **périmètre mouillé P_m** : Longueur de la surface d'écoulement en contact avec le lit (fond + berges), c'est-à-dire le périmètre de la section d'écoulement moins la largeur au miroir.
- **largeur au miroir B** : Largeur de la section d'écoulement au niveau de la surface libre. La pression du fluide à cette interface est égale à celle de l'atmosphère.
- **tirant d'eau** : Profondeur maximale d'une section d'écoulement ;
- **Rayon hydraulique** : Le rapport entre la section mouillée et le périmètre mouillé.

- **Largeur au radier** : La base du canal ou la largeur de la section mouillée au niveau du fond.
- **Pente d'un canal** : La tangente de l'angle d'inclinaison du lit par rapport à l'horizontale.
- **Canal prismatique** : On dit qu'un canal est prismatique si et seulement si la géométrie de celui-ci est constante dans sa direction longitudinale.

2) **Les canaux artificiels** : Ce sont des cours d'eau réalisés par l'homme sur (ou sous) terre tels que: les canaux découverts construits au ras du sol (canaux de navigation, d'adduction et d'évacuation, d'irrigation et de drainage) ou les canaux couverts dans lesquels les liquides ne remplissent pas toute la section (tunnels hydrauliques, aqueducs, drains, égouts). Les propriétés hydrauliques des canaux artificiels sont généralement assez régulières. L'application de la théorie hydraulique donne souvent des résultats satisfaisants.

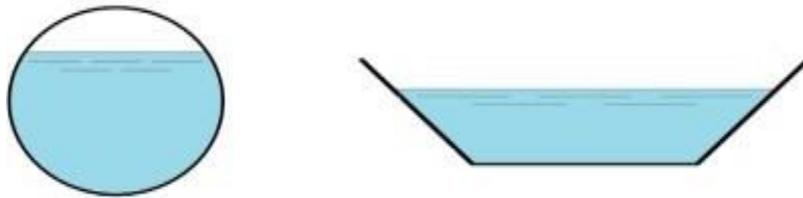


Figure IV-2 : Types de canaux artificiels (ouvert et fermé)
<https://www.yumpu.com/fr/document/view/26805234/ch-5-courbe-de-remous>.

3) **Dimensionnement des canaux**

Pour un écoulement à régime uniforme :

- 1- le débit de l'eau dans chaque section des tronçons proposés est constant.
- 2- le canal est prismatique.
- 3- la profondeur h du courant est constante en sa longueur.
- 4- la pente de chaque section est constante.
- 5- la rugosité des parois est constante.
- 6- les résistances locales sont absentes.

❖ **Les formules de calcul :**

- **Formule de débit :**

$$Q = V * S \dots\dots (IV-1)$$

- S : section d'écoulement.
- V : la vitesse moyenne.

- **Formule de Chézy :**

$$V = C * \sqrt{R * I} \dots\dots (IV-2)$$

Donc on obtient :

$$Q = C * S * \sqrt{R * I} \dots\dots (IV-3)$$

- **C** : coefficient de Chézy ($m^{0.5}/s$).

Tableau IV-1 : Coefficient de Strickler pour divers types de canaux. (Vazquez, 2016).

Nature des parois	Valeur de K en $m^{1/3}/s$
Béton lisse	75-90
Canal en terre, non enherbé	60
Canal en terre, enherbé	50
Rivière de plaine, sans végétation arbustive	35-40
Rivière de plaine, large, végétation peu dense	30
Rivière à berges étroites très végétalisées	10-15
Lit majeur en prairie	20-30
Lit majeur en vigne ou taillis	10-15
Lit majeur urbanisé	10-15
Lit majeur en forêt	<10

- **Vitesse d'érosion :**

Afin éviter tous ruptures du fond et des berges des canaux sur l'action dynamique d'un courant d'eau, la vitesse de celui-ci ne doit pas être supérieure à la vitesse limite maximale. Les valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolidés sont données dans le tableau suivant:

Tableau IV-2 : Valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolidés.

Lit	Vitesse V_{er} (m/s)
Revêtement en branches	1.5-2.0
Pavage de pierre à une couche	2.5-4.0
Pavage de pierre à deux couches	3.5-5.0
Gabions	4.0-6.0
Revêtement en béton	6.0-10.0

- **Le choix de la section de meilleure conductivité**

Le profil de meilleure conductivité est le profil qui véhicule le débit maximum. Pour un canal de pente **Ju** et de coefficient de rugosité **n**, la section qui véhicule le débit maximum **Qmax** est celle où le rayon hydraulique **Rh** est maximal et la section **S** est minimale.

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

On a:

- **Sm** = $\pi.r^2/2$(IV-4)
- **Pm**= $\pi.r$ (IV-5)
- **Rh**= $r/2=h/2$ (IV-6)

Avec:

- **Sm**: section mouille(m^2).
- **Pm** : périmètre mouille(m).

- **R_h** : rayon hydraulique(m).

Mais cette forme plus coûteuse que la forme trapézoïdale et rectangulaire qui présente des simplicités de réalisation.

A cet effet notre choix portera sur la section trapézoïdale et la section rectangulaire dont ses caractéristiques sont:

1) Canal à section trapézoïdale

La géométrie d'un canal à section trapézoïdale permet de véhiculer un débit maximum par rapport les autres sections en plus la variation de la hauteur d'eau est faible pour changement de débit.

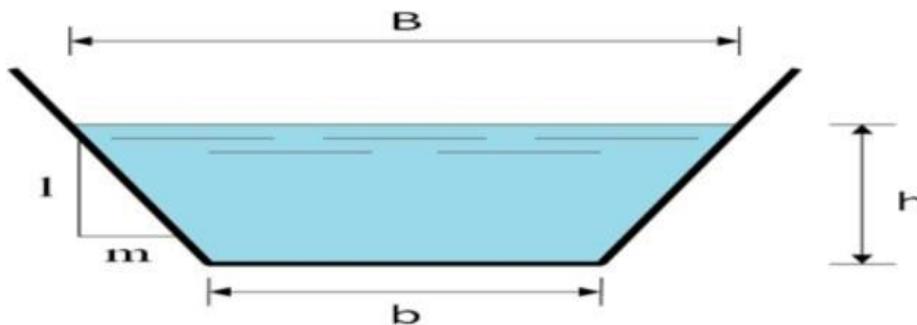


Figure IV-3 : Canal à forme trapézoïdale

(https://fr.wikipedia.org/wiki/Diam%C3%A8tre_hydraulique).

Avec:

- **m** : Le fruit des talus, $m = \cotg \varphi$.
- **h** : Le tirant d'eau maximum (pour Q_{max}), en mètres.
- **B** : La largeur supérieure du canal, en mètre.
- **b** : La largeur inférieure du canal, en mètre.

Tableau IV-3 : Paramètres géométriques d'un canal à section trapézoïdal (Rata, 2019).

Désignation	Expression	Définition
B	$2h (\sqrt{1 + m^2} - m)$	La largeur supérieure du canal
b	$b + 2mh$	La largeur inférieure du canal
S	$h (b + mh)$	La surface mouillée
P	$b + 2h \sqrt{1 + m^2}$	Le périmètre mouillé
R_h	$\frac{h (b + mh)}{b + 2h \sqrt{1 + m^2}}$	Rayon hydraulique
m	$\cotg \varphi$	Fuit de talus, d'après la nature du terrain

- **Forme des profils en travers**

Les canaux en terre ou revêtus sont presque toujours trapézoïdaux

(parfois rectangulaires) et épousent des pentes de talus variables selon la nature de terrain.

Tableau IV-4 : Quelques ordres de grandeur de fruit de talus.

Nature de terrain	Fruit de talus « m »
Rocheux	0,25
Rocheux plus ou moins désagrégé	0.5
Argile dur	0,75
Gravier talus de déblais ordinaire	1
Terrain ordinaire	1.5
Argilo-sablonneux	2
Très sablonneux	3

1) Canal à section rectangulaire:

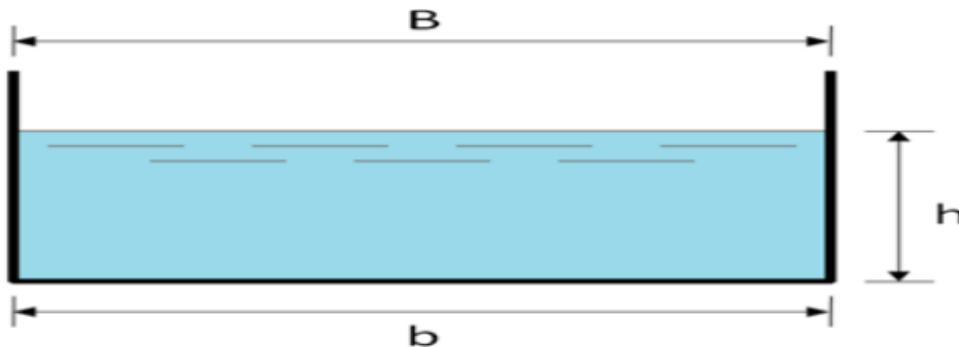


Figure IV-4 : Canal à forme rectangulaire

(https://fr.wikipedia.org/wiki/Diam%C3%A8tre_hydraulique).

Avec:

- **h** : Le tirant d'eau maximum (pour Q_{max}), (m).
- **B** : La largeur supérieure du canal (m).
- **b** : La largeur inférieure du canal (m).
- **B = b** parce que $m = 0$.

On définit la surface mouillée **Sm** et le périmètre mouillé **Pm** par :

- **Sm = h x b** (IV-7)
- **Pm = b + 2xh** (IV-8)

▪ **Calcul de la profondeur normal h_n :**

La détermination de la profondeur normale se fait par plusieurs méthodes :

- **La méthode graphique.**
- **La méthode itérative.**
- **La méthode de BAKHMITEFF.**

▪ **Calcul de la profondeur critique h_{cr} :**

Ce calcul se fait aussi par plusieurs méthodes sont :

- **La méthode graphique.**
- **La méthode d'AGROSKINE.**

- **La méthode itérative.**

Calcul de la pente critique :

Cette pente correspondant à la profondeur critique. Elle est donnée par la formule suivante :

$$Q = C.S_{cr} \cdot \sqrt{R + I} \dots\dots(IV-9)$$

$$I_{cr} = \frac{Q^2}{C^2.S_{cr}^2.R_h} \dots\dots (IV-10)$$

IV-3. Généralités sur les écoulements :

- 1) **L'écoulement à surface libre :** Est défini comme un écoulement de liquide, avec une surface qui est en contact, avec l'air libre est la pression atmosphérique, ce cas d'écoulement se fait sous l'action de la force de gravité à cause de l'existence de la pente.

- **Variabilité dans le temps :**

1. **Ecoulement permanent :** Est défini lorsque ces paramètres : vitesse, débit et profondeur restent invariables dans le temps en grandeur et en direction.

C'est -à-dire :

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dQ}{dt} = \frac{dh}{dt} = \frac{du}{dt} = 0 \dots\dots (IV-11)$$

2. **L'écoulement non permanent :** Est défini lorsque ces paramètres : vitesse, débit et profondeur se varient dans le temps en grandeur et en direction.

C'est -à-dire :

$$\frac{dv}{dt} \neq \frac{dQ}{dt} \neq \frac{dh}{dt} \neq \frac{du}{dt} \neq 0 \dots\dots (IV-12)$$

- **Variabilité dans l'espace :**

3. **L'écoulement uniforme :** Est défini lorsque ces paramètres : vitesse, pente, rugosité, profondeur et section restent invariables dans l'espace.

C'est-à-dire :

$$\frac{dv}{dx} = \frac{di}{dx} = \frac{dh}{dx} = \frac{ds}{dx} = 0 \dots\dots (IV-13)$$

4. **L'écoulement non uniforme :** Est défini lorsque ces paramètres : vitesse, pente, rugosité, profondeur et section se varient dans l'espace.

C'est-à-dire :

$$\frac{dv}{dx} \neq \frac{di}{dx} \neq \frac{dh}{dx} \neq \frac{ds}{dx} \neq 0 \dots\dots (IV-14)$$

- **On distingue deux types :**

- 1) **Ecoulement non uniforme graduellement varié :** lorsque la variation de hauteur dans la direction d'écoulement est très faible typiquement si x désigne une longueur

d'écoulement et Δh une variation de hauteur, on a $\frac{\Delta h}{x} \ll 1$.

2) **Écoulement non uniforme rapidement varié** : lorsque la variation de hauteur dans la direction d'écoulement est très importante (Vazquez, 2016).

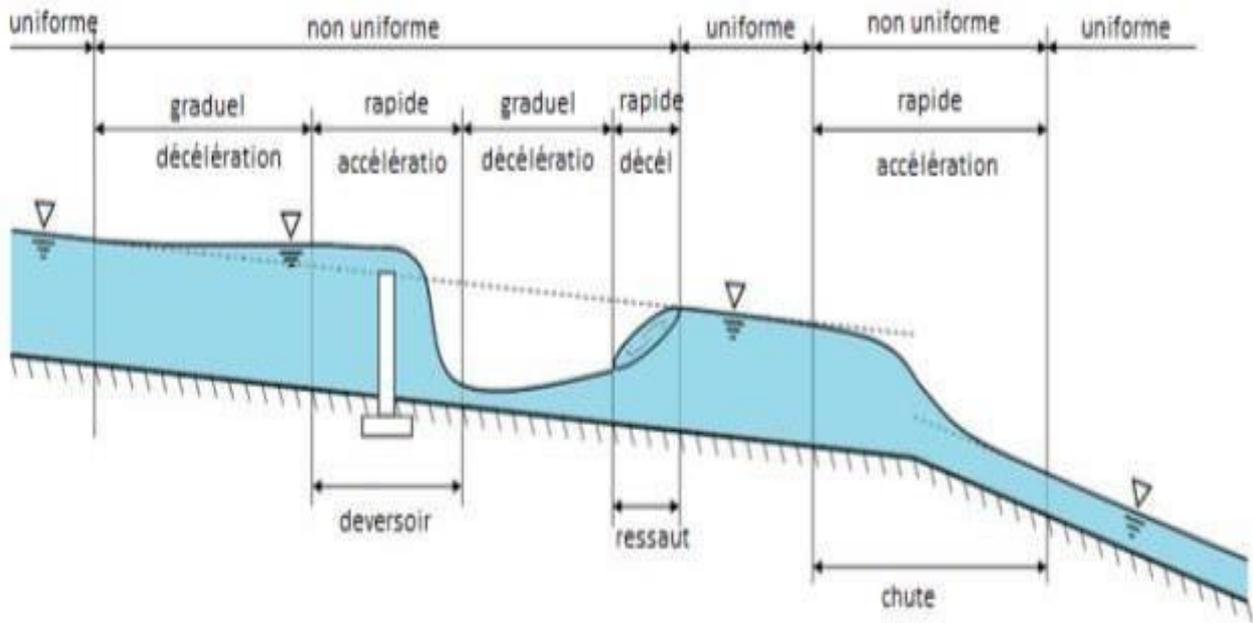


Figure IV-5 : Schéma illustrant les différents types d'écoulements (https://fr.wikipedia.org/wiki/Diam%C3%A8tre_hydraulique).

2) Régime d'écoulement :

L'écoulement d'un fluide engendre les forces d'inertie, de gravité et de frottement. Les équations réduites du mouvement font intervenir des coefficients ou des nombres adimensionnels suivants :

- **Le nombre de Froude** : est le rapport entre les forces de pesanteur et les forces

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}} \quad \text{(IV-15)}$$

d'inertie :

- **Le nombre de Reynolds** : est le rapport entre les forces de frottement et les force d'inertie.

- **La rugosité relative** : est le rapport entre la hauteur de la rugosité et une longueur caractéristique.

➤ **Le rôle du nombre de Reynolds** : est de permettre le classement des écoulements comme suit :

- ❖ **Écoulement laminaire** : $Re < 500$.
- ❖ **Écoulement transitoire** : $500 < Re < 2000$.
- ❖ **Écoulement turbulent** : $Re > 2000$.

Dans la pratique on rencontre en générale que des écoulements turbulents, souvent rugueux.

➤ **Le rôle du nombre de Froude** : est de permettre le classement des écoulements comme suit :

- ❖ **Écoulement fluvial** : $Fr < 1$
- ❖ **Écoulement torrentiel** : $Fr > 1$
- ❖ **Écoulement critique** : $Fr = 1$

Par conséquent, les effets du nombre de Reynolds et du nombre de Froude donnent quatre régimes d'écoulement :

- ❖ **Fluvial-Laminaire** : $Fr < 1, Re < 500$
- ❖ **Fluvial-Turbulent** : $Fr < 1, Re > 2000$
- ❖ **Torrentiel-Laminaire** : $Fr < 1, Re < 500$
- ❖ **Torrentiel-Turbulent** : $Fr > 1, Re > 2000$

Finalement, un écoulement uniforme ou variant graduellement peut être caractérisé selon son régime : fluvial, critique ou torrentiel.

3) Calcul de la ligne d'eau :

- **Equation de la ligne d'eau :**

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

En basant sur l'équation d'énergie : $H = Z + V^2 / 2g + h$ (IV-16)

Et sur l'équation de la continuité : $Q = V / S$ (IV-17)

En dérivant l'équation (IV-16) par rapport à x , on trouve :

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dZ}{dx} + \frac{d}{dx} \left(\frac{(Q/S)^2}{2g} \right) + \frac{dh}{dx} \text{ (IV-18)}$$

Tel que :

$$\frac{dz}{dx} = -J_f \text{ (IV-19)}$$

$$\frac{dH}{dx} = -J_e = - \frac{(Q/S)^2}{C^2 \cdot R_h} \text{ (IV-20)}$$

- **Les différentes formes de courbe de remous :**

Les différentes formes de courbe de remous :

Les courbes représentant la ligne d'eau d'un tel mouvement sont généralement appelées courbes de remous. D'après la formule (IV-2) on a :

$$\frac{Q}{\sqrt{I}} = S \cdot C \cdot \sqrt{R_h} = K \text{ (IV-21)}$$

$$S_n \cdot C_n \cdot \sqrt{R_h} = K_n \text{ (IV-22)}$$

Avec :

$$Fr^2 = \frac{(Q/S)^2}{g \cdot S / B} \text{ (IV-23)}$$

$J_f = i =$ pente de fond

$$\frac{dh}{dS} = J \frac{1 - \left(\frac{h_n}{h}\right)^2}{1 - Fr^2}$$

D'autre par: (IV-24)

Pour les différentes valeurs de pente du fond et pour un débit constant on a :

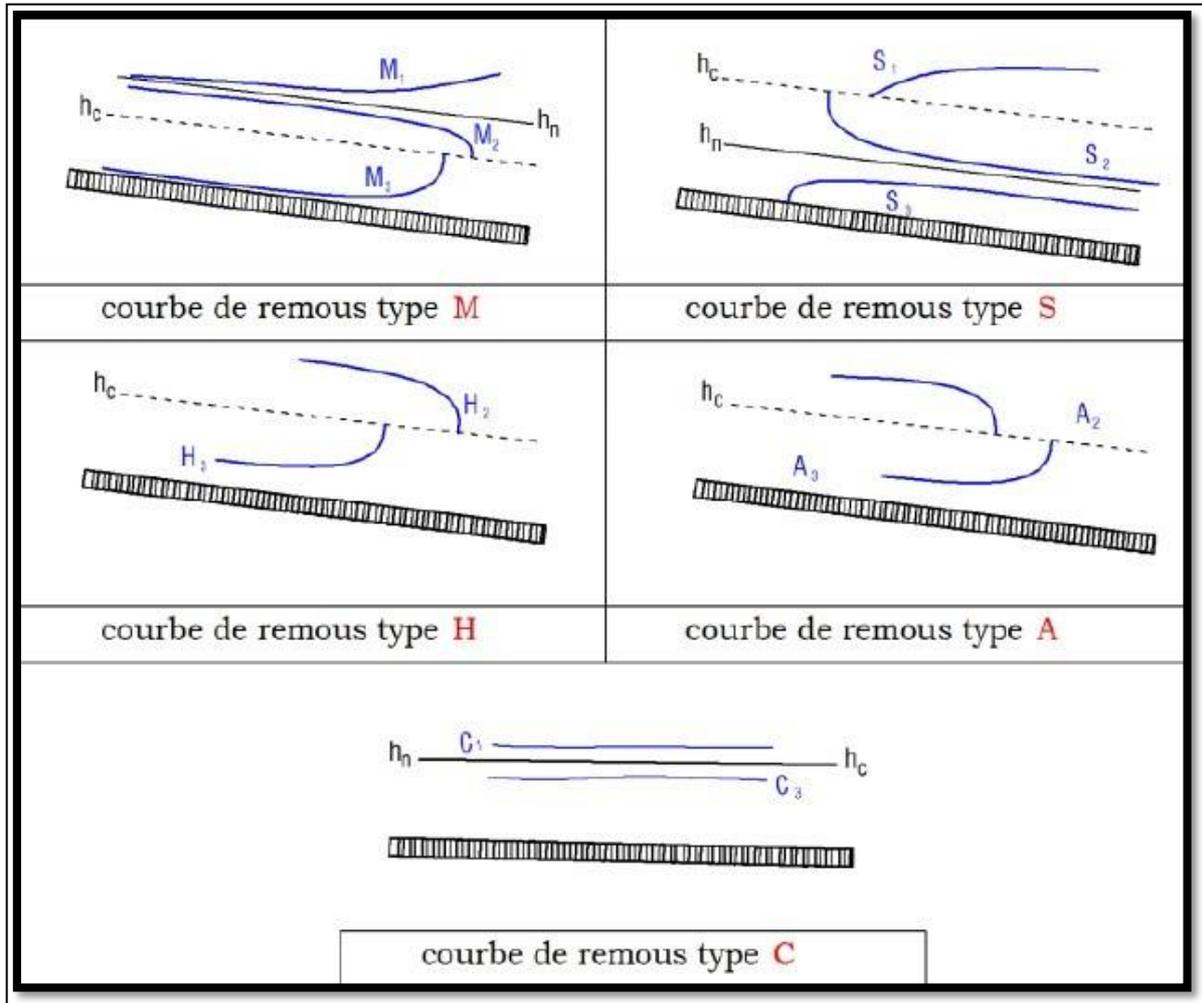


Figure IV-6 : Différents courbes de Remous

(<https://www.yumpu.com/fr/document/view/26805234/ch-5-courbe-de-remous>).

Tableau IV-5 : Les différentes formes de courbes de remous

Conditions	$Kn/K = \frac{h_n}{h}$	Signe de numérateur	$Fr = \frac{hc}{h_n}$	Signe de d'énomérateur	Signe de $\frac{dh}{dx}$	Nom de la courbe
------------	------------------------	---------------------	-----------------------	------------------------	--------------------------	------------------

$i > 0$ $i < i_c$ $h_n > h_c$	< 1	+	< 1	+	+	M1
	< 1	+	> 1	-	-	
	> 1	-	< 1	+	-	M2
	> 1	-	> 1	-	+	M3
$i > 0$ $i < i_c$ $h < h_n$	< 1	+	< 1	+	+	S1
	< 1	+	> 1	-	-	S2
	> 1	-	> 1	-	+	S3
$i > 0$ $i = i_c$ $h_n = h_c$	< 1	+	< 1	+	+	C1
	> 1	-	> 1	-	+	C3
$i = 0$ $h_n \Rightarrow 0$		-	< 1	+	-	H2
		-	> 1	-	+	H3
$i < 0$ $h_n \Rightarrow 0$		-	< 1	+	-	A2
		-	> 1	-	+	A3

3) Calcul du ressaut :

Le ressaut hydraulique c'est un phénomène de dissipation d'énergie, il est inversible, se produit si un écoulement passe brusquement du régime sur critique $Fr > 1$ (amont), au régime sous critique $Fr < 1$ (aval).

Il se manifeste par une brusque surélévation (discontinue) du niveau d'eau ($h_2 - h_1$), sur une très courte distance.

Il est accompagné par des mouvements très turbulents avec des instabilités à la surface.

Le ressaut provoque une dissipation importante de l'énergie mécanique ($HRH = HS_2 - HS_1$), donc il se représente sous la forme d'une barre d'écume déferlant en rouleaux.

Les principales caractéristiques d'un ressaut sont les suivantes :

- Hauteurs conjuguée ($h'' - h'$).
- Hauteur de ressaut ($h'' - h'$).
- La longueur approximative du ressaut (L_{RH}).

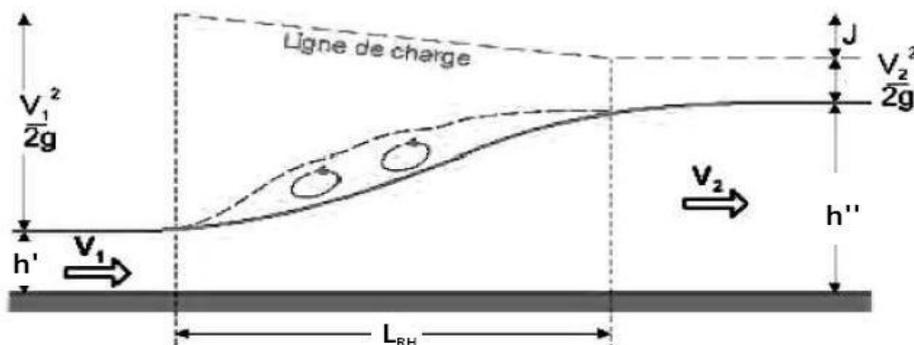


Figure IV-7 : schéma d'un ressaut hydraulique.

(https://fr.wikipedia.org/wiki/Diam%C3%A8tre_hydraulique).

Selon le nombre de FROUDE "**Fr** ", un ressaut peut correspondre à différents types d'écoulement. On peut avoir donc:

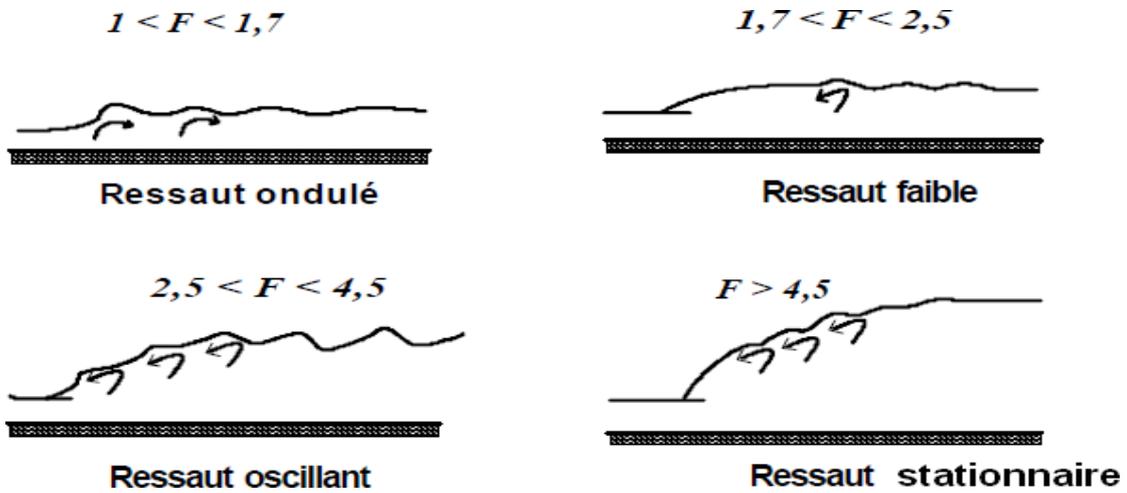


Figure IV-8 : Typologie des ressauts

(<https://www.yumpu.com/fr/document/view/26805234/ch-5-courbe-de-remous>).

Tableau IV-6 : Différents types de ressaut.

type de ressaut	valeurs de Fr	Observation
· Prés ressaut (ressaut ondulé)	1 - 1,7	La surface présente des ondulations, les hauteurs conjuguées sont trop proches de la hauteur critique h_{cr}
· Un ressaut faible	1,7 - 2,5	Des petits rouleaux apparaissent
· Un ressaut oscillant	2,5 - 4,5	Le jet oscille tantôt vers le fond, tantôt vers la surface du canal
· Un ressaut stationnaire	4,5 - 9	Forte dissipation d'énergie
· Un ressaut fort	> 9	jet rapide est perturbé par la retombée des rouleaux et induit des ondes importantes vers l'aval,

Si le nombre de FROUDE "Fr" est supérieur à (4,5), et suivant la vitesse d'écoulement, un bassin d'amortissement est projeté à fin de minimiser la longueur du ressaut, d'assurer une efficacité de contrôle et sans provoquer des effets indésirables dans le lit du canal.

C'est seulement en réalisant ces objectifs que le potentiel d'énergie mécanique peut être contrôlé entièrement et économiquement, sans imposer de restriction sur l'écoulement à l'amont et à l'aval du dissipateur.

IV-4. Modélisation de l'écoulement :

1. Présentation du logiciel Hec-Ras : Système d'analyse des rivières du centre d'ingénierie hydrologique est un logiciel de modélisation hydraulique destiné à simuler l'écoulement dans les cours d'eau et les canaux tout en prenant en compte des phénomènes d'influence aval.

Les données d'entrées se caractérisent par leurs particularités du réseau (nœud, conduites, ...), les découpages en bassins versant (débit d'apport, ...) et par des données pluviométriques (hydrogrammes en régime transitoire, débit de projet en régime permanent).

Les résultats peuvent être exploités sous forme de tableaux (hauteur, vitesse, débits, volume, pour chaque ouvrage), par des résultats graphiques (vue en plan, profil en long) ou par une vision dynamique. (U.S. Army Corps of Engineers) (2010).

Les calculs des différents paramètres hydrauliques effectués par le logiciel Hec-Ras sont basés sur les équations d'hydraulique à surface libre (Saint-Venant 1D, Manning-Strickler...).

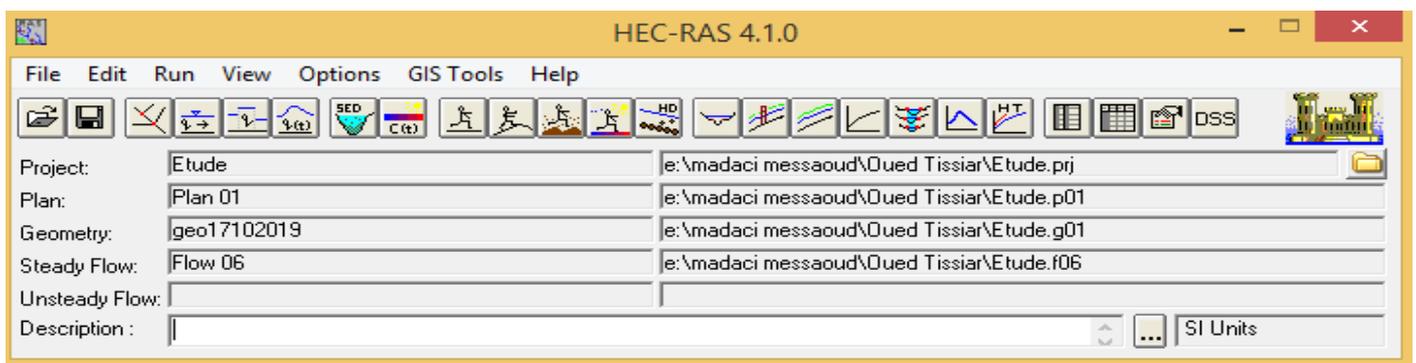


Figure IV-9 : Fenêtre d'accueil du logiciel HEC-RAS

- **Les étapes de simulation par HEC-RAS** : Avant de commencer il faut créer un nouveau projet qui consiste à choisir un nom, un titre et l'emplacement du fichier.
 1. **Modélisation de la rivière (données géométriques)** : La modélisation de la rivière consiste à définir la géométrie des oueds étudiés tel que les sections en travers (largeur, profondeur...), et les données d'ouvrages d'art ou hydraulique existants (pont, déversoir ...).

La saisie des données géométriques se fait en deux étapes distinctes :
- **le traçage du schéma de système de rivières** : Le schéma de système de rivière est un diagramme représentatif du réseau hydrographique d'une manière plus au moins réelle en prenant en considération les méandres (sinuosités) de la rivière. Il est tracé tronçon par tronçon, de l'amont vers l'aval (dans le sens d'écoulement positif).
- **la saisie des données pour les sections en travers du cours d'eau et les ouvrages hydrauliques** : Ces données incluent :
 - **Les coordonnées X et Y de la section** : chaque point de la section en travers doit être identifié par sa distance par rapport à un point de référence et son élévation.
 - **La distance à la section suivante** : c'est la longueur décrivant la distance entre la section courante et la prochaine section aval. Ces distances sont définies pour la rive gauche, le canal principal, et la rive droite.
 - **Les valeurs de rugosité n de Manning** : la valeur de la rugosité ou le coefficient de Manning n est indiqué pour la rive gauche, le canal principal, et la rive droite. Nous avons utilisé des valeurs de n suivant les repères dans le levé topographique. Ces valeurs sont tirées du manuel d'utilisation de HEC-RAS.
 - **Situation des rives du canal principal (lit mineur)** : les stations des rives du canal principal, sont employées pour séparer le lit mineur des deux parties du lit majeur en rive gauche, et rive droite.
 - **Coefficients de contraction et d'expansion** : les coefficients de contraction et d'expansion sont utilisés pour évaluer la quantité de perte d'énergie qui se produit en raison d'une contraction ou d'une expansion d'écoulement.
- **Estimation de la rugosité n de Manning** : Les valeurs de rugosité choisies pour le lit (lit mineur) et les terrasses d'inondations (lit majeur) de l'oued sont généralement considérées biaisées (avec une certaine marge d'erreur) pour toute variable hydraulique ou hydrologique du modèle hydraulique étudié. Le choix d'une valeur de n est considéré comme un art plutôt qu'une science et il n'existe pas de règle solide et précise permettant à l'ingénieur hydraulicien de définir avec exactitude (avec un degré de confiance élevé) la valeur de n pour une situation hydraulique donnée. Les facteurs qui affectent la rugosité des lits d'oued comprennent :
 - Matériaux de lits et dimension moyenne de particules solides.
 - Irrégularités des surfaces des lits d'oued.
 - Formes des lits d'oued (comme les rides, dunes, chutes et autres).
 - Caractéristiques d'érosion et de sédimentation.
 - Tendances à la formation de méandres.
 - Obstacles à l'écoulement (arbres déracinés, souches d'arbres, remblais et autres).
 - Changement dans la géométrie entre les sections d'oueds.
 - Végétation sur les terrasses d'inondations et le lit mineur de l'oued.

Les sections transversales ont été tirées à partir du levé topographique à l'aide du logiciel **Civil 3D**, ou nous avons définis les différents axes de chaque oued ainsi que leurs rives gauches et droites.

Ensuite nous avons procédé à une tabulation automatique, dont nous avons fixé les équidistances entre deux sections transversales à 100 m, et la largeur d'une section transversale à 10m. A la fin les sections transversales ont été exportés automatiquement aHec-Ras.

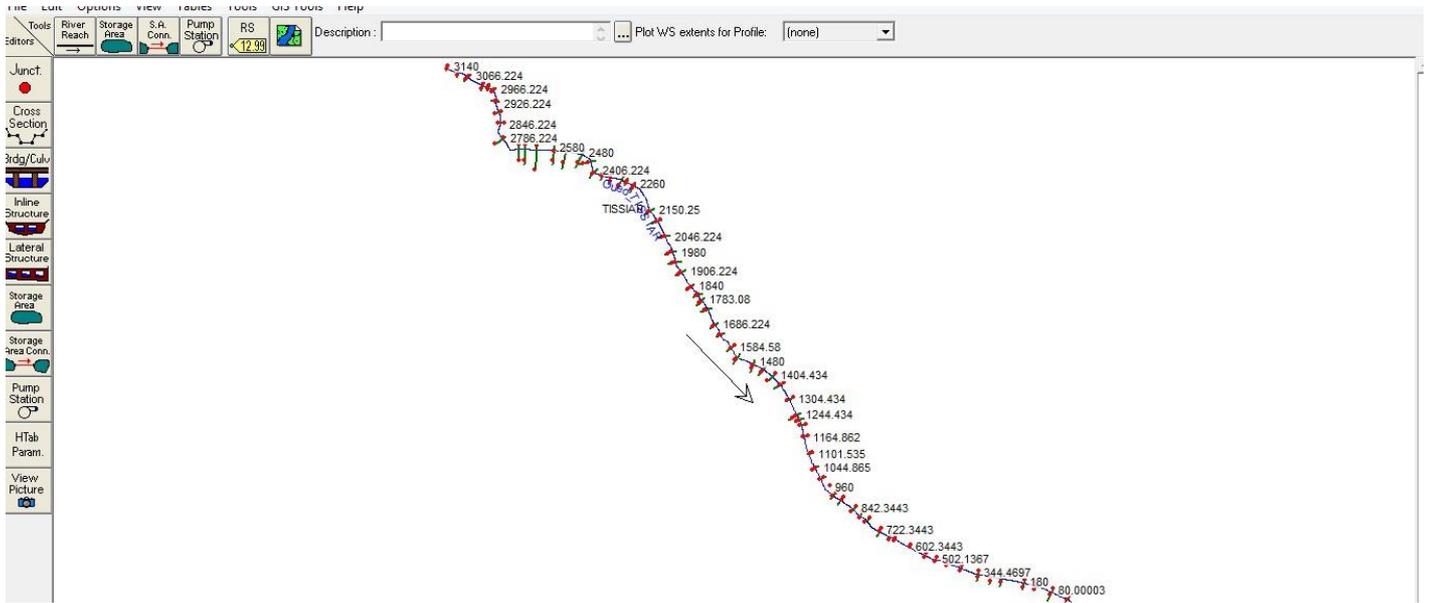


Figure IV-10 : Les profils en travers des oueds Tissiar

2. **Les données de l'écoulement et les conditions aux limites** : Après avoir saisi les données géométriques de chaque section, l'étape suivante de la modélisation hydraulique par HEC-RAS est de spécifier les débits d'entrée et toutes les conditions aux limites nécessaires pour pouvoir exécuter le calcul des profils de la surface de l'eau en chaque section du système de rivière.

- **Données d'écoulement** : Les données d'écoulement sont saisies de l'amont à l'aval pour chaque tronçon. Une valeur d'écoulement est écrite à l'extrémité en amont du système de rivière. Le débit appliqué est le résultat de la simulation hydrologique retenue en utilisant le modèle HEC-RAS pour le débit de 100 ans.

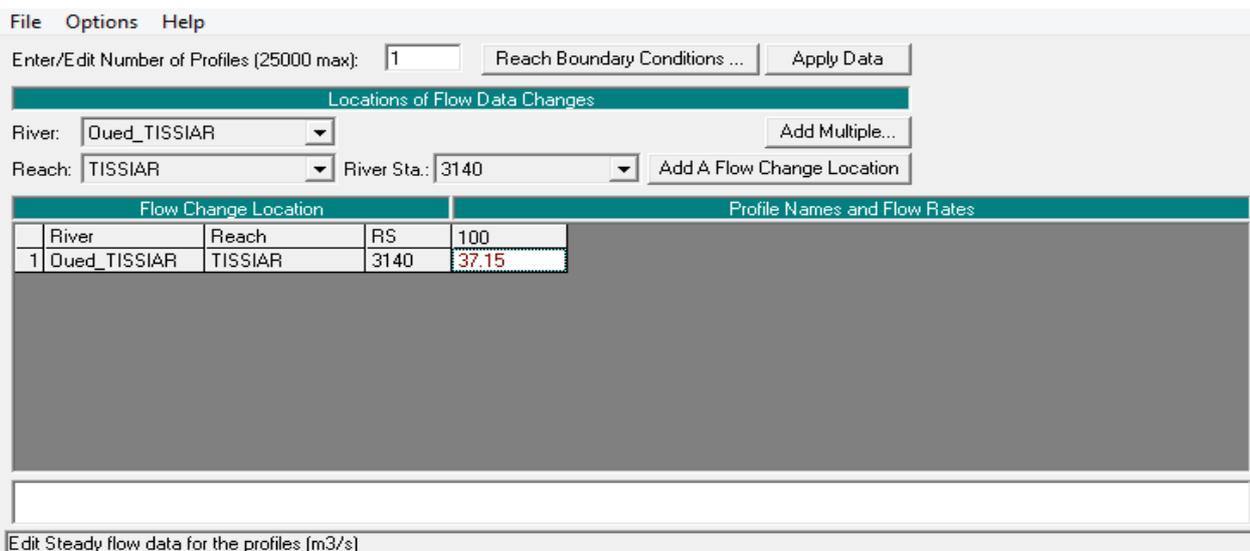


Figure IV-11 : Définition de la crue et des conditions aux limites

- **Condition aux limites** : Les calculs peuvent être effectués pour plusieurs débits simultanément, soit en régime torrentiel, soit en régime fluvial, ou pour les deux régimes d'écoulements. Dans

ce dernier cas, HEC-RAS utilise l'équation de quantité de mouvement pour déterminer les changements de régime torrentiel fluvial.

Dont notre débit est de $37.15 \text{ m}^3/\text{s}$ donner par la loi de MALLET-GAUTIER pour une période de retour de 100ans.

- **Simulation :** Après avoir introduire les données géométriques, hydrométrique et les conditions aux limites, nous devons choisir un régime fluvial, torrentiel ou mixte pour effectuer le calcul. Dans notre cas on suppose un régime mixte et on lance la simulation.

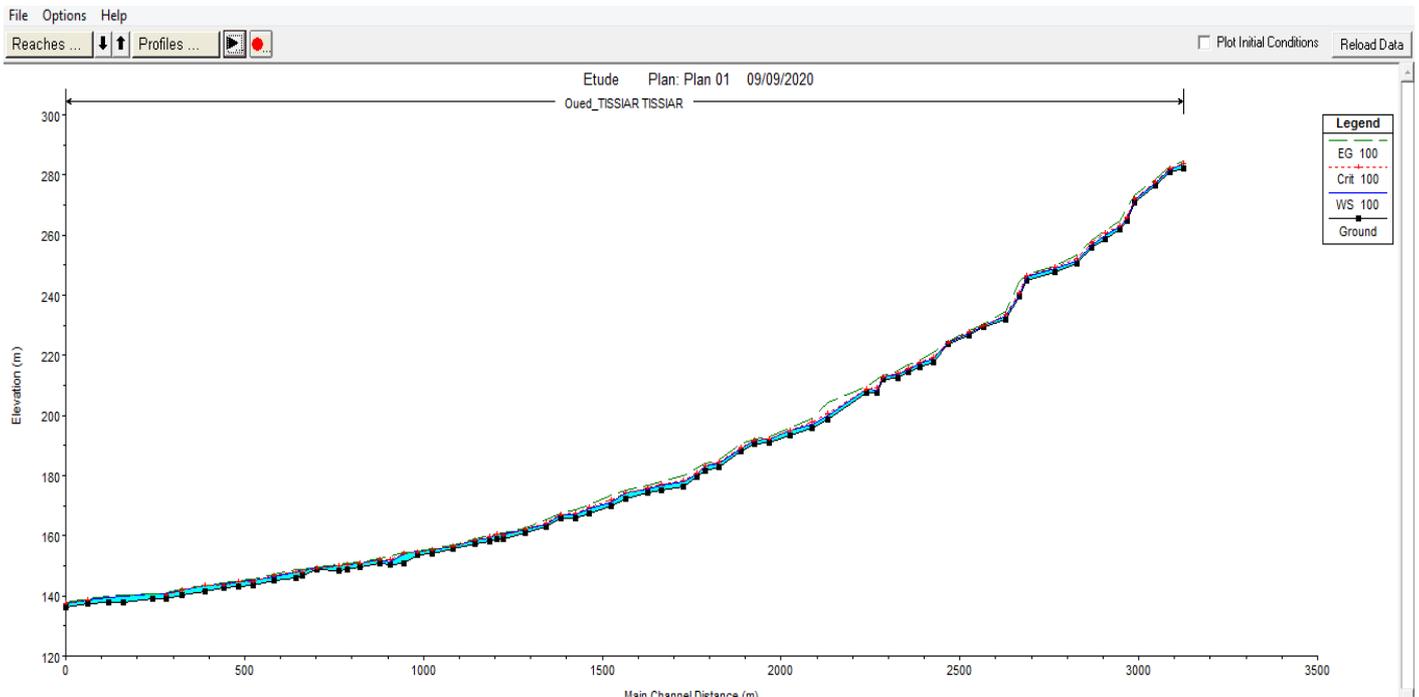


Figure IV-12 : Profil en long d’Oued Tissiar après la simulation.

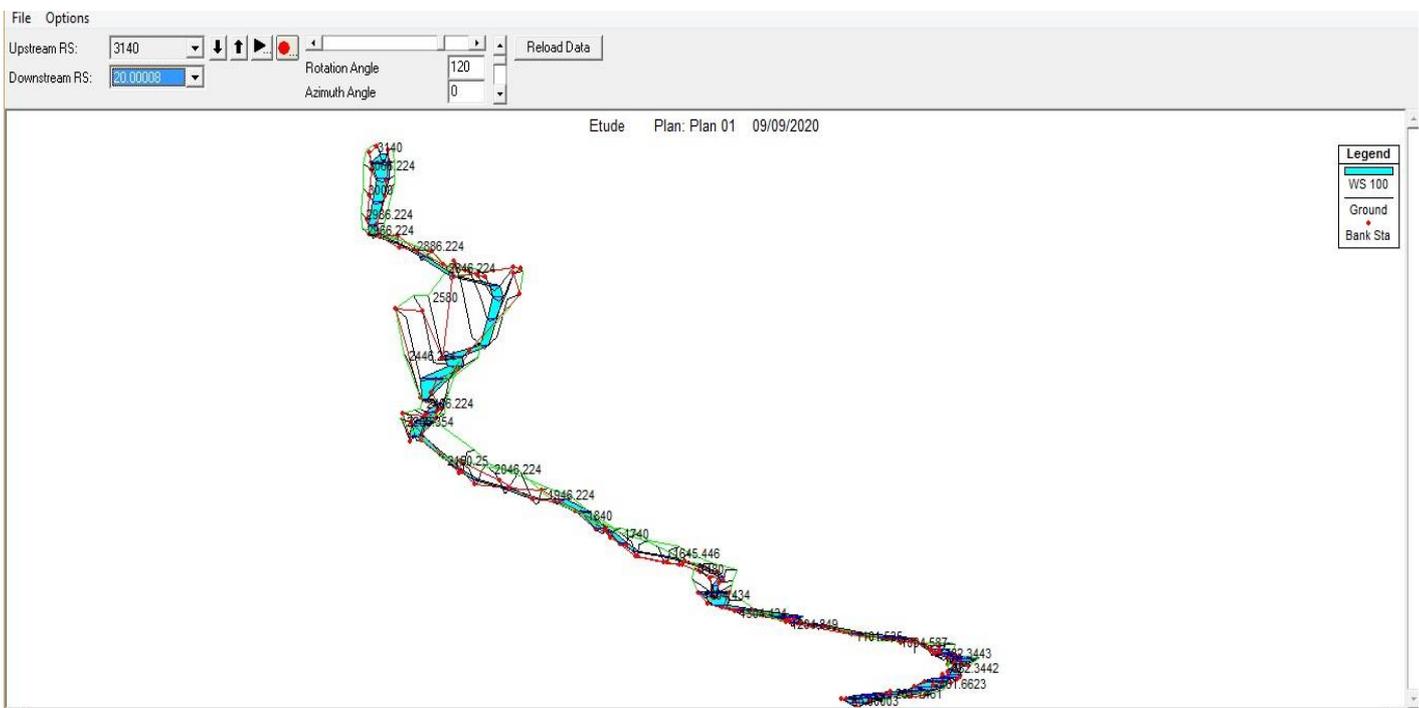


Figure IV-13 : Vue en plan en 3D d’oued Tissiar.

Les figures suivantes représentent les sections en travers d’oued Tissiar et les autres sections sont présentées en annexe.

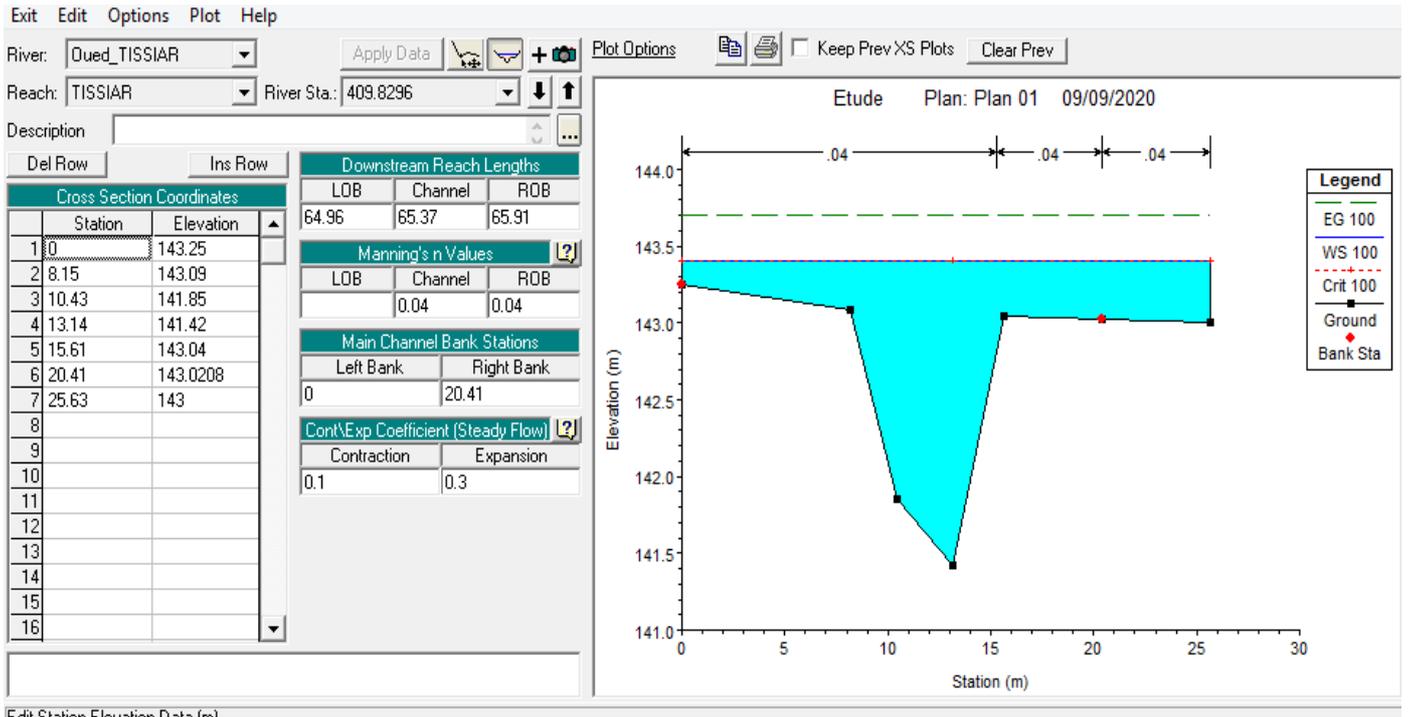


Figure IV-14 : Section en travers (63) d' oued Tissiar et résultats de simulation (Pour une période de retour de 100ans).

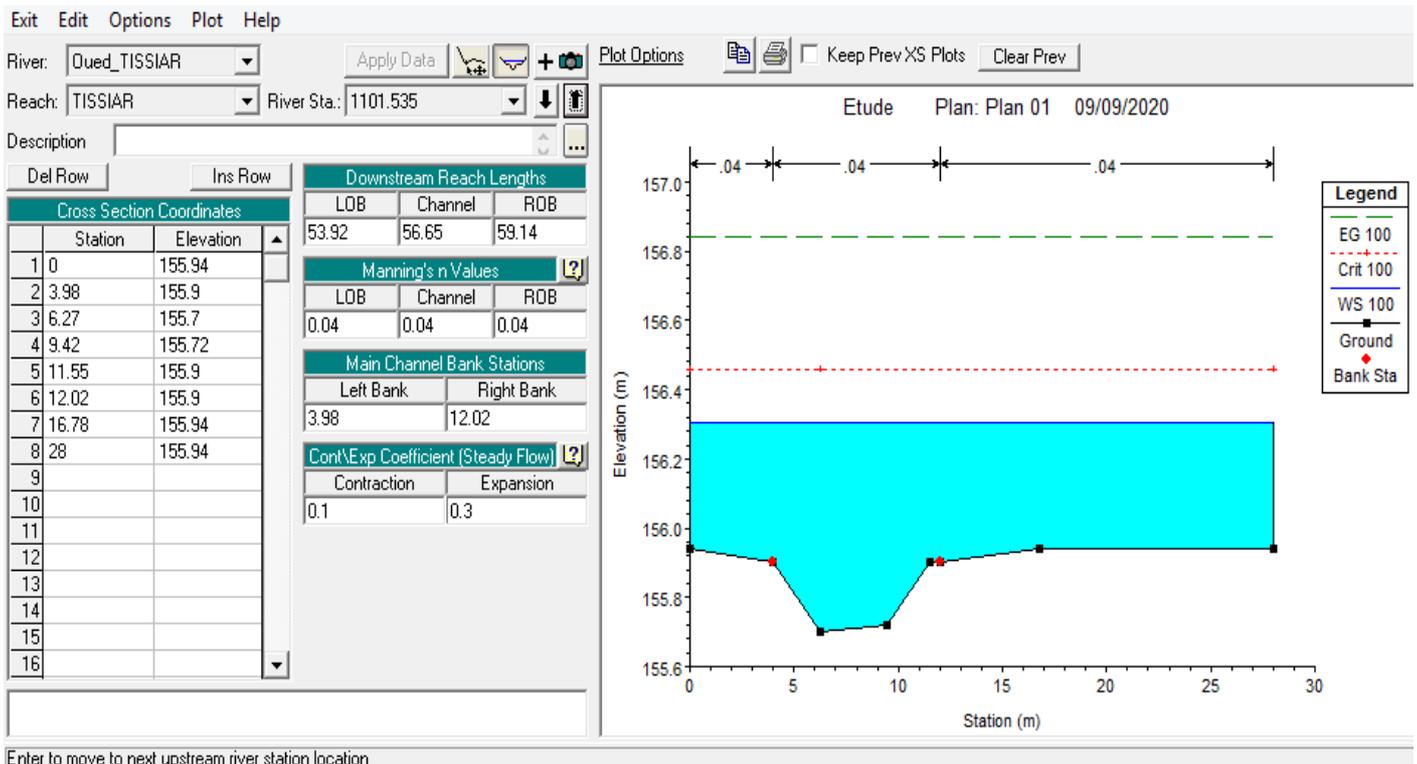


Figure IV-15 : Section en travers (47) d' oued Tissiar et résultats de simulation (Pour une période de retour de 100ans).

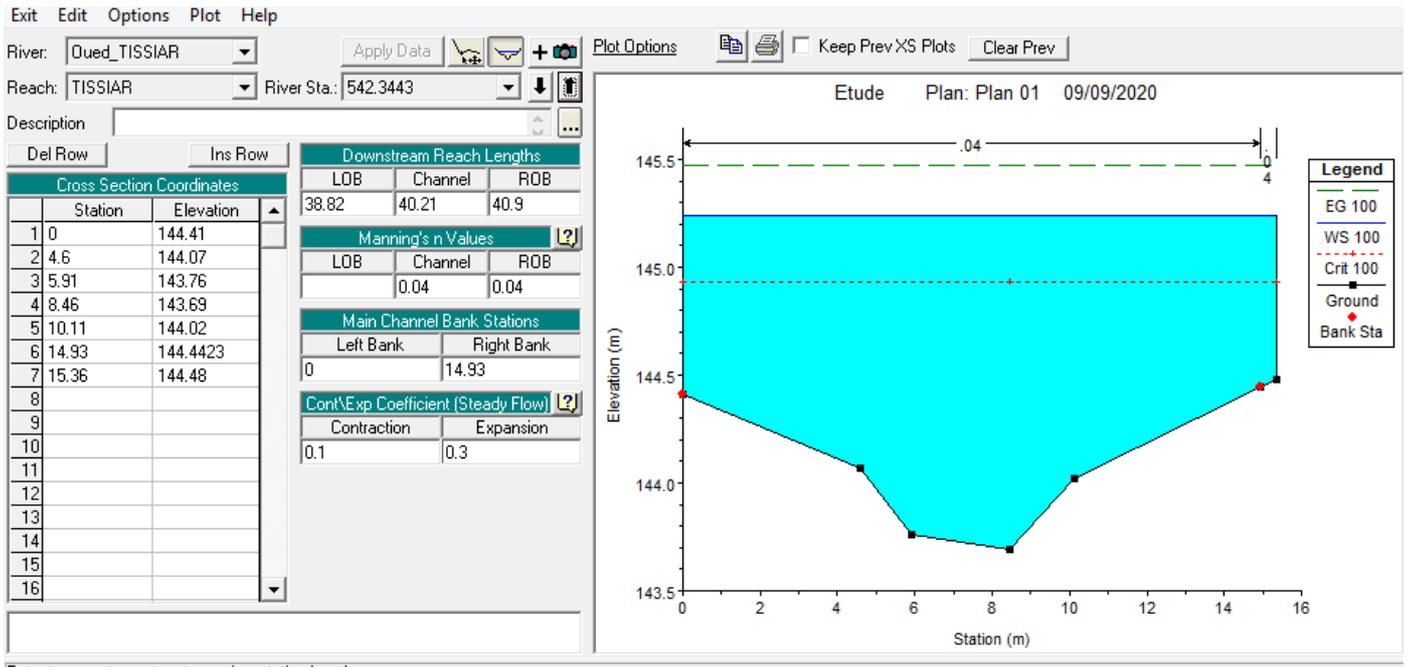


Figure IV-16 : Section en travers (61) d’ oued Tissiar et résultats de simulation (Pour une période de retour de 100ans).

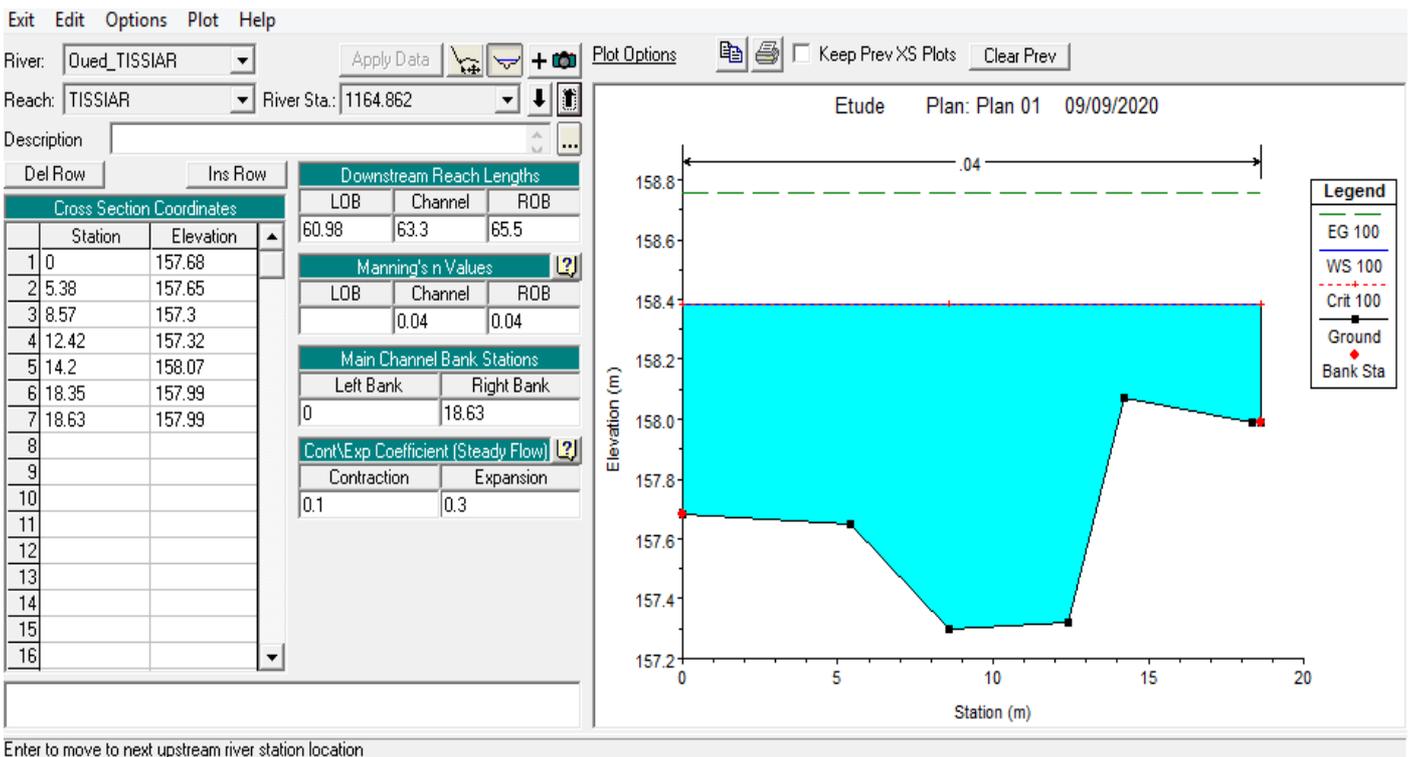


Figure IV-17 : Section en travers (46) d’ oued Tissiar et résultats de simulation (Pour une période de retour de 100ans).

- **Interprétation :** Pour une période de retour de 100ans on a :
 - La vitesse d’écoulement moyenne dans l’Oued est entre 0.53 et 4.2m/s.
 - La hauteur d’eau moyenne varie entre 0.9m et 2.8m.
 - Le nombre de Froude varie entre 0.88 et 2.6.

IV-5. Conclusion :

D'après cette étude hydraulique par la simulation avec le logiciel HEC-Ras sur notre oued d'Akbou (oued Tissiar), nous avons conclu qu'il est nécessaire d'effectuer un aménagement vu que la présence d'un risque de débordement le long de l'oued pour la protection humaine, des biens et de l'environnement.

A decorative orange frame with rounded corners and a thin border, containing the chapter title.

Chapitre V :

Choix de variante

V-1. Introduction :

Dans ce chapitre nous allons proposer des variantes d'aménagement pour notre oued, basées sur les résultats du calcul hydraulique effectué dans le chapitre précédent.

Processus de l'aménagement dans le cadre de l'étude :

Les variantes ont été sélectionnées dans le souci de protéger les localités de la ville de Akbou contre les inondations, par l'évacuation des eaux des crues vers l'exutoire, en respectant toutes les conditions d'écoulement, de stabilité des berges et n'oubliant pas l'impact de cet aménagement sur l'environnement. Donc le choix de variante se détermine par de différents processus (Boumar, 2019).

V-2-1. Les différents types d'aménagements :

- **Rééquilibrage :** Permet l'élargissement et l'approfondissement des sections des cours d'eau pour augmenter leur capacité d'évacuation des eaux et assurer une section mouillée répondant aux critères de protection désirée.
- **Curage :** Il s'agit de nettoyer le cours d'eau des sédiments, pour diminuer la rugosité et accroître la débitance.
- **Protection des berges :** Suite à une crue importante les berges de l'oued seront soumises à des courants perturbateurs d'eau, ces derniers provoquent le transport de quelques parties de terre, ainsi le glissement de terre due aux infiltrations des eaux après la crue, cela nécessite des ouvrages qui maintiennent la stabilité des terres.
- **Réalisation des canaux :** Il s'agit de régénérer le couloir d'oued avec des différents matériaux de différentes structures.
- **Création de canaux périphériques :** Permet une déviation des cours d'eau, dans le but de restituer la totalité ou une partie des eaux vers des zones situées en dehors des aires à protéger.

V-2-2. Les formules de dimensionnement des canaux :

Pour le dimensionnement on utilise la formule de Manning-Strickler, donnée par la relation suivante :

$$Q = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S^{1/2} \dots \dots (V-1)$$

Avec :

- **Q :** débit de dimensionnement (m³/s).
- **n :** rugosité du canal.
- **Sm :** section mouillée du canal (m²).
- **I :** pente du tronçon de cours d'eau (m/m).
- **Rh :** rayon hydraulique (m) tel que Rh=Sm/Pm.

Le tableau suivant donne les formules des éléments géométriques pour cinq différents types de section de canaux:

Surface S	$S = m.h^2$	$S = bh + m.h^2$	$S = Bh - \frac{(B-b)^2}{4m}$	$S = \frac{D^2}{4}(\delta - \sin \delta \cos \delta)$	$S = Dh + D^2 \left(\frac{\pi}{8} - \frac{1}{2} \right)$	
Périmètre mouillé P	$P = 2h\sqrt{1+m^2}$	$P = b + 2h\sqrt{1+m^2}$	$P = 2h + b + \frac{(B-b)(\sqrt{1+m^2}-1)}{m}$	$P = D\delta$	$P = 2h + D \left(\frac{\pi}{2} - 1 \right)$	
Rayon Hydraulique R_h	$R_h = \frac{mh}{2\sqrt{1+m^2}}$	$R_h = \frac{bh + mh^2}{b + 2h\sqrt{1+m^2}}$	$R_h = \frac{S}{P}$	$R_h = \frac{D}{4} \left(1 - \frac{\sin \delta \cos \delta}{\delta} \right)$	$R_h = \frac{S}{P}$	
Largeur B	$B = 2mh$	$B = b + 2mh$	B	$B = D \sin \delta$	$B = D$	
Profondeur hydraulique D_h	$D_h = \frac{h}{2}$	$D_h = \frac{bh + mh^2}{b + 2mh}$	$D_h = \frac{S}{B}$	$D_h = \frac{D(\delta - \sin \delta \cos \delta)}{4 \sin \delta}$	$D_h = \frac{S}{B}$	
$S.y_G$	$Sy_G = \frac{mh^3}{3}$	$Sy_G = \left(\frac{b}{2} + \frac{mh}{3} \right) h^2$	$Sy_G = \frac{Bh^2}{2} - \frac{h(B-b)^2}{4m} + \frac{(B-b)^3}{24m^2}$	$Sy_G = \frac{D^3}{8} \left(\frac{\sin \delta - \frac{\sin^3 \delta}{3}}{\delta \cos \delta} \right)$	$Sy_G = \frac{D}{2} \left(h - \frac{D}{2} \right)^2 + \frac{\pi D^2}{8} \left(h - \frac{D}{2} \right) + \frac{D^3}{12}$	

Figure V. 1 : Eléments géométriques pour des sections ouvertes diverses (Vazquez, 2016).

V-2-3 Choix des paramètres de dimensionnement :

1. **La pente du projet** : Le choix de la pente du projet relève d'une grande importance avant de procéder au calcul hydraulique. Dans notre cas, nous allons choisir la pente moyenne de chaque tronçon.

2. **Le coefficient de Manning** : La rugosité du canal dépend de la nature du revêtement, les valeurs de la rugosité de certains revêtements sont données dans le tableau suivant :

Tableau V-1: Rugosité pour différents canaux. (Vazquez, 2016).

Caractéristiques du lit ou du revêtement	Valeur de la rugosité
Canal avec revêtement en béton.	0.014
Canal en terre.	0.022
Canal en pierre.	0.025
Canal en Gabion.	0.03

3. **Marge de sécurité dans les canaux (Revanche)** : Dans les canaux à surface libre, il faut toujours prévoir une revanche de sécurité au-dessus de la ligne d'eau calculée afin de tenir compte de l'accumulation de dépôt solide, de croissance de la végétation, des vagues provoquées par le vent, etc.

Pour le dimensionnement du canal, on opte une pour une revanche de 0.75 m à 1m.

Tableau V-2 : Revanches utilisées (Freeboard) (Degoutti, 2008)

Débit (m3/s)	<0.75	0.75 a 1.5	1.5 a 8.5	>8.5
Revanche (m)	0.45	0.6	0.75	0.9

4. Vitesse d'érosion :

Afin éviter les ruptures du fond et des berges des canaux sur l'action dynamique d'un courant d'eau, la vitesse de celui-ci ne doit pas être supérieure à la vitesse limite maximale. Les valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolidés sont données dans le tableau ci-dessous (Deggoute Gérard, 2012).

Tableau V-3 : Valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolidés

Lit	Vitesse Ver (m/s)
Pavage de pierre ç une couche	2.5 - 4
Gabions	04-06
Revêtement en béton	06-10
Béton armé	<10

V-3. Etudes des variantes :

Le but de cette étude, est de bien protéger les logements Akbou contre les crues. Cette protection consiste à sélectionner les meilleures solutions d'aménagement compte tenu des conditions naturelles.

Mais aussi il faut que les solutions, soient réalisables du point de vue technique et économique et qu'elles soient, bien adaptées avec le terrain et ses conditions aussi bien topographiques que géologiques et respecter aussi la configuration des logements projetés.

Pour cette étude, nous proposons 03 variantes pour la protection contre les inondations:

- Un canal en béton armé de forme trapézoïdale.
- Un canal en gabion.

V-3-1. Première variante : canal trapézoïdale en béton armé

La première variante proposée consiste à projeter un canal trapézoïdal en béton armé. Pour le fruit de talus, nous choisissons $m = 1$ pour la facilité technique de réalisation d'un angle de 45° sur le terrain. Un canal en béton présente :

- Une durée de vie plus importante.
- Une forme étroite bien adoptée à la ville.
- Les meilleures caractéristiques hydrauliques.
- Une durée de réalisation très courte, et assure une meilleure protection.

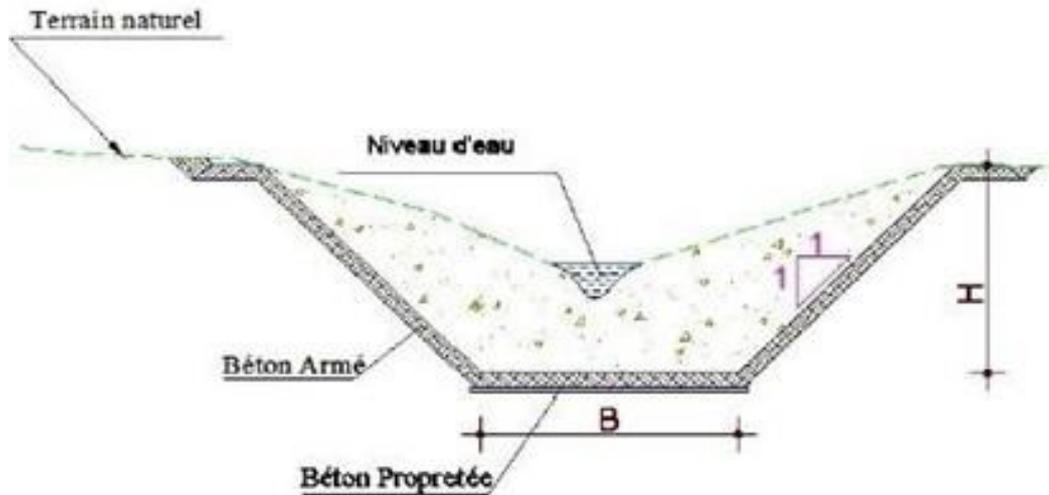


Figure V-2 : schéma d'un canal trapézoïdal en béton armé (degoutti, 2008)

Dimensionnement : Cette variante consiste en une réalisation d'un canal de section trapézoïdale en béton armé.

On prend le fruit de talus $m=1$.

Tableau V-4: Dimensions de l'aménagement (canal en béton armé)

Tronçon	Section départ	Section arrivée	Longueur (m)	Pente projet (%)	Largeur du fon b (m)	Hauteur du canal h (m)	Fruit talus m
1	1	20	800	8.725	5	2	1
2	20	31	650	6.3	5	2	1
3	31	47	500	5.15	5	2	1
4	47	71	550	2.26	5	2	1
5	71	78	650	1.43	5	2	1

Les paramètres d'écoulement : Les paramètres d'écoulement d'oued Tissiar aménagé en canal en béton armé est résumé dans le tableau suivant :

Tableau V-5 : Paramètres d'écoulement de la variante canal en béton armé.

Profil	Débit Q (m ³ /s)	Vitesse (m/s)	Tirant d'eau h (m)	Froude	Section mouillée (m ²)	Périmètre mouillé (m)	Rayon hydraulique (m)	Remarque
1	37.15	12.33	0.54	5.59	3.012	6.537	0.46	Régime torrentiel
2	37.15	11.08	0.59	4.81	3.352	6.693	0.5	Régime torrentiel
3	37.15	10.36	0.63	4.37	3.583	6.798	0.52	Régime torrentiel
4	37.15	7.87	0.81	2.97	4.72	7.297	0.64	Régime torrentiel
5	37.15	6.739	0.92	2.4	5.512	7.629	0.72	Régime torrentiel

Estimation du coût de la variante : On prend une épaisseur de 10 cm pour le béton et pour le béton de propreté on prend une épaisseur de 10 cm. l'estimation du cout de la variante est donnée dans le tableau suivant :

Tableau V-6 : Devis de la variante (canal en béton armé).

Désignation travaux		Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Terrassement	Déblai	m ³	45000	400	18 000 000
	Remblai	m ³	10000	500	5 000 000
Béton de propreté		m ³	3346.25	6000	20 077 513
Béton armé		m ³	3346.25	40 000	133 850089
Montant Totale					176 927602

La deuxième variante : canal en gabion :

Les matelas en gabions sont utilisés principalement pour réaliser les revêtements et les protections anti-affouillements. Ils se présentent sous forme de dimensions variées, dont les plus courant sont 2.0×1.0×0.5 et 2.0×1.0×1.0.

Les canaux en gabion, sont mis en œuvre d'une façon spéciale ; les sacs sont agencés de manière à créer un escalier qui permet la stabilité des berges.

Avantages des structures en gabion :

- Flexibilité des ouvrages, la souplesse des gabions permet à l'ouvrage de suivre les déformations du terrain, qui peuvent survenir au pied des organes de dissipation d'énergie, des bajoyers et des protections contre les affouillements.
- Facilité de mise en œuvre, certains types de barrages ou de seuils en gabions peuvent être construits sur deux ans, sans risque majeur de destruction en cours de saison des pluies intermédiaire. La surélévation éventuelle de l'ouvrage est envisageable assez facilement. D'autre part, les formes géométriques sont, par nature, relativement simples.
- Possibilité de réaliser des ouvrages totalement déversant bien moins coûteux que leurs équivalents en béton.

Tableau V-7 : Paramètres hydrauliques pour une section en gabion.

Caractéristique	Section (m)	Périmètre (m)	Rayon hydraulique (m)
Relation	1 $k(k - 1) + bk$	$b + 3k - 1$	$0.5k(k-1)+bk$
	2		$b+3k-1$

Avec :

- **k** : nombre d'étages.
- **b** : base du canal.

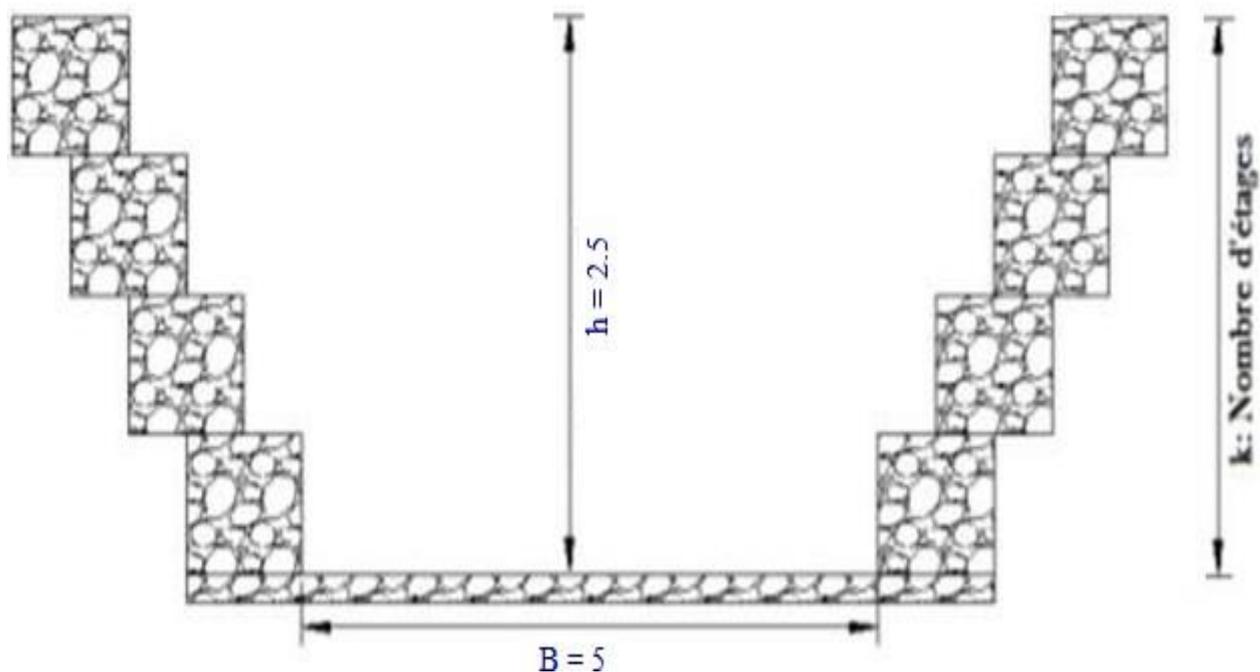


Figure V-3 : Coupe en travers d'un canal en gabion.

V.3.2.2 Dimensionnement : Les dimensions des sections de l'oued aménagé en gabion est résumé dans le tableau ci-dessous :

Tableau V-8 : Dimensions de l'aménagement (canal en Gabion).

Tronçon	Section départ	Section arrivée	Longueur (m)	Pente projet (%)	Largeur du fon b (m)	Hauteur du canal h (m)	Fruit talus m	Type section
1	1	20	800	8.725	5	2.5	/	Gabion
2	20	31	650	6.3	5	2.5	/	Gabion
3	31	47	500	5.15	5	2.5	/	Gabion
4	47	71	550	2.26	5	2.5	/	Gabion
5	71	78	650	1.43	5	2.5	/	Gabion

- **Les paramètres d'écoulement** : Les paramètres d'écoulement d'oued Tissiar aménagé en canal Gabion est résumé dans le tableau ci-dessous :

Tableau V-9 : Paramètres d'écoulement de la variante canal en Gabion.

Profil	Débit Q (m ³ /s)	Vitesse (m/s)	Tiran d'eau h (m)	Froude	Section mouillée (m ²)	Périmètre mouillé (m)	Rayon hydraulique (m\m)	Remarque
1	37.15	7.979	0.93	2.64	4.655	6.862	0.67	Régime torrentiel
2	37.15	7.149	1.03	2.23	5.196	7.078	0.73	Régime torrentiel
3	37.15	6.67	1.11	2.01	5.566	7.226	0.77	Régime torrentiel
4	37.15	5.014	1.48	1.31	7.408	7.963	0.93	Régime torrentiel
5	37.15	4.261	1.74	1.03	8.718	8.487	1.027	Régime torrentiel

• **Estimation du coût de la variante** : La forme des murs en gabion est en escalier des deux côtés de l'axe de l'oued. Ils seront ancrés de (0.5) m, Le rôle de ces canaux est de contenir et de rediriger vers les endroits préférentiels la circulation des eaux, on projette la pose d'un matelas tout au long du lit du cours d'eau pour protéger le canal lui-même contre les affouillements.

Avec les dimensions suivantes : **b=5 et h=2.5**

Tableau V-10 : Devis de la variante (canal en Gabion).

Désignation travaux		Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Terrassement	Déblai	m ³	25550	400	10 220 000
	Remblai	m ³	5000	500	2 500 000
Gabion		m ³	39375	4 000	157 500 000
Montant Totale					170220 000

Canal mixte Gabion et béton armé : Un canal en béton armé de forme trapézoïdale pour les tronçons (1 et 2) qui passent accoté d'un petit village après de Laazib ferme et un canal en gabion pour les tronçons (3, 4 et 5) qui traversent les terrains agricole.

Dimensionnement : Les dimensions des sections d'oued Tissiar aménagé en gabion est résumé dans le tableau ci-dessous :

Tableau V-11 : Dimensions de l'aménagement (canal Mixte)

Tronçon	Section départ	Section arrivée	Longueur (m)	Pente projet (%)	Largeur du fon b (m)	Hauteur du canal h (m)	Fruit talus m	Type section
1	1	20	800	8.725	5	2	1	Béton Trpz
2	20	31	650	6.3	5	2	1	Béton Trpz
3	31	47	500	5.15	5	2.5	/	Gabion
4	47	71	550	2.26	5	2.5	/	Gabion
5	71	78	650	1.43	5	2.5	/	Gabion

Les paramètre d'écoulement : Les paramètres d'écoulement d'oued Tissiar aménagé en canal mixte est résumé dans le tableau ci-dessous :

Tableau V-12 Paramètres d'écoulement de la variante canal mixte.

Profil	Débit Q (m ³ /s)	Vitesse (m/s)	Tiran d'eau h (m)	Froude	Section mouillé (m ²)	Périmètre mouillé (m)	Rayon hydraulique (m\m)	Remarque
1	37.15	12.33	0.54	5.59	3.012	6.537	0.46	Régime torrentiel
2	37.15	11.08	0.59	4.81	3.352	6.693	0.5	Régime torrentiel
3	37.15	6.67	1.11	2.01	5.566	7.226	0.77	Régime torrentiel
4	37.15	5.014	1.48	1.31	7.408	7.963	0.93	Régime torrentiel
5	37.15	4.261	1.74	1.03	8.718	8.487	1.027	Régime torrentiel

Estimation du coût de la variante : l'estimation du cout de la variante est donnée dans le tableau suivant :

Tableau V-13: Devis de la variante (canal mixte en béton armé et gabion).

Désignation travaux		Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Terrassement	Déblai	m ³	40000	400	16 000 000
	Remblai	m ³	15000	500	7 500 000
Béton de propreté		m ³	1545.24	6000	9 271 440
Béton armé		m ³	1545.24	40000	61 809 600
Gabion		m ³	12750	4000	51 000 000
Montant Totale					145 581 040

Choix de la variante d'aménagement : Les critères d'évaluation pour le choix de la variante à retenir, il faut avoir recours à plusieurs paramètres :

- **Efficacité hydraulique :** correspond au potentiel d'amélioration de la capacité hydraulique que peuvent apporter les mesures.
- **Difficultés de réalisation :** correspond au degré de difficulté de la réalisation technique.
- **Enjeux environnementaux :** ce critère tient compte de l'utilisation du sol au voisinage (zone urbaine, agricole...) et des déficits ou richesses environnementaux actuels.
- **Durabilité :** correspond à la durée de vie de l'aménagement.
- **Entretien :** correspond à l'ampleur et à la fréquence des entretiens nécessaires.
- **Coût :** correspond à l'appréciation du coût de construction.

➤ **La variante choisit :** on voit que les deux premières variantes peuvent évacuer le débit de crue sans débordement mais de point de vue financier le cout est plus élevé par rapport au canal mixte qui est le plus économique.

Donc on opte pour le choix de l'aménagement avec le canal mixte car :

- Le gabion est une solution solide et durable.
- La simplicité de la réalisation.
- Une bonne perméabilité qui permet un drainage naturel suffisant.
- Formant une belle harmonie avec la nature.
- Le béton plus durable par rapport à l'autre et facile a les entretiens.
- Le gabion diminue la vitesse d'eau et dispersé l'énergie.

Conclusion :

Dans de ce chapitre, trois variantes ont été proposées pour l'aménagement d'oued Tissiar de la ville d'Akbou.

Par la suite, une étude technico-économique a été élaborée pour choisir la plus favorable.

Le choix final consiste principalement en une projection d'un canal mixte avec Un canal en béton armé de forme trapézoïdale pour les deux premiers tronçons (1 et 2) qui passent a coté d'un petit village après de Laazib ferme et un canal en gabion pour les tronçons (3, 4 et 5) qui traversent les terrains agricole.

Chapitre VI :

L'organisation de chantier

VI-1. Introduction :

L'organisation de chantier cherche la meilleure façon d'utiliser tous les moyens matériels et humains pour réaliser des projets à temps et avec économie. Elle consiste à définir les méthodes d'exécution, les modes opératoires, les tâches et la structure des postes.

VI-2. Rôles et responsabilités des intervenants sur le chantier :

Il nous paraît indispensable de rappeler les rôles des différentes personnes amenées à intervenir dans l'acte de construction.

VI-2-1. Le maître de l'ouvrage : C'est une personne physique ou morale pour laquelle s'exécutent les travaux, il définit le but à atteindre, et assure le financement.

VI-2-2. Le maître d'œuvre : C'est une personne physique ou morale désignée par le maître d'ouvrage pour recevoir l'ouvrage, et assure le contrôle lors d'exécution.

VI-2-3. L'entreprise : C'est la réunion des moyens mobiles et immobile et en personnel dont l'objectif est de réaliser les travaux.

VI-2-4. L'entrepreneur : C'est une personne physique ou morale, titulaire d'un marché de travaux conclu avec le maître d'ouvrage, chargée de l'exécution des travaux.

VI-3. Installations du chantier :

Elle permet de positionner le chantier pour travailler dans un ordre, et sans accidents.

VI-3-1. Installations de personnel : Sont les installations sanitaires, les bureaux.....

VI-3-2. Installation du stockage des matériaux : Les agrégats sont stockés en plein air, d'une manière séparable pour éviter leur mélange. Le béton doit stocker dans un milieu fermé et l'acier est stocké dans des endroits loin de l'humidité.

VI-3-3. Installation de la réparation des engins : Il faut disposer d'un espace bien équipé pour assurer l'entretien courant.

VI-3-4. Installation des éléments de la préfabrication : Des hangars pour protéger les éléments préfabriqués.

VI-3-5. Succession des opérations du chantier :

- Travaux préparatoires : préparation des pistes de circulation des engins, et des endroits de stockage de matériaux.
- Exécution de l'ouvrage : par excavation des tranchés, et construction de l'ouvrage.

VI-4. Les moyens de chantier :

VI-4-1. Les moyens humains : En ce qui concerne les moyens humains pour la réalisation, on doit justifier la mise en œuvre du personnel compétant pour la réalisation des études préalables et pour la construction en précisant leurs titres et leurs compétences.

VI-4-2. Les moyens matériels : Les engins utilisés sont :

Tableau VI-1 : Engins et leurs tâches

Tache	Engins	Actions
Travaux de préparation	Dozers	Enlever les obstacles et les herbes
	Chargeurs	
	Pelles	
	Camions	
Terrassement	Pelles	Donner la forme exacte du canal
	Chargeurs	
	Dozers	
	Niveleuse	
	Camions	
Compactage	Tous types de compacteurs à rouleaux lisses	Consolider les berges de l'oued pour éviter l'affaissement
	Compacteurs à pieds de mouton	Compacter le fond de l'oued
Coulage	Bétonneuse	Produire du béton
	Pompe à béton	Couler le béton

VI-5. Devis quantitatif et estimatif du projet : Les estimations des prix des ouvrages et aménagements donnés :

- **Prix unitaire des terrassements.**
- **Prix unitaire de fourniture et pose de (gabionnage, tout venant).**

Le tableau suivant donne les montants de réalisation de la variante retenue :

Tableau VI-2 : Le devis des différents travaux d'Oued Tissiar

Désignation des travaux		Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Terrassement	Déblai	m ³	51 650	250	12 912 500
	Remblai	m ³	288	200	57 600
Béton de propreté		m ³	8 784	6 000	52 704 000
Béton armé		m ³	5 392	32 000	172 544 000
Montant Total					238 218 100
TVA 19%					45 261 439
Total TTC					283 479 539

VI-6. Planification : (BENLAOUKLI,2004)

La planification des travaux est un moyen qui permet de chercher constamment la meilleure façon d'utiliser avec économie la main d'œuvre et les autres moyens de mise en œuvre pour assurer l'efficacité de l'action à entreprendre.

Son objectif est de s'assurer que les travaux se font dans un ordre correct a temps, aussi économique que possible. Elle consiste en :

- **L'installation des postes de travail.**
- **L'observation instantanée.**

- L'analyse des tâches.
- Le chronométrage.

Il existe deux principales méthodes de planification à savoir :

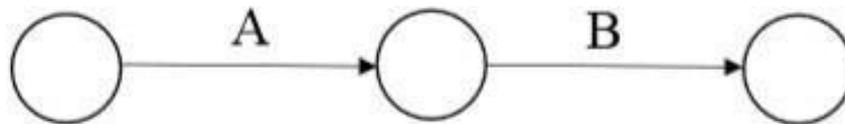
- Méthodes basées sur le réseau.
- Méthodes basées sur le graphique.

VI-6-1. Méthodes basées sur le réseau :

1) **Définition :** Le réseau est une représentation graphique d'un projet qui permet d'indiquer la relation entre les différentes opérations qui peuvent être successives, simultanées, convergentes et la durée de réalisation. On distingue deux types de réseaux :

a) Réseau à flèches :

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



L'opération A précède l'opération B.

b) Réseau à nœuds :

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



L'opération B ne peut commencer que si l'opération A est complètement achevée.

2) **Construction du réseau :** Pour construire un réseau, il convient d'effectuer les six opérations suivantes :

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

3) **Différentes méthodes basées sur le réseau : (BENLAOUKLI,2004)**

- **Méthode C.P.M (Méthode française) :** L'objectif de cette méthode est de réduire les temps de réalisation d'un ouvrage en tenant compte de trois phases :
 - **1ère phase :** l'effectif nécessaire pour effectuer le travail considéré.
 - **2ème phase :** analyser systématiquement le réseau, heure par heure, jour par jour, selon l'unité de

temps retenu.

- **3ème phase** : adapter le réseau aux conditions ou contraintes fixées par l'entreprise.
- **Méthode P.E.R.T (Program Evaluation and Review Technical)**: C'est-à-dire technique d'ordonnancement des tâches et contrôle des programmes, c'est une méthode consistant à mettre en ordre sous forme de réseau plusieurs tâches qui grâce à leur chronologie et leur dépendance concourent toutes à l'obtention d'un produit fini.

VI-6-2. Méthodes basées sur le graphique :

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

VI-7. Les étapes de la planification :

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

- **Collection des informations** : L'établissement d'une synthèse d'analyse des informations acquises par des études comparatives permet l'usage correct du plan de réalisation du projet.
- **Décomposition du projet** : C'est une partie importante car chaque projet peut être analysé de diverses manières. Nous attribuons à chaque tâche un responsable et ses besoins en matériels.
- **Relations entre les tâches** : Il existe deux relations essentielles entre les tâches lors de la réalisation. L'une porte sur un enchaînement logique et l'autre sur un enchaînement préférentiel.
- **Choix de la méthode de calcul (BENLAOUKLI,2004)** :Le choix de la méthode de calcul repose essentiellement sur le type d'ouvrage construire. Il est préférable dans le cas où les opérations se suivent comme dans notre cas d'opter pour la méthode C.P.M.
- **Les paramètres de calcul dans la méthode C.P.M** : Les paramètres indispensables dans l'exécution de cette méthode sont les suivants : **DCP, tr, DFP, DCP, DFPP et MT.**

DCP	tr
DFP	DCPP
DFPP	MT

Avec :

- **tr** : temps de réalisation.
- **DCP** : date de commencement au plus tôt. **DCPP** : date de commencement au plus tard. **DFP** : date de finition au plus tôt.
- **DFPP** : date de finition au plus tard.
- **MT** : marge totale, intervalle de temps nécessaire pour le déroulement de l'opération tel que :

$$DFP = DCP + tr$$

$$DCPP = DFPP - tr$$

- **Chemin critique (C.C)** : C'est le chemin qui donne la durée totale du projet (DTR) reliant les opérations possédant la marge totale nulle (0).

Donc pour retrouver un chemin critique il suffit de vérifier la double condition suivante :

$$MT = 0$$

$$\text{et } \sum tr cc = DTP$$

VI-8. Diagramme de Gantt :

Le diagramme de Gantt, couramment utilisé en gestion de projet, est l'un des outils les plus efficaces pour représenter visuellement l'état d'avancement des différentes activités (tâches) qui constituent un projet. La colonne de gauche du diagramme énumère toutes les tâches à effectuer, tandis que la ligne d'en-tête représente les unités de temps les plus adaptées au projet (jours, semaines, mois etc.). Chaque tâche est matérialisée par une barre horizontale, dont la position et la longueur représentent la date de début, la durée et la date de fin. Ce diagramme permet donc de visualiser d'un seul coup d'œil :

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

En résumé, un diagramme de Gantt répertorie toutes les tâches à accomplir pour mener le projet à bien, et indique la date à laquelle ces tâches doivent être effectuées (le planning).

La méthode du CPM est une méthode de planification, elle a pour objectif de réduire le temps et le coût de réalisation de projet et augmenter le rendement du travail. Pour la construction du réseau il faut d'abord établir les différentes tâches des travaux. Ces derniers sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau VI- 3 : Liste des opérations avec leurs durées

Code	Opération	Durée [jour]
A	Décapage de la couche de terre végétale	20
B	Piquetage	9
C	Exécution des tranchées	49
D	Aménagement du lit de pose	34
E	La mise en place du béton armé et gabion pour le lit	48
F	La mise en place du béton armé et gabion pour les voiles	42
G	Les essais d'étanchéités	17
H	Remblaiement des tranchées	23
I	Travaux de finition	20

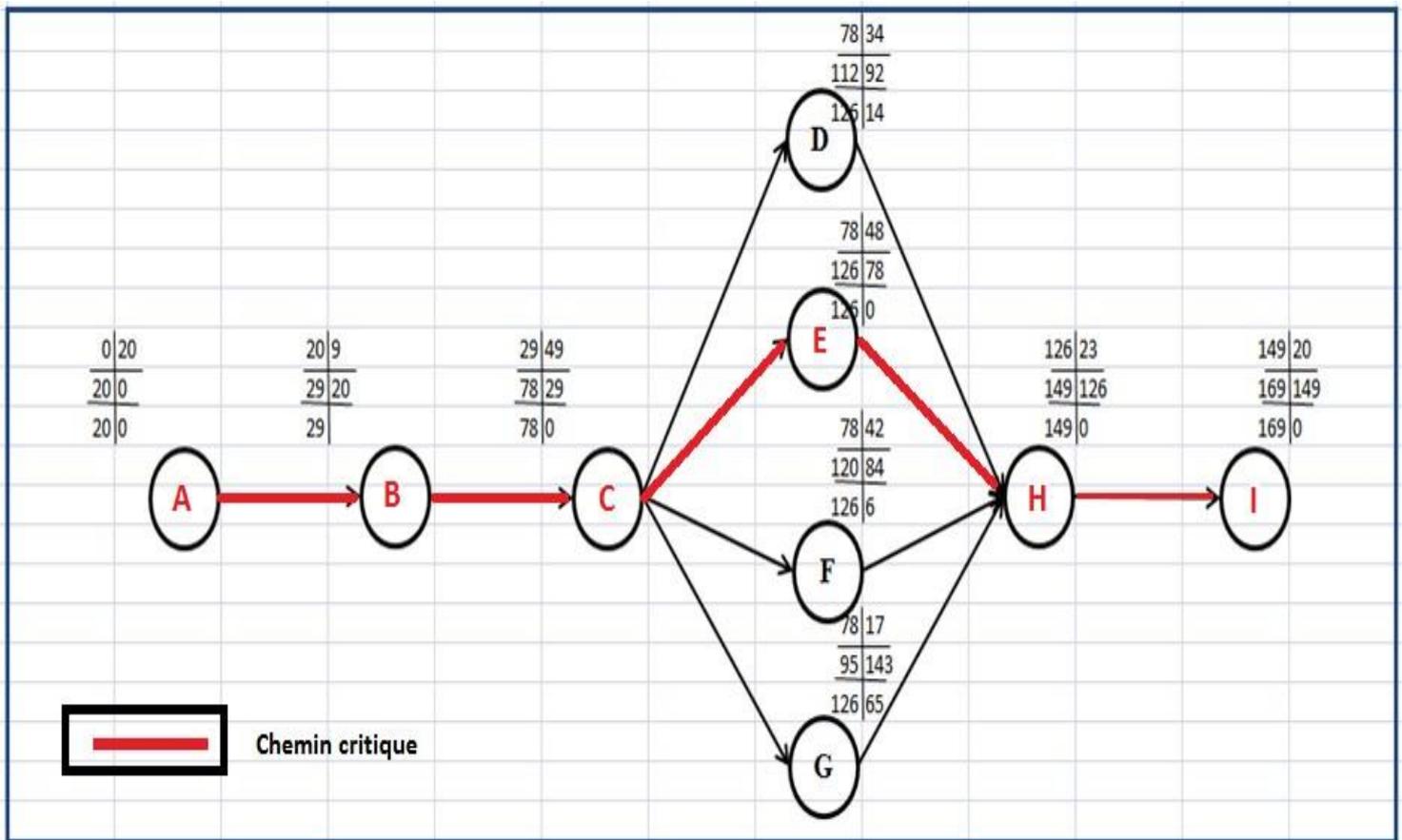
Dans le tableau suivant on présente chaque tache avec celles qu'elle précède :

Tableau VI-4 : Succession des taches

opérations	précède	succède
A	B	-
B	C	A
C	D, E, F, G	B
D	H	C
E	H	C
F	H	C

G	H	C
H	I	D, E, F, G
I	-	H

➤ Le réseau de planification :



Figures VI-1 : Réseau de planification des tâches par la méthode CPM.

➤ Le diagramme de Gantt :

VI-9. Protection et sécurité de travail :

La protection du travail comprend tout un système de mesure d'ordre social, économique, technique, hygiénique, organisationnel et juridique. Ceux-ci garantissent l'assurance de la protection de la santé et de la capacité de travail des travailleurs.

Les chantiers sont très dangereux et les accidents peuvent se produire à tous les moments de l'installation jusqu'à la mise en eau. C'est pour cela, qu'on doit chercher toutes les solutions pour faire face à ces derniers.

L'objet sera, donc de diminuer la fréquence et la gravité des accidents de chantier. Pour cela, il existe un bon nombre de dispositifs, de consignes et de règlements dits « de sécurité » dicté par différents organismes intéressés par la sécurité du travail.

1. Cause des accidents de travail : L'analyse des accidents, les plus fréquents, fait apparaître des causes à la fois humaines et techniques (industrielles).

1) Causes humaines : Ces facteurs concernent les actions dangereuses dans le travail dues au comportement de nature humaine qui nécessite dans certains cas l'intervention d'un médecin et d'un psychologue tel que :

- **La négligence des travailleurs.**
- **La fatigue.**
- **La distraction.**
- **Les gestes néfastes.**
- **Inaptitude mentale ou physique.**
- **Adoption de la solution de faciliter.**
- **Manque de concentration.**
- **La nervosité.**

2) **Causes techniques :** Les causes d'accédant d'origine matérielle évoluent généralement pendant l'exécution des travaux. Elles proviennent :

- **Des mauvaises conditions de travail.**
- **De l'encombrement du matériel dans les chantiers et le mauvais stockage.**
- **Le manque d'éclairage.**
- **Des outils et engins utilisés (implantation, entretien).**
- **Des conditions d'hygiène et de sécurité (ventilation, production).**

2. **Conditions dangereuses dans le chantier :**

- **Installation non protégée ou male protégée.**
- **Outillages, engins et équipements en mauvais état.**
- **Matière défectueuse, stockage irrationnel.**
- **Protection individuelle inexistante.**
- **Défauts dans la construction.**
- **Eclairage défectueux.**
- **Facteur d'ambiance impropre.**
- **Conditions climatiques défavorables.**

3. **Actions dangereuses :**

- **Intervenir sans précaution sur des installations sous tension, sous pression ou contenant des substances toxiques ou inflammables.**
- **Intervention sans précaution sur des machines en mouvement.**
- **Action sans prévention ou sans autorisation.**
- **Le non utilisation de l'équipement de protection individuelle.**
- **L'imprudence durant le travail.**
- **Le rythme de travail inadapté.**

4. **Mesures préventives :** La protection du personnel doit être assurée de manière bien satisfaisante par les services appropriés.

- **Les appareils de levage doivent être installés sur une surface présentant une résistance suffisante.**
- **Les câbles et les chaînes de levage ne doivent pas être soumis à des charges supérieures à**

celles fixées.

- Les travaux ne doivent être exécutés que lorsque l'installation est mise hors tension et hors tout danger.
- Les abris doivent être aérés et chauffés.

5. Principales fonctions du service de sécurité :

1) Etudes :

- Participation au Comité d'Hygiène et de Sécurité.
- Analyse des postes de travail « Etude Sécurité ».
- Suggestions du Personnel.
- Statistique : élaboration et commentaire.
- Rapport avec l'administration.

2) Exécution

- Mesures légales d'hygiène et de sécurité (code de travail).
- Réalisations pratiques des suggestions et des études.

3) Contrôle

- Enquêtes à la suite des accidents.
- Inspections des installations.
- Visites périodiques effectuées par les organismes.
- Contrôle éventuel des moyens de transport du personnel.

4) Animation

- Lutte contre l'incendie et les accidents de trajet.
- Equipes de secours.
- Formation spéciale concernant certaines professions.

6. Moyen de prévention et de protection : Dans l'entreprise comme dans la vie, c'est bien connu, « il vaut mieux prévenir que guérir ». Risques professionnels et accidents de travail sont lourds de conséquences pour l'employeur, les employés et le travail. Pour cela notre entreprise n'est pas passée à côté du fait de mettre à disposition de ses employés des moyens de prévention et de protections individuelles et collectives dans le but de la suppression ou réduction des risques.

7. Mesures et principes généraux de prévention : L'obligation patronale de sécurité ne se limite pas à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles.

Elle est beaucoup plus étendue et concerne tous les risques auxquels le salarié peut être exposé au travail, y compris les risques psychosociaux.

Il s'agit d'une obligation de résultat, et non pas simplement d'une obligation de moyens.

Pour respecter son obligation, l'employeur doit prendre les mesures nécessaires pour assurer la sécurité et protéger la santé physique et mentale de ses salariés.

Il doit :

- Conduire des actions de prévention des risques professionnels et de la pénibilité au travail.
- Mener des actions d'information et de formation de ses salariés sur la santé et la sécurité.

- **Mettre en place une organisation et des moyens de travail adaptés.**

Ces mesures doivent être adaptées en cas de changement de circonstances ou pour améliorer les situations existantes.

Elles doivent se baser les principes généraux de prévention suivants :

- **Éviter les risques.**
- **Évaluer les risques qui ne peuvent pas être évités.**
- **Combattre les risques à la source.**
- **Adapter le travail à l'homme (en particulier s'agissant de la conception des postes de travail, le choix des équipements et des méthodes de travail et de production) afin de limiter le travail monotone et le travail cadencé.**
- **Tenir compte de l'état d'évolution de la technique.**
- **Remplacer ce qui est dangereux par ce qui n'est pas dangereux ou par ce qui est moins dangereux.**
- **Planifier la prévention en y intégrant notamment la technique, l'organisation et les conditions de travail, les relations sociales, les risques liés au harcèlement moral et au harcèlement sexuel.**
- **Prendre des mesures de protection collective en leur donnant la priorité sur les mesures de protection individuelle.**
- **Donner les instructions appropriées aux travailleurs.**

8. Règles de sécurité sur les lieux de travail :

- 1) **Dans les locaux :** Les locaux de travail doivent être aménagés de façon à garantir la sécurité des travailleurs. Ils doivent être tenus dans un état constant de propreté, présenter les conditions d'hygiène et de salubrité nécessaires et être dégagés de tout encombrement. Les installations et dispositifs techniques et de sécurité doivent être entretenus et vérifiés périodiquement. L'employeur doit également respecter des normes particulières concernant notamment :
 - **L'aération et l'assainissement des locaux.**
 - **L'éclairage (lumière naturelle suffisante dans les locaux de travail autant que possible...).**
 - **Le chauffage.**
 - **La protection contre le bruit.**
 - **L'aménagement des postes informatiques (de manière à limiter le stress, la fatigue visuelle, les troubles musculo-squelettiques et les rayonnements émis par les écrans).**
 - **La Protection Contre le Tabac.**
 - **Les Installations Sanitaires.**
 - **La Restauration du Personnel.**
 - **La Signalisation des Zones de Danger.**
 - **Le Matériel de Premiers Secours.**
 - **La prévention et la lutte contre l'incendie et des risques liés aux installations électriques.**
- 2) **Sur chantier :** La protection du personnel doit être assurée d'une manière bien satisfaisante par les services appropriés :
 - **Les appareils de levage doivent être établis sur une surface présentant une résistance suffisante.**

- **Les câbles et les chaînes de levage ne doivent pas être soumis à des charges supérieures à celle fixée.**
- **Les travaux ne doivent être exécutés que lorsque l'installation est mise hors tension et hors tout danger.**
- **Les abris doivent être airés et chauffés.**

VI-9. Conclusion :

L'exécution d'un ensemble de travaux par gestion rationnelle de temps, demande conjointement des moyens humains, techniques et matériels, afin d'aboutir à un but ultime qui est la livraison du projet dans les délais prévus, sans sortir des couts d'investissement initiaux.

A l'issue de ce volet nous avons pu estimer le cout global du projet d'aménagement d'oued Tissiar de la ville d'Akbou Wilaya de Bejaia est de **145 581 040,00** DA pour un délai de réalisation de **6** mois.

Conclusion générale

Conclusion générale

La réussite d'un projet d'aménagement requiert la collecte d'un maximum de données (climatiques, hydrologiques et topographiques) dans le but d'avoir une présentation plus en plus proche de l'état réel du cours d'eau en question, afin de bien évaluer les risques et proposer les meilleurs variantes possibles.

Au cours de notre étude, nous avons analysé les données en notre disposition et déterminé le débit maximum d'oued Tissiar, qui nous servira pour la simulation des écoulements à l'aide du logiciel HEC-RASS.

En suite, trois variantes ont été proposées, mais après une étude technico-économique, une seule variante a été retenue, la réalisation d'un canal mixte en béton armé de forme trapézoïdale en amont de l'oued pour les deux premiers tronçons avec 2m de hauteur et 5m de largeur et en gabion en aval de l'oued pour les trois derniers tronçons avec 2.5m de hauteur et 5m de largeur.

Enfin, dans le but de se raccorder le maximum à la bonne marche du chantier nous avons essayé de proposer une chronologie logique de l'exécution des tâches. Ainsi que des préventions à prendre pour pouvoir assurer la protection et la sécurité des ouvriers. Dont la réalisation de l'aménagement prend environ six mois.

Le coût de ce projet est estimé de cent quarante cinq millions cinq-cents quatre-vingt et un millesquarante DA, et comme tout projet celui-ci se doit d'être entretenu et suivi afin de garantir un meilleur service et une longévité acceptable.

Références bibliographiques

BOUAÏCHI I., TOUAÏBIA B., et DERNOUNI F. Approche méthodologique de calcul du débit pluvial en cas d'insuffisance de données. Cas de la région de Tipaza. Algérie. Revue semestrielle scientifique et technique ; Le Journal de l'Eau et de L'environnement.

Chisholm, P.S.; R.W. Irwin et C.J. Acton; 1984. Interpretation of soil drainage groups from soil

DEGOUTTE G. Diagnostique aménagement et gestion des rivières-hydraulique et morphologie fluviale appliquées. Collection Tec & Doc. Paris. France. 394p 2006.

DEGOUTTE, G. Aide-mémoire d'hydraulique a surface libre, Edition ENGREF, 66 p 2006. des Dommages Causés par une Catastrophe Naturelle : cas de séisme .Mémoire de Magister, frequency in northern Algeria. Journal of Hydrology and Technology, Vol 7, No.1, 2017.

D.RAHMI, ETUDE D'AMENAGEMENT D'OUED TIFREST POUR LA PROTECTION DE LA VILLE D'AZZEFOUN CONTRE LES INONDATIONS (WILAYA DE TIZI OUZOU)

LAHLAH. Salah, les inondations en algérie Ingénieur Hydrologue, chef de section. ANRH. ALGER décembre 2004

ARMANDO LANCATRE Hydraulique Générale, édition Paris 1996.

M.Hanif Chaudhry, Open-Channel Flow, Second Edition, 2014.

Meddi M., Toumi, S., Application of the L-moments approach to the analysis of regional flood

NRCS. Urban Hydrology for small watersheds, TR-55. NRCS. Conservation engineering division. USA. 163p 1986.

TOUAÏBIA B. Manuel pratique d'hydrologie, édition Madani 2004.

A. BOUMAR : Etude d'un aménagement de protection contre les inondations de oued Chaaba commune oued Chaaba (W. Batna)

U.S. Army Corps of Engineers. HEC-RAS River Analysis System Hydraulic reference manual, Hydrologic Engineering Center, CPD-69, Version 4.1 2010a. Université El Hadj Lakhder, Batna, 121 p.

YAHIAOUI A. Inondations Torrentielles Cartographie des Zones Vulnérables en Algérie du Nord (Cas de l'oued Mekerra, Wilaya de Sidi Bel Abbès). Thèse de Doctorat. Ecole Nationale Polytechnique. Algérie 2012.

Annexe

Pluie maximales journalières (mm), STATION TIFRA 15-10-07												
Année	set	oct	nov	dec	jan	fev	mar	avr	mai	juin	juil	aout
1968	2	0	38.3	61	24.5	8	22	29.8	10	18	1.3	4.5
1969	51.8	64	29	126	29.5	18.5	28	134	35.8	7	7.5	0
1970	7	150	0.8	43.5	37	13.5	21.5	18	9.5	1	1.2	0
1971	20	37.2	29	17.5	74	26	23.5	25	27	24	2	21
1972	17.4	24.6	27.3	64	109	76	52	27	0	51	0	6
1973	110	11	16	67	10	37	121	31	3.5	17	1	2.5
1974	16.5	19	12	15	16	63	72	6	22	12	0	7.4
1975	11	1.8	40	37.1	47	49	31.7	18.7	25.1	19.1	14.3	5.4
1976	15.7	20.4	30.9	53.2	17.2	5	20.4	39.3	17.4	4	0	0
1977	17.4	24.6	27.3	46.8	34.1	29.8	31.7	26.7	15.4	7.3	1.5	4.5
1978	0	21.4	55.4	10.7	18.2	88.8	20.9	24.7	19	4.2	3.5	1
1979	18.4	11.7	27.3	46.8	32.3	20.3	0	20	20.6	0	0	6.1
1980	0	12.3	34	86	0	25.7	19.5	22	9.7	10	0	42.5
1981	17.4	24.6	27.3	46.8	34.1	29.8	31.7	26.7	15.4	7.3	1.5	4.5
1982	29.2	78.9	40.1	83.3	10.3	20.4	25.3	15.7	1.5	0	1.8	8.8
1983	0	21	16.7	12	51.9	61.4	27.5	6.8	15	4.5	0	0
1984	8	43.1	4.5	46.3	30.6	16.8	71.6	16.4	9.2	0	0	0
1985	2.7	24.6	26.1	20	20	51.7	70	12	13	20	0	2.5
1986	4.5	15	37	47.8	34	26.6	34.6	24.6	8.5	5.3	12.5	4.5
1987	7	22.9	51.9	9.5	21	16.4	62.2	30	6	14	0	0
1988	13.6	0	39	67.6	26.6	31	29.1	33.1	0	24.6	0	10
1989	21	12	10.5	9.5	35.5	0	14	13	24	8	5	0
1990	2	56	28.5	30	10.5	15.5	16.5	13	12	3	0	4
1991	4	26.4	11	3.5	41.3	24.6	19.5	45.5	13	4	2.5	5
1992	9.1	19.5	14	101.4	36.6	16.4	23	29.4	25.4	4.5	0	0
1993	24	12	7.5	27.1	37.3	44	0	27.4	8	0	0	4.5
1994	41	20.4	16.4	34.1	97.1	33.6	38.1	7.5	0	14	0	9
1995	22	18.5	21.4	19	48.1	53.9	32	33.6	13	0	0	1.6
1996	13.5	19	18.5	39	29.4	19.9	13.2	20	15	7.3	0	3
1997	24	74.3	47.7	45	11.9	18.4	20.4	49.8	60.4	0	0	0
1998	41	30.6	45.3	37.8	42.5	20.5	24.6	12	14.7	7.3	0	0
1999	33.6	27.5	25.6	84.8	4.1	3.5	13.2	11	15.5	0	0	0
2000	17	16.5	11.2	97	41	32	7.2	13	12.1	0	0	5
2001	10	5	17.5	17.5	19.4	31	16.4	13	9	0	7	15.4
2002	0	0	51.4	102.2	52	28	13	51	9	0	0	0
2003	18.9	18.9	28.6	57.2	36	7	8.5	20	36.5	10.7	0	4.5
2004	11	19	79	77.4	56	70.4	9.6	29.7	0	0	0	0
2005	8	12.5	18.4	43.7	20.9	49	20.8	9	26.5	0	0	0
2006	21.2	0	5	57.4	4.2	27.5	111	50.5	19.5	4.5		0
2007	12.5	42.2	39	33.6	13	16.4	70.6	48.7	14.2	8	0	0
2008	52	14.9	38.5	16.9	81.4	14.2	47.8	22.4	15	0	0	16.4
2009	28.6	9.5	29.1	22.5	38	12.2	25.7	13	20.9	0	0	0

STATION TIFRA 15-10-07P moyennes annuelles (mm)												
Année	set	oct	nov	dec	jan	fev	mar	avr	mai	juin	juil	aout
1968	2	0	94.4	200.7	101.2	48.4	103.2	81.9	26.1	26.1	1.3	6.6
1969	130.3	177.2	95.8	508.5	74.5	91.1	118.6	278	68.6	7	12	0
1970	14.3	375.8	0.8	159.6	116	79.5	108.5	35.5	30.3	1	2.2	0
1971	41	84.7	115	77.4	386.5	88.5	100.5	108.5	78	34	3	38.5
1972	36.2	63	82.2	272.5	259.6	327.5	158	35	0	75.5	0	6
1973	117.5	24.8	37.5	260	25	241	399.3	124	5	32	1	2.5
1974	24.5	62.5	20.3	34.5	30	134.5	203.3	31.3	95.3	14.5	0	11
1975	22	1.8	159.3	83.1	95.5	108.4	98	71.3	68.2	35.9	32.7	11.7
1976	37.8	123.6	141.1	163.4	72.5	18.7	39.7	103.4	31.8	4	0	0
1977	36.2	63.0	82.2	160.7	118.6	99.1	98.0	78.1	41.5	12.3	2.5	6.6
1978	0	72.9	140.3	28	62.9	269.9	68.1	82.3	33.1	8.1	6.5	1
1979	39.8	47.6	0	0	67.2	48.4	0	86.9	40.2	0	0	6.1
1980	0	36.2	71.4	366.2	0	97.8	76.7	62.1	12.9	11	0	43.5
1981	36.2	63.0	82.2	160.7	118.6	99.1	98.0	78.1	41.5	12.3	2.5	6.6
1982	38.7	118.6	91.5	265	15.5	48.4	43.4	15.7	1.5	0	1.8	10.3
1983	0	38	54.3	44.2	226.1	210.3	61.9	18.8	39.6	4.5	0	0
1984	8	129.2	10.5	227.4	65.1	60.8	251.1	38.4	47.5	0	0	0
1985	10.2	51.5	110.3	50.1	94.2	107.2	165.4	34	35.2	77.5	0	2.5
1986	10	98.6	139.4	237.6	169.8	191	94.2	57.3	33.7	9.8	12.5	6.6
1987	13.5	39	127.8	20	56	52.8	107.1	67.8	20.7	21.2	0	0
1988	32.2	0	106	333.8	88.6	45	58.3	169.5	0	29.6	0	15
1989	43	24	38.5	18	148.5	0	47.7	70.2	95.5	10	13.5	0
1990	3	81	106.9	184.4	40.4	69.1	78.4	59.6	27	3	0	9
1991	11.5	72.8	55	9	167.3	45.8	57	134.5	33.3	10.5	2.5	10.5
1992	24.1	27.9	45	332.7	100.7	64.4	75.4	102.7	52.5	6	0	0
1993	59.7	38.5	40	137.3	121.3	93.4	0	63.5	8	0	0	4.5
1994	81.7	61.4	34.4	70.8	404.2	54.9	204.9	22.5	0	39.5	0	15.5
1995	55.5	38	62.9	55.5	135.3	265.9	165.4	105	60	0	0	1.6
1996	28	59.6	101.6	129.6	90.7	48.4	30.9	70.4	32	12.3	0	4.5
1997	68.5	162.6	119.1	178.3	35.7	79.3	95.8	101.9	226.3	0	0	0
1998	71	67.7	184.5	178.9	173.6	144.5	78.9	18.9	31.1	12.3	0	0
1999	51.6	36	66.1	272.8	17.7	3.5	21.4	28.5	25.5	0	0	0
2000	25.5	57.2	30.2	243.1	170.6	83.2	17.8	55.1	54.6	0	0	10
2001	35.2	7	29.5	47.9	48.4	77.9	47.6	24.9	16	0	9.2	30.6
2002	0	0	225.5	234.4	308.6	80.1	34.2	259.7	15.5	0	0	0
2003	55	54.9	37.6	257.1	161	29.7	34	80.7	88.9	15.7	0	4.5
2004	16	25.8	152.7	204.7	159	222.7	53.4	59.2	0	0	0	0
2005	12.5	36	66.9	151.5	119.7	142.8	48.7	15.7	42.8	0	0	0
2006	28.2	0	5	110.1	8.5	58.9	304.7	164.7	32.8	4.5		0
2007	48.2	125.5	169.1	110.8	14.2	22.6	196.5	74.6	55.5	13	0	0
2008	99.1	36.7	136.8	75	211.6	53.5	111.7	91.4	42.6	0	0	26.4
2009	87.1	23.5	64.1	92.8	102.7	56	58	19	50.8	0	0	0

Paramètres hydrauliques de toutes les sections d'oued Tissiar avant l'aménagement (Hec-Ras)

River	Sections	Période de retour	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vitesse	Flow Area	Top Width	Froude
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Oued Tissiar												
Oued_TISSIAR	3140,00	100	37,15	284,85	285,97	285,97	286,34	0,0182	2,78	13,70	18,53	1.33
Oued_TISSIAR	3106,22	100	37,15	281,42	282,03	282,03	282,32	0,0186	2,41	15,38	25,66	2.54
Oued_TISSIAR	3066,22	100	37,15	276,82	277,80	277,80	278,18	0,0175	2,35	13,67	18,30	1.3
Oued_TISSIAR	3000,00	100	37,15	271,73	272,84	272,84	273,23	0,0175	2,79	13,34	16,97	1.05
Oued_TISSIAR	2986,22	100	37,15	264,91	265,88	265,88	266,23	0,0137	1,94	15,12	20,99	2.18
Oued_TISSIAR	2966,22	100	37,15	261,81	263,20	263,20	263,60	0,0142	2,28	13,50	17,14	1.67
Oued_TISSIAR	2926,22	100	37,15	258,72	260,53	260,53	260,88	0,0112	3,02	15,72	20,62	1.74
Oued_TISSIAR	2886,22	100	37,15	255,68	257,25	257,25	257,70	0,0173	2,98	12,48	14,06	1.83
Oued_TISSIAR	2846,22	100	37,15	250,66	251,98	251,98	252,38	0,0158	2,92	13,61	16,93	2.15
Oued_TISSIAR	2786,22	100	37,15	247,79	249,18	249,18	249,64	0,0172	3,00	12,39	13,78	1.1
Oued_TISSIAR	2706,22	100	37,15	244,82	246,35	246,35	246,77	0,0173	2,87	12,95	15,54	1.33
Oued_TISSIAR	2686,22	100	37,15	239,60	240,84	240,84	241,29	0,0172	2,96	12,57	14,24	1.03
Oued_TISSIAR	2640,00	100	37,15	228,25	230,47	230,47	231,04	0,0176	3,35	11,09	9,99	1.5
Oued_TISSIAR	2580,00	100	37,15	224,79	226,70	226,70	227,19	0,0175	3,11	11,96	12,53	0.92
Oued_TISSIAR	2540,00	100	37,15	222,41	224,53	224,34	224,87	0,0107	2,60	14,31	13,53	0.92
Oued_TISSIAR	2480,00	100	37,15	222,08	223,66	223,66	224,06	0,0175	2,79	13,31	16,86	1.95
Oued_TISSIAR	2446,22	100	37,15	217,76	219,32	219,32	219,75	0,0168	2,90	12,88	15,40	1.29
Oued_TISSIAR	2406,22	100	37,15	216,01	217,63	217,63	218,24	0,0123	3,77	11,70	10,10	1.01
Oued_TISSIAR	2374,45	100	37,15	214,75	215,67	215,67	216,09	0,0145	1,79	13,63	17,01	1.13
Oued_TISSIAR	2346,22	100	37,15	212,61	214,09	214,09	214,52	0,0163	2,92	12,98	15,86	1.15
Oued_TISSIAR	2300,00	100	37,15	211,92	212,90	212,90	213,23	0,0187	2,55	14,54	22,28	1.36
Oued_TISSIAR	2288,35	100	37,15	207,44	209,13	209,13	209,59	0,0174	3,08	12,59	14,70	1.01
Oued_TISSIAR	2260,00	100	37,15	203,21	205,76	205,76	206,51	0,0197	3,83	9,70	6,60	0.96
Oued_TISSIAR	2150,25	100	37,15	198,80	200,67	200,67	201,35	0,0121	4,03	11,10	8,56	1.34
Oued_TISSIAR	2106,22	100	37,15	195,83	197,66	197,66	198,28	0,0132	2,45	11,05	9,12	0.99
Oued_TISSIAR	2046,22	100	37,15	193,55	195,16	195,12	195,67	0,0148	3,18	11,74	10,97	1
Oued_TISSIAR	1980,00	100	37,15	192,77	194,27	194,27	194,74	0,0159	3,04	12,39	14,59	1
Oued_TISSIAR	1946,22	100	37,15	190,60	191,87	191,87	192,21	0,0121	2,75	15,80	25,03	1.19
Oued_TISSIAR	1906,22	100	37,15	188,23	189,18	189,18	189,51	0,0166	2,63	14,90	23,59	1.09
Oued_TISSIAR	1840,00	100	37,15	185,60	186,93	186,93	187,30	0,0155	2,91	14,29	18,63	1.13
Oued_TISSIAR	1807,51	100	37,15	181,50	183,31	183,31	183,84	0,0160	3,38	11,64	10,98	0.94
Oued_TISSIAR	1783,08	100	37,15	179,45	181,01	180,92	181,47	0,0103	3,12	13,22	12,47	0.86
Oued_TISSIAR	1740,00	100	37,15	179,17	180,68	180,68	181,05	0,0107	3,40	15,92	21,99	1.05
Oued_TISSIAR	1686,22	100	37,15	175,10	177,05	177,05	177,77	0,0116	4,20	11,09	8,18	1.49

Oued_TISSIAR	1645,45	100	37,15	174,25	176,00	176,00	176,64	0,0119	3,95	11,43	9,18	0,96
Oued_TISSIAR	1584,58	100	37,15	172,43	174,40	174,40	175,08	0,0165	3,36	10,27	7,71	0,84
Oued_TISSIAR	1545,82	100	37,15	170,00	171,92	171,92	172,61	0,0156	3,77	10,43	7,76	1,28
Oued_TISSIAR	1480,00	100	37,15	169,38	170,40	170,40	170,70	0,0158	2,73	15,80	25,05	1,01
Oued_TISSIAR	1444,43	100	37,15	165,74	167,57	167,57	168,04	0,0099	3,71	13,83	15,08	1,33
Oued_TISSIAR	1404,43	100	37,15	165,76	167,11	167,11	167,34	0,0204	2,14	17,36	36,76	2,54
Oued_TISSIAR	1364,43	100	37,15	163,11	164,18	164,18	164,47	0,0152	2,00	16,05	25,62	1,3
Oued_TISSIAR	1304,43	100	37,15	161,00	162,29	162,29	162,58	0,0154	2,41	16,02	29,46	1,05
Oued_TISSIAR	1244,43	100	37,15	159,87	160,74	160,19	160,79	0,0017	0,63	38,67	47,75	2,18
Oued_TISSIAR	1220,00	100	37,15	158,88	160,46	160,46	160,71	0,0076	2,47	20,22	36,99	1,67
Oued_TISSIAR	1204,85	100	37,15	158,19	159,53	159,53	159,83	0,0182	2,46	15,32	25,27	1,74
Oued_TISSIAR	1164,86	100	37,15	157,30	158,38	158,38	158,76	0,0194	2,71	13,69	18,63	1,83
Oued_TISSIAR	1101,54	100	37,15	155,90	156,45	156,45	156,74	0,0194	2,20	15,85	28,00	2,15
Oued_TISSIAR	1044,87	100	37,15	154,00	155,20	155,20	155,49	0,0206	2,45	15,57	26,80	1,1
Oued_TISSIAR	1004,59	100	37,15	153,52	154,95	154,51	155,03	0,0024	1,19	31,29	32,50	1,33
Oued_TISSIAR	960,00	100	37,15	152,86	154,37	154,37	154,80	0,0150	3,09	13,38	15,55	1,03
Oued_TISSIAR	928,28	100	37,15	150,37	152,52	151,86	152,70	0,0045	1,89	19,65	15,44	1,5
Oued_TISSIAR	896,64	100	37,15	150,85	151,99	151,99	152,44	0,0141	2,23	12,92	14,68	0,92
Oued_TISSIAR	842,34	100	37,15	149,57	151,07	150,94	151,32	0,0113	2,23	16,83	21,47	0,92
Oued_TISSIAR	807,69	100	37,15	148,91	150,52	150,52	150,82	0,0193	2,42	15,36	25,97	1,95
Oued_TISSIAR	782,34	100	37,15	148,38	150,05	149,97	150,35	0,0127	2,44	15,47	21,95	1,29
Oued_TISSIAR	722,34	100	37,15	148,79	149,32	149,32	149,61	0,0112	0,75	16,83	31,69	1,01
Oued_TISSIAR	682,34	100	37,15	146,75	149,40	147,91	149,42	0,0003	0,64	59,01	30,00	1,13
Oued_TISSIAR	660,00	100	37,15	147,32	148,90	148,90	149,36	0,0121	3,22	13,47	15,79	1,15
Oued_TISSIAR	602,34	100	37,15	145,03	146,56	146,56	146,90	0,0202	2,61	14,25	20,82	1,36
Oued_TISSIAR	542,34	100	37,15	143,69	145,24	144,94	145,47	0,0064	2,12	17,72	15,36	1,01
Oued_TISSIAR	502,14	100	37,15	143,08	144,58	144,58	145,04	0,0182	3,00	12,40	13,81	0,96
Oued_TISSIAR	461,66	100	37,15	142,73	144,00	143,61	144,14	0,0047	1,67	22,21	20,83	1,34
Oued_TISSIAR	409,83	100	37,15	141,42	143,40	143,40	143,70	0,0173	2,49	15,57	25,63	0,99
Oued_TISSIAR	344,47	100	37,15	140,47	141,94	141,94	142,23	0,0206	2,48	15,91	29,88	1
Oued_TISSIAR	300,00	100	37,15	139,65	140,81	140,32	140,88	0,0020	0,92	33,50	33,13	1
Oued_TISSIAR	261,75	100	37,15	138,88	140,56	140,52	140,74	0,0064	2,04	20,67	38,32	1,19
Oued_TISSIAR	180,00	100	37,15	137,79	139,99	139,83	140,14	0,0084	1,80	21,59	33,03	1,09
Oued_TISSIAR	140,00	100	37,15	137,90	139,37	139,37	139,64	0,0207	2,30	16,14	30,00	1,13
Oued_TISSIAR	80,00	100	37,15	137,33	139,05	138,79	139,11	0,0036	1,24	32,79	50,15	0,94
Oued_TISSIAR	20,00	100	37,15	136,37	139,05	137,54	139,06	0,0002	0,53	71,81	45,12	0,86