

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Civil et Hydraulique

Filière :Hydraulique

Option :Ouvrages Hydrauliques

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme:

MASTER

Thème

**ETUDE DE PROTECTION DES VILLES CONTRE LES
INONDATIONS CAS DU CENTRE DE STILL
EL OUED**

Présenté par :

L'étudiant : Amamra Younes

Encadreur : Djedri Toufik

Année universitaire : 2019 / 2020

ملخص :

في عملنا هذا قمنا بدراسة من أجل حماية تجمعات بلدية سطيل من الفيضانات . على أساس دراسات و معطيات طوبوغرافية ، هيدروغرافية و مناخية، قمنا بدراسة هيدرولوجية مكنتنا من اقتناء معظم الخصائص التي تسمح بتصميم منشآت الري الموجهة لحماية بلدية سطيل من الفيضانات . وأخيرا قمنا بإنجاز المشروع مع كافة المنشآت الأساسية والثانوية فتحصلنا على مشروع قابل للإنجاز وملئم لحماية المدينة من الفيضانات
كلمات مفتاحية : فيضانات، طوفان، مياه الأمطار، حماية، سطيل.

Résumé :

Notre travail a pour objet de faire une étude de Protection contre les inondations des agglomérations de la commune de STILL.

Sur la base des données du milieu physique topographique, morpho-métriques et climatiques, une étude hydrologique a été engagée et a permis de déterminer l'ensemble des paramètres servant à la conception et aux dimensionnements des ouvrages de protection de la commune de Still contre les Inondations . A l'issue de ce travail nous avons abouti à un projet réalisable qui paraît être le plus adapté pour garantir la protection de la ville contre les inondations.

Mots clés : Inondations, crues, eaux pluviales, protection, Still.

Abstract:

Our work has the aim of making a study of Protection against the floods of the agglomerations of the municipality of STILL.

Based on studies in the physical, topographic, morphometric and climatic , an hydrological study have been initiated, and have allowed to determine all of the parameters for the design and dimensioning of the protection works of the municipality of Still against the Floods.

In the end of this work we ended to a realizable project which appears more to be adapted to guarantee the protection of the town of Still against the floods.

Keywords: Flood, Flooding, Rainwater, Protection, Still.

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui ma donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

Je remercie également mes parents pour leur confiance, leur soutien ainsi que pour les bénédictions faites à mon égard tout au long de mes parcours.

En second lieu, Je tiens à remercier mon encadreur Mr DJEDRI TOUFIK pour ses précieux conseils et son assistance durant toute la période du travail.

Je tiens également à remercier l'ensemble des enseignants de Faculté des Sciences et de la Technologie et particulièrement du département de Génie Civil et Hydraulique pour la qualité de leurs enseignements, leurs conseils et les intérêts incontestables qu'ils portent à tous les étudiants.

Enfin, je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Amamra younes

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Ma très chère mère qui m'a toujours apporté

Son amour et son affection

Mon cher père, qui m'a toujours encouragé, conseillé

et

Soutenu dans mon travail

Mes frère et mes sœur

Mes camarades de la promo d'hydraulique option

Ouvrages hydrauliques

De 2019/2020

Tous mes amis, sans exception

Je dédie ce modeste travail.

Amamra younes

Liste des Figures

Figure 1 : les Lits d'un cours d'eau.....	4
Figure 2 : Inondations en Ghardaïa (10/2008).	8
Figure 3 : Situation géographique de la commune de Still	10
Figure 4 : Les unités géologique d'Algérie.....	11
Figure 5 : Formations géologiques du bassin versant	11
Figure 6 : Les unités hydrogéologiques du Sahara algérien.....	12
Figure 7 : Carte des stations météorologiques	14
Figure 8 : les températures moyennes mensuelles enregistrées	15
Figure 9 : Réseau hydrographique principale et secondaire	22
Figure 10 : Carte hypsométrique du bassin versant du Oued Ittel	26
Figure 11 : Courbe hypsométrique du bassin versant de Oued Ittel	29
Figure 12 : Ajustement a la loi normale (ou Gauss).	44
Figure 13 : <i>Pluies maximales de durée t (h) et de période retour</i>	46
Figure 14 : <i>Intensités maximales de durée t (h) et de période retour</i>	46
Figure 15 : Dégradation des ouvrages et infrastructures existantes	60
Figure 16 : Zone urbaine touchée par les inondations	61
Figure 17 : Plan d'Aménagements de Protection.....	62
Figure 18: Coupe transversale de mur de soutènement.....	63
Figure 19: Réalisation du mur de soutènement.....	63

Liste des Tableaux

Tableau 1: Effets sanitaires des inondations	6
Tableau 2: la navigation et l'approvisionnement en énergie hydroélectrique	8
Tableau 3 : les températures moyennes mensuelles enregistrées (ANRH.Biskra)	15
Tableau 4 : Données des autres paramètres climatiques station de Biskra.	16
Tableau 5 : les précipitations moyennes mensuelles enregistrées.....	17
Tableau 6 : Les précipitations journalières extrêmes à la station de Biskra « ONM »	17
Tableau 7 : Température moyennes mensuelles et précipitations moyennes.....	18
Tableau 8 : Superficie du bassin versant de l'oued Ittel	21
Tableau 9 : La répartition altimétrique du bassin de « l'oued Fahama ».....	23
Tableau 10 : La répartition altimétrique du bassin de « l'oued Zerba »	24
Tableau 11 : La répartition altimétrique du bassin de « l'oued Besbas»	24
Tableau 12 : La répartition altimétrique du bassin de « l'oued Itell »	25
Tableau 13 : 1-Altitudes caractéristiques des bassins élémentaires d'oued ittel.....	27
Tableau 14 : 2-Altitudes caractéristiques des bassins élémentaires d'oued ittel.....	28
Tableau 15 : Indices de compacité pour les bassins élémentaires d'oued ittel	16
Tableau 16 : Indices des pentes pour les bassins élémentaires d'oued ittel.....	17
Tableau 17 : Classification, longueur et nombre des cours d'eau du bassin.....	18
Tableau 18 : Densité de drainage pour les bassins élémentaires d'oued ittel	19
Tableau 19 : Temps de concentration pour les bassins élémentaires d'oued ittel.....	21
Tableau 20 : caractéristiques morphométrique des bassins versants	38
Tableau 21 : les précipitations moyennes mensuelles enregistrées.....	39
Tableau 22 : station pluviométrique	39
Tableau 23 : les pluies journalières max enregistrées à la station de Biskra	40
Tableau 24 : Caractéristiques de la série avec N=20ans	41
Tableau 25 : Résultat de l'ajustement a la loi de Gauss.....	43
Tableau 26 : Pluies maximales de durée t (h) et de période retour	45
Tableau 27 : tableau renseigne la valeur du coefficient de forme F.	52
Tableau 28 : Débits de crues par les différentes formules	52
Tableau 29 : Paramètres géométriques d'un canal à section rectangulaire	58
Tableau 30 : caractéristiques de mur de soutènement.....	61

Tables des Matières

Liste des Figures

Liste des Tableaux

Introduction générale 1

CHAP I : Généralités sur les inondations

I-1)- Introduction :	3
I-2)- Genèse des crues et des inondations :	3
I-2-1)- Lits du cours d'eau :	3
I-2-2)- Types d'inondations :	4
I-2-3)- Effets des inondations sur la santé humaine :	6

CHAP II. Données de base

II.1) - Introduction:	9
II -2) : Données naturelles du site :	9
II.2.1) - Situation géographique :	9
II.2.2)- Limitrophe :	9
II.2.3)- Situation Topographie:	10
II.2.4)-Géologie du site :	11
II.2.5)- Hydrogéologie de la région :	12
II-3) – Données climatiques :	13
II-3-1) – Choix de la station météorologique :	13
II-3-2) – Température:	15
II-3-3) – Autres facteurs climatiques :	16
II-4) – Pluviométrie :	17
II-5) – le régime climatique du bassin :	18
II-6) -Réseau hydrographique :	19

CHAP III : Etude hydrologique

III.1) - Introduction :	20
III.2) - Caractéristiques morphométriques des bassins versants:	20
III.2-1) - Définition du bassin versant :	20
III.2-2) - La superficie du bassin :	21
III.2-3) - Caractéristiques des altitudes (hypsométrie).....	23
III.2-4) - La forme des bassins : Indice de compacité.....	16
III.2-5) - Le système des pentes :	16

III.3) - Le réseau hydrographique:	18
III.3.1) - Présentation:	18
III.3.2) - Hiérarchisation du réseau.....	18
III.3.3) - Densité de drainage :.....	19
III.3.4) - Le temps de concentration :.....	19
III.4)- Analyse des données pluviométriques :.....	38
III.4.1)- Pluie moyenne annuelle :	38
III.4.2) -Pluies maximales journalières :	39
III. 4.3) - Caractéristiques de la série :.....	40
III.4.4) : Choix de la loi d'ajustement :	41
III.4.5)- Pluies de courte durée :.....	44
III.5)-Les apports :	47
III.5.1)- Apports liquides :.....	47
III.5.2)- Evaluation des apports solides :.....	49
III.6)-Etude de crues :	49
III.6.1)-Différentes méthodes d'évaluation des crues :	49
III.6.2)- Application sur le bassin versant :.....	50
III.6.3)- Hydrogrammes des crues :	53
III.7)- Conclusion :	54

CHAP IV: Aménagement de Protection

IV.1)- Introduction :	55
IV.2) - Calcul hydraulique :.....	55
IV.2.1)- Les conditions de l'écoulement uniforme :	55
IV.2.2) -Les formules principales de calcul :.....	56
IV.2.3)-Détermination de coefficient de Chézy :.....	56
IV.3) - les Aménagements adoptés pour la protection	59
<i>Conclusion générale.....</i>	<i>64</i>
<i>Bibliographie</i>	<i>66</i>
<i>Les Annexes.....</i>	<i>67</i>

Introduction générale

L'eau est un élément vital qui se trouve dans tous les domaines de notre vie quotidienne, elle est aussi destructrice dans des situations de pénurie ou des situations d'abondance. Dans ce dernier cas elle peut provoquer des dégâts matériels énormes et parfois, malheureusement, des dégâts humains et des catastrophes importantes.

Le risque des inondations n'est pas un problème récent, depuis l'existence de l'homme sur la terre, celui-ci a préféré s'installer dans des régions à relief plat et aux environs des points d'eau et dans des zones occasionnellement inondables, ce qui lui permet de réaliser ses activités habituelles (agriculture, industrie, ...)

Des cités entières se sont développées et prospérées à proximité des cours d'eau, cette proximité a contribué dans le développement de l'Homme mais a été engendrée aussi par un risque d'inondation considérable.

On admet qu'une rivière est en crue lorsqu'elle déborde des limites de son lit mineur. Il s'agit d'un phénomène naturel périodique qui ne se produit que lorsque les débits deviennent considérables. On parle alors de crue critique laquelle peut engendrer une inondation sur les zones riveraines.

Les formations des crues et des inondations proviennent avant tout de conditions exceptionnelles d'alimentation des cours d'eau que se soit par des pluies ou des fontes de neiges. Elles sont accidentelles si elles résultent de l'action de l'homme (rupture des barrages,).

Devant cette menace, l'homme à tenter d'aménager, de modifier et d'apprendre à gérer le système fluvial, cela constitue une condition sine qua non pour réduire le risque d'inondation qui représente le risque naturel le plus couteux, le plus répondu, faisant plus de victimes et de dégâts dans le monde.

Les inondations peuvent exercer leur influence sur le processus du développement économique de plusieurs manières, d'une part, elles sont la cause de dégâts conséquents. Elles détruisent des récoltes, emportent des routes et des habitations, endommagent tout ce qu'elles atteignent, provoquent parfois des pertes humaines.

L'objectif de notre travail est d'étudier l'inondation de la commune de Still, et de traiter les moyens de protection contre ce phénomène par un aménagement hydraulique de protection ,qu'on va dimensionner selon les données de bases et l'étude hydrologique qu'on doit faire .

Afin de rayonner sur l'ensemble des aspects liés à cette problématique, notre étude a cerné les volets ci-dessous :

- Problématique des inondations,
- Données de base,
- Etude hydrologique,
- Méthode de Protection,

Et on termine par une conclusion générale

CHAP I : Généralités sur les inondations

I-1)- Introduction :

Le terme «inondation» fait souvent référence aux débordements de cours d'eau qui engendrent la submersion des terrains environnants. Elles peuvent être bénéfiques quand elles sont lentes et procurent des apports de limons fertilisants. Cependant, elles peuvent être désastreuses et dévastatrices si rapides et violentes.

En attendant, les analyses faites à propos des crues et des inondations dans notre pays mettent en évidence leur violence et leur spontanéité ainsi que leur survenance brutale après une période de sécheresse.

I-2)- Genèse des crues et des inondations :

Sous les termes de crues et d'inondations se cache un phénomène multiforme. Les crues, terme plutôt hydrologique, désigne le dépassement d'un certain débit ou d'une certaine hauteur par un cours d'eau. Cette hauteur d'eau peut être qualifiée en fonction de sa durée de retour ; par exemple une crue décennale est une hauteur d'eau ou un débit qui a une chance sur dix de se produire .

Le terme inondation est d'acceptation plutôt topographique ou géomorphologique. Il désigne le débordement d'un cours d'eau de son lit mineur, mais aussi le remplissage d'une cuvette topographique par les eaux de ruissellement local. Ce type d'inondations pluviales se distingue par la vitesse de l'eau, le volume d'eau écoulé et la hauteur d'eau. Ces paramètres sont essentiels pour comprendre les dommages et instaurer des politiques de prévention efficaces .

I-2-1)- Lits du cours d'eau :

Le lit d'une rivière étant façonné par les eaux qu'il transporte on conçoit que ses dimensions

soient fortement liées aux régimes hydrologiques

a)- Lit mineur : qui est constitué par le lit ordinaire du cours d'eau, pour le débit d'étiage ou

pour les crues fréquentes (crues annuelles comprise entre un an a deux ans) (**Merabet, 2006**).

b)- Lit moyen : Il correspond à l'espace fluvial ordinairement occupé par la **ripisylve**.

c)- **Lit majeur** : comprend les zones basses situées de part et d'autre du lit mineur, sur une distance qui va de quelques mètres à plusieurs kilomètres. Sa limite est celle des crues exceptionnelles dont la période de retour est de l'ordre de cent ans.

Le lit majeur alors fait partie intégrante de la rivière ; si en s'y implantant, on s'installe donc

dans la rivière elle-même. Cet espace (lit majeur) occupé par un cours d'eau lors d'une inondation peut -être partagé en deux zones :

- ❖ Une zone d'écoulement, au voisinage du lit mineur, où le courant.
- ❖ Une zone de stockage des eaux, où la vitesse est faible. Ce stockage est fondamental, car il permet le laminage de la crue, c'est -à-dire la réduction du débit et de la vitesse de montée

des eaux à l'aval (Merabet, 2006).

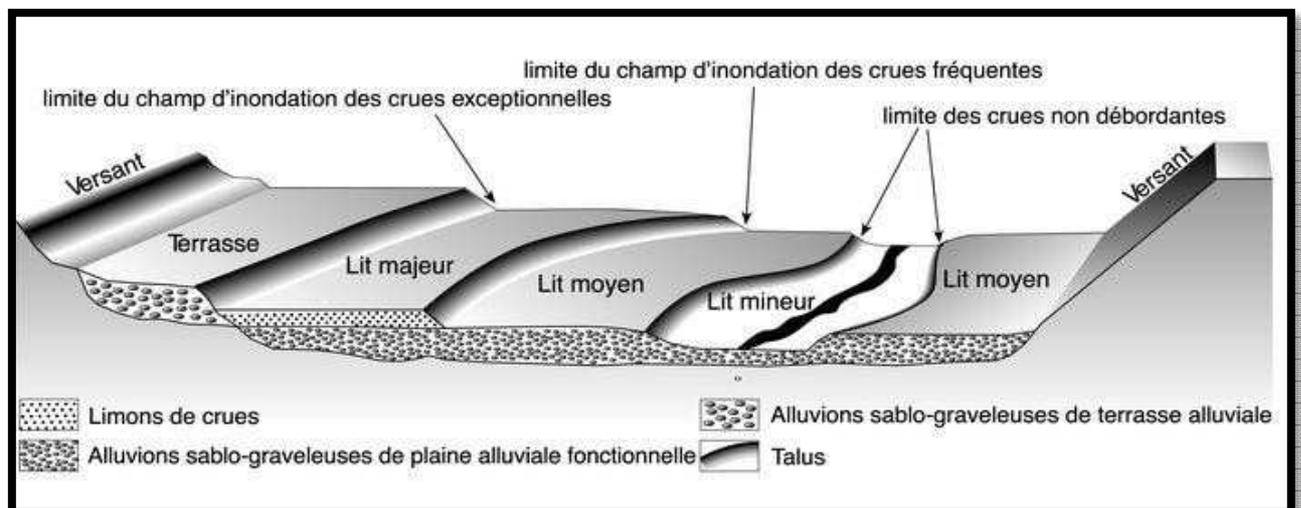


Figure 1 : les Lits d'un cours d'eau

I-2-2)- Types d'inondations :

On distingue plusieurs types d'inondations selon la nature de la crue qui les occasionne :

- **Par débordement direct** : Le cours d'eau sort de son lit mineur pour occuper son lit majeur, les sites en bordure de cours d'eau sont le plus souvent inondés par un débordement direct. En fait, une rivière a deux lits : le lit mineur où les eaux s'écoulent en temps ordinaire, et le lit majeur incluant les zones basses situées de part et d'autre du cours d'eau. Après des pluies fortes ou persistantes, les rivières peuvent déborder et s'écouler à la fois en lit mineur et en lit majeur.

- **Par débordement indirect** : Les eaux remontent par effet de siphon à travers les nappes alluviales, les réseaux d'assainissement ...

- **Par stagnation d'eaux pluviales ou ruissellement** : Liée à une capacité insuffisante d'infiltration, d'évacuation des sols ou du réseau de drainage lors de pluies anormales. Ces inondations peuvent se produire en zone urbanisée, en dehors du lit des cours d'eau proprement dit, lorsque l'imperméabilisation des sols et la conception de l'urbanisation et des réseaux d'assainissement font obstacle à l'écoulement normal des pluies intenses (orages, en particulier de type cévenol).

- **Inondation par rupture d'une protection** : L'inondation consécutive à une rupture de digue est un phénomène très brutal et d'autant plus dommageable que le site étudié est proche de la digue. Une rupture peut provoquer l'entrée d'un mur d'eau de plusieurs mètres de haut. Il est très difficile de prévoir la rupture d'un ouvrage de protection, ce qui rend la prévention de ce type d'accident particulièrement incertaine.

Il y a lieu de noter, ici, quelques cas significatifs des inondations survenues à :

- **Azazga (Tizi Ouzou)**, le 12 octobre 1971 et qui ont occasionné 40 morts et des centaines d'habitations détruites.

Tizi Ouzou, du 28 au 31 mars 1974 et qui ont provoqué 52 décès dans la Wilaya, 18000 sinistrés et des dégâts évalués à l'époque à 27 millions de DA.

- **El Eulma (Sétif)**, le 1er septembre 1980 qui ont fait 44 décès, **Annaba**, le 11 novembre 1982, au niveau du centre-ville et qui ont fait 26 morts et 9500 sinistrés.

- **Jijel**, le 29 décembre 1984 et qui ont occasionné 29 morts et 11000 sinistrés.

- **Bordj Bou Arréridj**, le 23 septembre 1994 et qui ont provoqué 16 décès et des dégâts évalués à 10.000.000DA.

- **Alger (Bab-El-Oued)**, le 10 novembre 2001, et qui ont fait 710 décès, 115 disparus et 30 milliards de DA de pertes.

En effet, si les inondations sont classées comme catastrophe naturelle et sont la conséquence d'importantes chutes de pluie, il n'en demeure pas moins que dans plusieurs régions, elles sont imputables aux agissements de l'homme.

Parmi les causes fondamentales à l'origine de ces catastrophes, il convient de citer notamment:

- une situation météorologique particulière se traduisant par une forte pluviométrie ;

- une défaillance des réseaux d'évacuation ;
- des gonflements d'oueds par des décombres et détritiques ;
- des constructions qui dévient le cours naturel des oueds ;
- l'extension urbanistique des villes dont certaines se sont développées près et au flanc des montagnes, telles que Ain Défla, Batna, Médéa, et d'autres qui se trouvent actuellement traversées par des oueds telles que Sidi Bel Abbés et Bordj Bou-Arredj.

I-2-3)- Effets des inondations sur la santé humaine :

Les effets sanitaires se répartissent en trois catégories, selon le moment où ils surviennent :

- Effets survenant durant ou immédiatement après l'inondation ;
- Effets se développant dans les jours voire les premières semaines suivant l'inondation
- Effets à plus long terme, susceptibles d'apparaître après des mois ou des années et/ou durer des mois voire des années.

Toutes ces catégories peuvent se subdiviser en effets directs et indirects sur la santé.

Tableau 1: Effets sanitaires des inondations

Effets directs	
Causes	Conséquences pour la santé
Rapidité d'écoulement des eaux ; caractéristiques topographiques ; absence d'alerte préalable ; début de la crue ; hauteur atteinte par des eaux ; glissements de terrain ; comportements à risque ; eaux s'écoulant rapidement et charriant des blocs de pierre et des arbres	Noyade ; blessures
Contact avec l'eau	Maladies respiratoires ; choc ; hypothermie ; arrêt cardiaque
Contact avec des eaux polluées	Blessures infectées ; dermatites ; conjonctivites ; maladies gastro-intestinales ; infections ORL ; éventuelles maladies graves d'origine hydrique

Augmentation du stress physique et émotionnel	Risque accru de troubles psychosociaux et d'incidents cardiovasculaires
Effets indirects	
Causes	Conséquences pour la santé
Dégâts subis par les systèmes d'approvisionnement en eau, les systèmes d'épuration et le réseau d'égouts ; approvisionnement insuffisant en eau potable ; approvisionnement insuffisant en eau pour la toilette	Éventuelles infections d'origine hydrique (E. coli entérotoxigène, Shigella, hépatite A, leptospirose, giardiase, campylobactériose) ; dermatites ; conjonctivites
Perturbation dans les systèmes de transport	Pénurie d'aliments ; gêne pour les secours d'urgence
Dommages causés aux conduites souterraines ; et aux réservoirs de stockage ; inondations de sites abritant des déchets toxiques ; rejets de produits chimiques ; dommages subis par des réservoirs contenant du pétrole, pouvant entraîner des incendies	Effets potentiels aigus ou chroniques dus à une pollution chimique
Eaux stagnantes ; fortes précipitations ; expansion des habitats des vecteurs de maladie	Maladies transmises par vecteurs
Migration des rongeurs	Éventuelles maladies transmises par les rongeurs
Désorganisation des réseaux sociaux ; pertes des biens, de l'emploi et d'êtres chers (membres de la famille et amis)	Éventuels troubles psychosociaux
Activités de nettoyage après l'inondation	Électrocution ; blessures ; lacérations ;

	perforations
Destruction des produits alimentaires de base	Pénurie alimentaire
Dommages subis par les services sanitaires ; désorganisation des activités de services sanitaires « normaux »	Diminution des prestations de services de santé « normaux » ; accès insuffisant à des soins médicaux

Les effets des inondations ne se limitent pas aux dommages matériels et humains directs ou indirects à la suite des épidémies provoquées par le manque d'eau potable. Les eaux de ruissellement rapides entraînent l'érosion du sol ainsi que des problèmes de dépôts de sédiments

Lorsqu'elles se prolongent, les inondations retardent la circulation, endommagent les systèmes de drainage et compromettent les pratiques agricoles. Les culées de ponts, les rives, les embouchures d'égouts sont endommagées ce qui est clair dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2: la navigation et l'approvisionnement en énergie hydroélectrique

Services d'eau potable	Services d'assainissement
<ul style="list-style-type: none"> - arrêt de production - mise en distribution d'eau non potable - pression insuffisante - modification des caractéristiques de l'eau distribuée 	<ul style="list-style-type: none"> - aggravation des inondations au détriment d'habitations, d'infrastructures ou d'activités économiques - pollution prolongée résultant de l'arrêt de l'épuration



Figure 2 : Inondations en Ghardaïa (10/2008).

CHAP II. Données de base

II.1) - Introduction:

Avant tout projet de protection contre les inondations, l'étude du site est nécessaire pour connaître les caractéristiques physiques du lieu et les facteurs influençant sur la conception du projet, qui peuvent se répartir en (04) classes:

- Les données relatives à l'agglomération;
- Les données naturelles du site;
- Les données relatives au développement futur de l'agglomération;
- Les données propres des Oueds.

II -2) : Données naturelles du site :

II.2.1) - Situation géographique :

La commune de « Still » est située au nord ouest de la wilaya d'El Oued, au pied du versant orient des monts du Zeb, Elle appartient administrativement à la wilaya d'El Oued d'où elle représente son front nord (R.N :03)

Sa situation géographique est définie par les coordonnées UTM (Universal Transverse Mercator) suivantes :

- $X = 768700 \text{ m}$
- $Y = 3794600 \text{ m}$
- $Z = 10 \text{ m}$

II.2.2)- Limitrophe :

La commune de « Still » couvre une superficie globale de 905 km², elle est délimitée administrativement par :

- ✓ Au nord : par la Wilaya de Biskra
- ✓ A l'ouest : par El bâadj commune d'Om tiour
- ✓ Au sud : par la commune d'Om tiour
- ✓ A l'est : par Lemguibra commune d'El hamraia

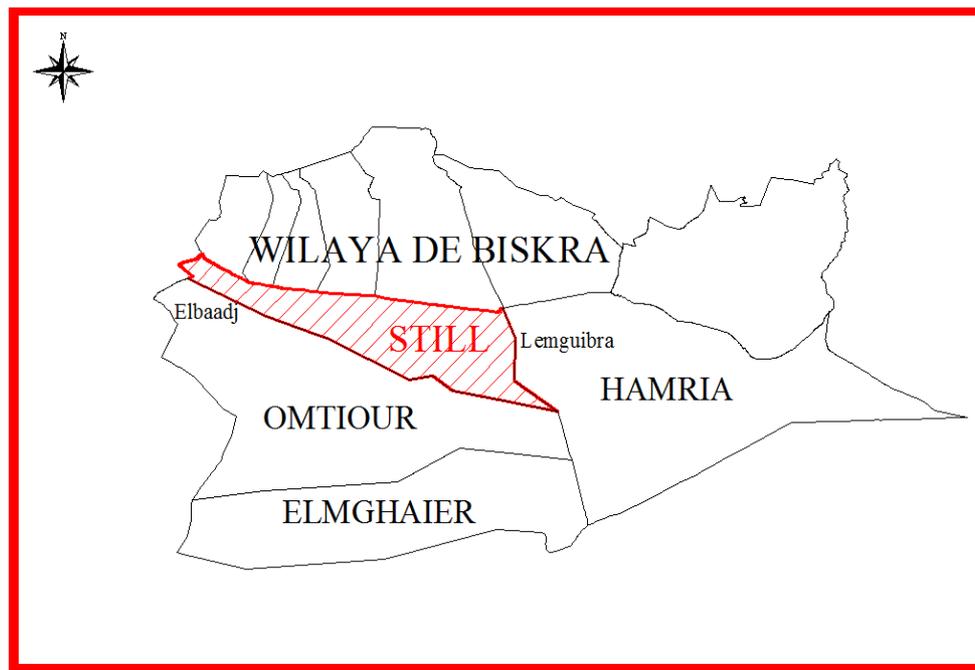


Figure 3 : Situation géographique de la commune de Still

II.2.3)- Situation Topographie:

Les premières remarques à prendre après la constatation du levé topographique de la zone d'étude sont :

- Le sens de l'écoulement de : Oued Ittel est « ouest-est ».
- Oued Ittel traverse la R.N : 03 sur une distance dépasse les 800 m.
- L'agglomération principale de Still se trouve à une distance de 700 m au nord de la rivière.
- L'apparition des exploitations agricoles aux rives d'oued Ittel.
- Une déviation de la R.N 03 au niveau croisement d'oued Ittel.
- Localisation des formations (accumulations sableuses) au lit de l'oued au niveau de la traversée de route et la déviation routière.
- Destructions de la déviation routière probablement due au débordement de l'oued.
- Le cheminement naturel du cours d'eau est influencé par des ouvrages installés au niveau de la RN03
- Disparition des berges aux contours de la déviation routière.

Le levé topographique montre que l'altimétrie de l'assiette varie de $Z= 19.123\text{m}$ à $Z= - 5.596\text{m}$

II.2.4)-Géologie du site :

La figure suivante illustre les unités géologique d’Algérie d’où on peut classer notre région d’étude à la fosse de Melrhir

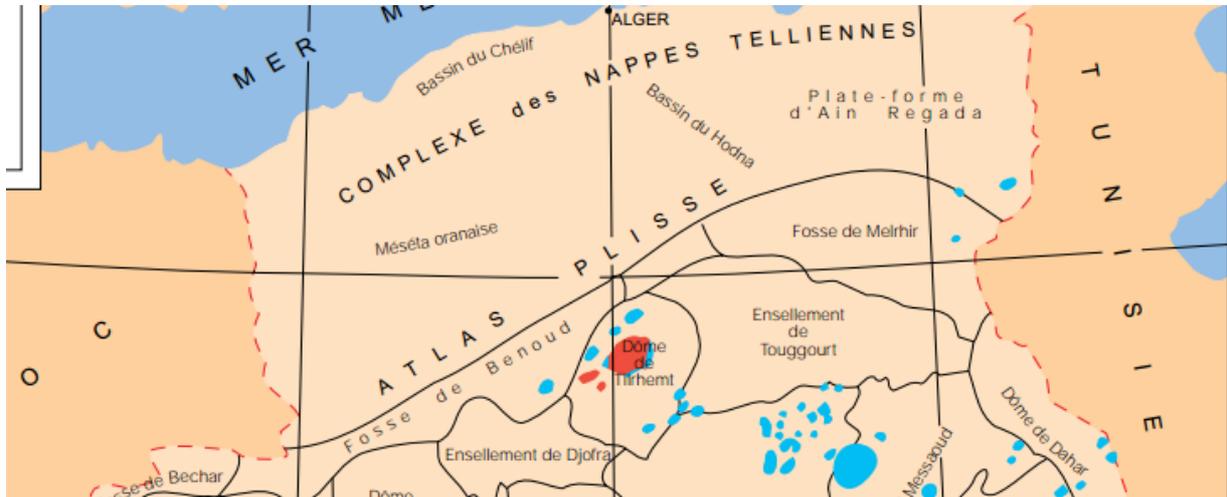
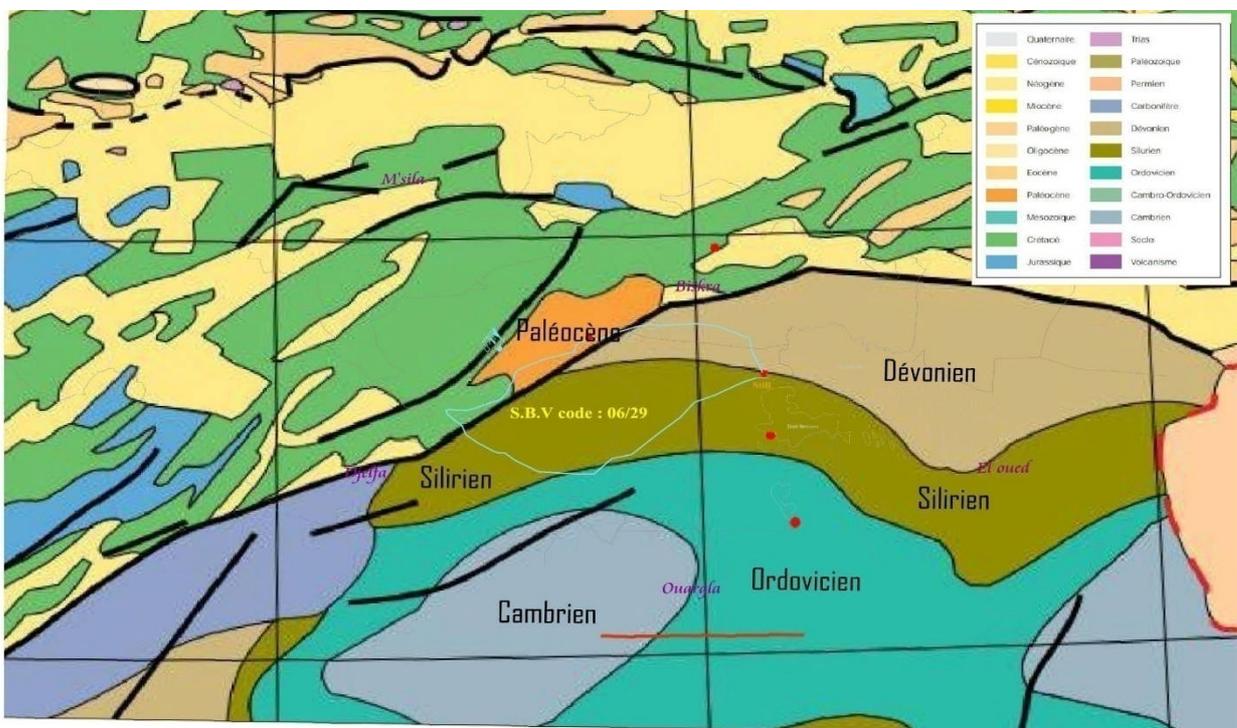


Figure 4 : Les unités géologique d’Algérie.

Cette carte nous montre les formations géologique qui forment notre S. bassin versant d’où on distingue deux principaux formations appartient au Paléozoïque qui sont : Silurien - Dévonien.



Extrait de carte géologique d’algérie-SONATRACH Division Exploration
Echelle 1/2 800 000

Figure 5 : Formations géologiques du bassin versant

II.2.5)- Hydrogéologie de la région :

Le Sahara algérien est subdivisée en quatre unités hydrogéologiques (Figure n° :04) qui sont :

- L'unité de Saoura-Tindouf.
- L'unité du Chott Melhir
- L'unité du Sahara septentrional
- L'unité du Hoggar-Tassili.

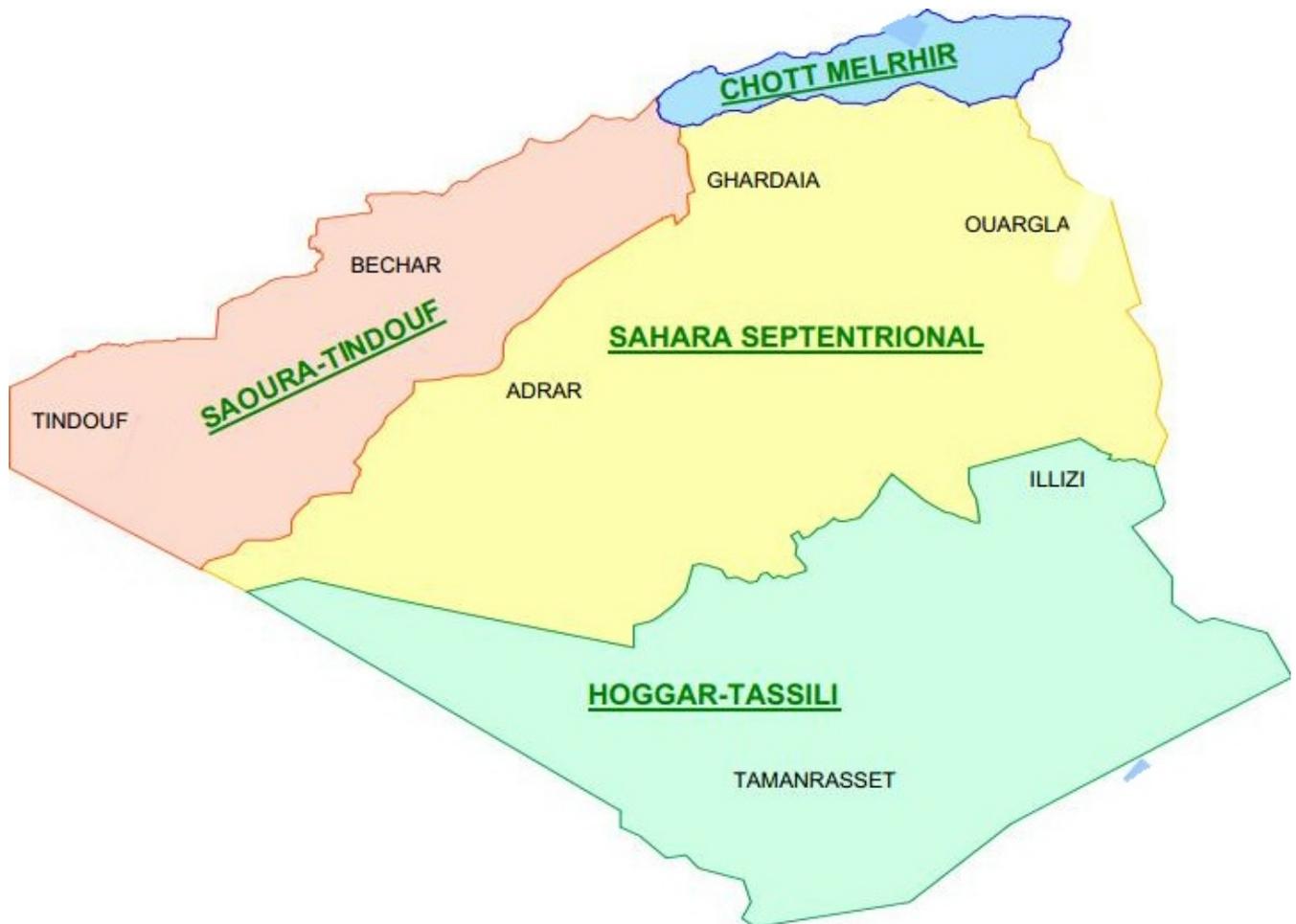


Figure 6 : Les unités hydrogéologiques du Sahara algérien.

La région connaît trois types des Aquifères

La nappe phréatique -Le Continental Intercalaire(CI) - et le Complexe Terminal (CT)

II-3) – Données climatiques :

Les conditions climatiques jouent un rôle déterminant sur le régime d'un cours d'eau, ce sont les précipitations surtout liquides, qui constituent le facteur essentiel intervenant par : Leur répartition annuelle et mensuelle, leur total journalier et surtout les averses génératrices des crues.

Ces différents aspects des précipitations sont plus ou moins modifiés selon un effet combiné des autres paramètres physiques (altitude et exposition) et climatiques : la température l'évaporation l'évapotranspiration, les vents et l'humidité aussi ; des facteurs qui influent sur l'écoulement et le régime hydrologique du bassin.

II-3-1) – Choix de la station météorologique :

Malheureusement, aucune station météorologique ou pluviométrique n'est envisagée dans le bassin. Alors, nous sommes obligés de baser sur les données climatiques des stations les plus proches, pour cela on utilise la carte qui montre la répartition spatiale des stations disponibles dans la région :

Il est clair que l'unique station la plus proche est celle de Biskra situé à l'Aéroport de la wilaya.

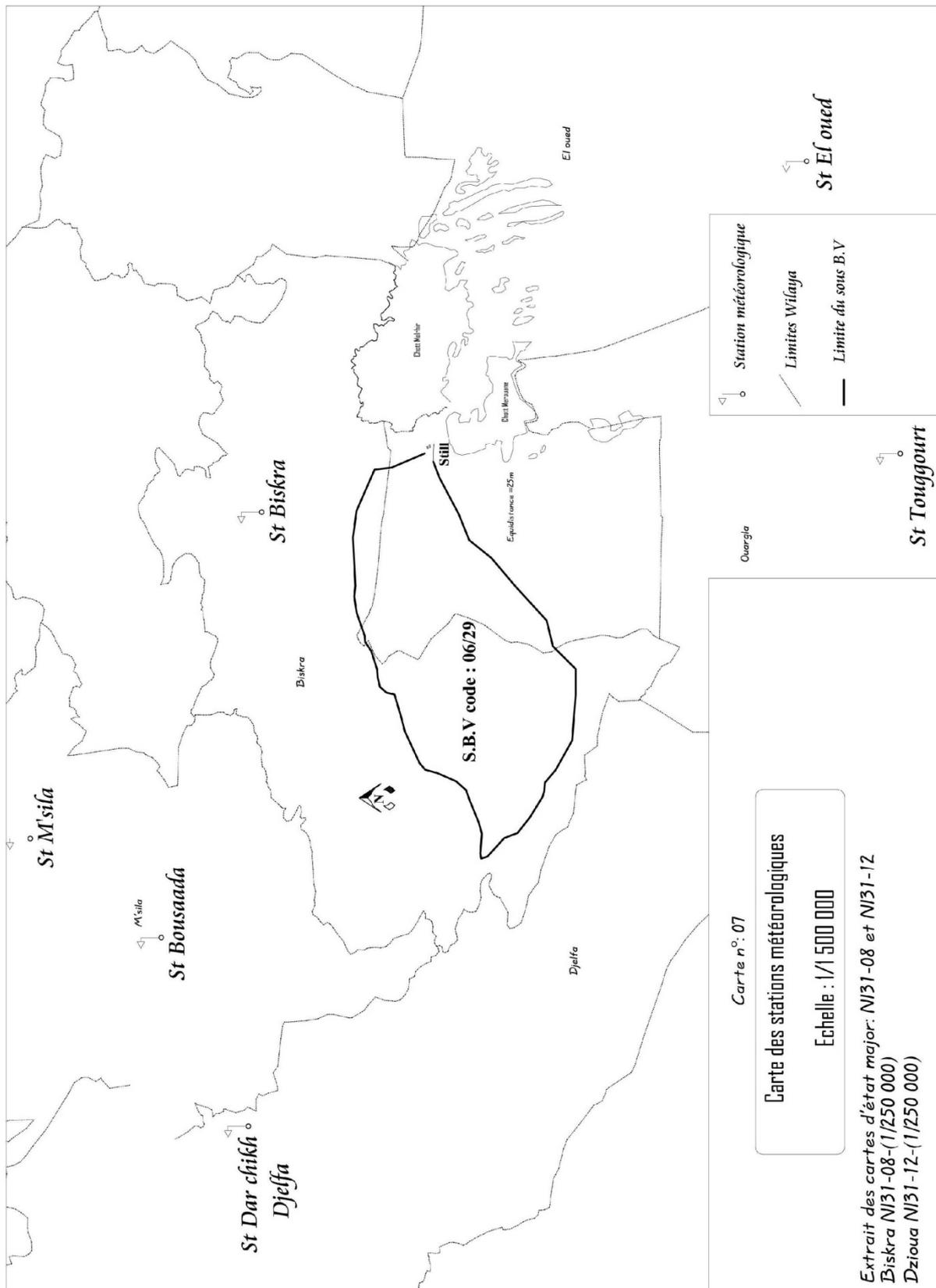


Figure 7 : Carte des stations météorologiques

II-3-2) – Température:

La température est un facteur très important, qui conditionne les phénomènes et les paramètres du bilan hydrologique en particulier.

L'étude des températures moyennes mensuelles et annuelles est primordiale, car c'est elles qui nous permettent d'évaluer les déficits d'écoulement des bassins versants.

La figure, montre la variation des températures moyennes mensuelles interannuelles maximales et minimales.

Tableau 3 : les températures moyennes mensuelles enregistrées (ANRH.Biskra)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Température moyenne (C°)	28.71	22.78	16.88	12.86	12.35	14.03	16.76	20.11	25.02	30.45	33.56	33.28
Température moy max (C°)	34.19	27.90	21.57	17.6	16.69	19.17	22.27	25.73	30.86	36.68	39.93	39.35
Température moy min (C°)	23.16	17.65	12.15	8.11	7.16	8.86	11.25	14.43	19.11	21.15	27.14	16.69

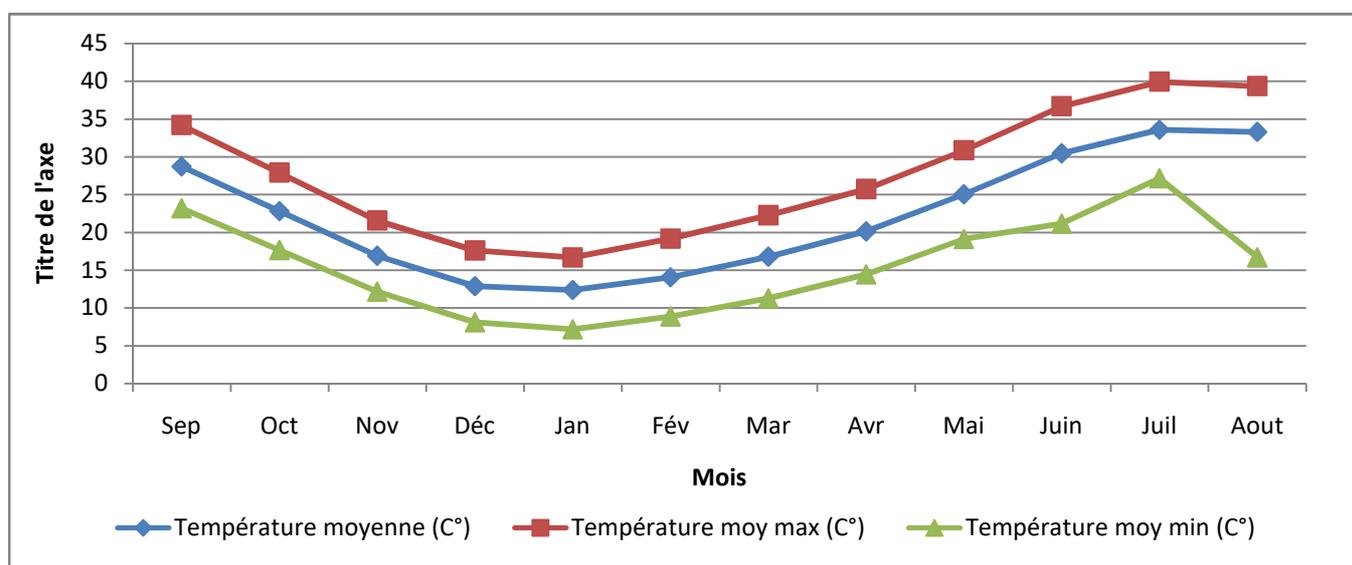


Figure 8 : les températures moyennes mensuelles enregistrées

D'après la figure et le tableau , l'un des points essentiels qu'il faut retenir c'est la division de l'année en deux saisons thermiques :

La saison chaude s'étend de mai à octobre, mais pendant lesquels les températures moyennes sont supérieures à la moyenne annuelle qui est de 22c°. Avec un maximum en juillet ou août, qui atteint environ la valeur de 40c° alors que la saison froide correspond à la période entre novembre et avril avec un minimum en janvier de 7.16c°.

-L'amplitude thermique annuelle qui traduit la différence entre la température moyenne du mois le plus chaude et celle du mois le plus froid est environ 17c° pour la station de Biskra

II-3-3) – Autres facteurs climatiques :

Les facteurs climatiques jouent un rôle important dans le comportement hydrologique des cours d'eau alimentant un bassin versant.

Pour la station de Biskra, elles sont fournies par l'ANRH de Biskra, pour une période de 10 ans (1990- 2000)

Le tableau n°4 résume ces principales données qui complètent l'analyse climatique du bassin versant.

Tableau 4 : Données des autres paramètres climatiques station de Biskra.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Moyenne
Vitesse moyenne mensuelle du vent (m/s)													
	5.02	5.06	5.10	5.14	4.76	5.77	5.88	5.98	5.61	5.31	4.85	4.33	5.24
Fréquence mensuelle du sirocco													
	1.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.7	0.8	0.7	1.8	1.1	1.2	8.00
Humidité relative moyenne mensuelle (%)													
	38.45	45.46	52.36	57.18	58.18	48.82	43.43	37.55	32.54	28.82	26.55	29.09	41.54
Insolation moyenne mensuelle (heure)													
	272	263	228	226	220	248	266	294	324	336	368	341	282.17
Evaporation moyenne mensuelle (mm)													
	329.18	246.45	163.6	123	119.09	156	205.9	293	354.64	413.2	450.9	412.2	3267.67

II-4) – Pluviométrie :

La pluviométrie dans les zones sahariennes se caractérise par la rareté et par des faibles quantités annuelles

Tableau 5 : les précipitations moyennes mensuelles enregistrées à la station de Biskra (1971-2004).(ANRH.Biskra in BOUMESSENEGH 2006)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Année
Pluie moy	12.5	9.65	15.6	8.89	14.5	5.98	13.4	12.7	8.25	5.55	0.618	3.68	111.30

Autrement, il faut signaler aussi que pendant ces années la météo de la région à marquer des pluies à forte intensité avec brutalité dite « Averse ».

** **L'averse** : est une précipitation se caractérisant par un début et une fin brusques et par des variations rapides d'intensité. Souvent forte et de courte durée, elle provient de nuages comme le cumulus bourgeonnant et donne de la pluie.

Nous et dans notre études de protection contre les inondations on intéresse beaucoup à ce type des pluies. Pour ça nous avons demandés les données de précipitation extrêmes Cette période suivant l'office national de météo (ONM) est « Automne 1969 »

Tableau 6 : Les précipitations journalières extrêmes à la station de Biskra « ONM »

Mois	Sep 1969	Oct 1969	Nov 1969	Déc 1969
jours	Pluie enregistrée en jours			
01	10	0.6	0	0.2
02	0.5	0	0	0
03	0.6	0	0	0
04	0	0	0	0
05	0	17	0	5.1
06	0	16.6	0	0
07	3.1	0	0	0
08	19.2	0	0	0
09	7.6	4	0	0
10	0	18.5	0	0
11	4.2	0	0	0
12	1.7	0	0	0
13	1	0	0	0

14	0	0.2	0	0
15	0	0	0	0
16	0	0	0	0
17	0	0	2.4	7.6
18	0	0	0	0
19	0	0	0	0
20	0	6.6	0	0
21	0	36.1	0	0
22	0	2.6	0	0
23	0	0	0	0
24	0	0	0	0
25	0	0	0.8	0
26	11.2	0	0	0
27	95.7	0	0	0
28	122.2	14.7	2.2	0
29	16.5	34	0	0
30	0	0	1.3	0
31	283.5	150.9	6.7	12.9

II-5) – le régime climatique du bassin :

La combinaison des deux principaux facteurs climatiques températures et précipitations est intéressante dans la mesure, où elle permet de déterminer les mois véritablement secs, qui correspondent selon la définition de F. Bagnouls et H.Gaussen, au mois où le total de précipitations est inférieur au double de la température moyenne mensuelle.

Tableau 7 : Température moyennes mensuelles et précipitations moyennes

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Pluie moyenne (mm)	12.5	9.65	15.6	8.89	14.5	5.98	13.4	12.7	8.25	5.55	0.618	3.68
Température °c	28.71	22.78	16.88	12.86	12.35	14.03	16.76	20.11	25.02	30.45	33.56	33.28

Comme la montre le diagramme ombrothermique de la station de Biskra, on observe une saison sèche de deux mois.

Cette répartition n'est que moyenne, car les variations interannuelles des précipitations sont très grandes et certaines années réelles échappent à cette schématisation (1969).

II-6) -Réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique est défini comme étant l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement .c'est l'une des caractéristiques les plus importantes du bassin.

Pour mettre en évidence l'influences sur les agglomérations, nous avons procédé à un découpage en sous bassins qui permet de définir les affluents qui ont une influence directe sur les zones inondées, aussi bien que ceux qui peuvent influencer indirectement

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

- Relief géologie
- Lithologie
- Le climat

Dans ce stade il faut insister sur le bassin versant alimentant l'oued Ittel.

Le bassin versant de « l'oued ittel » (code : 06-29)(Classification ANRH.) d'une superficie de 5292.7 km² ; fait parti du grand bassin « Chott Melghir » (code :06), qui couvre une superficie de 68751 km² et englobe trente (30) sous bassins versants qui part des crêtes de « Djebel Ammour » à Aflou et s'achève à « chott Melghir »

La première étape pratique de notre travail a été la délimitation du bassin versant et ses sous bassins élémentaires. Les petits bassins versants et leurs types d'aménagement jouent un rôle important dans la genèse des crues, la compréhension et éventuellement la maîtrise des phénomènes hydrologiques permettent d'appréhender l'interférence des facteurs macro, microscopiques et physiques pour expliquer la complexité des crues inondantes à des échelles détaillées et plus précises.

CHAP III : Etude hydrologique

III.1) - Introduction :

L'étude hydrologique pour la réalisation d'un ouvrage hydrotechnique révèle une importance considérable. Le but est donc de mettre en évidence les paramètres hydrologiques de l'oued tels que les débits des crues, les apports du bassin versant (apports liquides et solides) qui constituent la base de dimensionnement des ouvrages constituant l'aménagement.

L'hydrologie offre à l'ingénieur des outils d'inventaire et d'analyse des données pour répondre à des besoins sur le plan de la conception des éléments d'un aménagement.

Le dimensionnement, la sécurité et la bonne exploitation des ouvrages hydrauliques sont toujours liée a une évaluation saine non seulement des débits disponibles en moyenne mais surtout des débits extrêmes.

III.2) - Caractéristiques morphométriques des bassins versants:

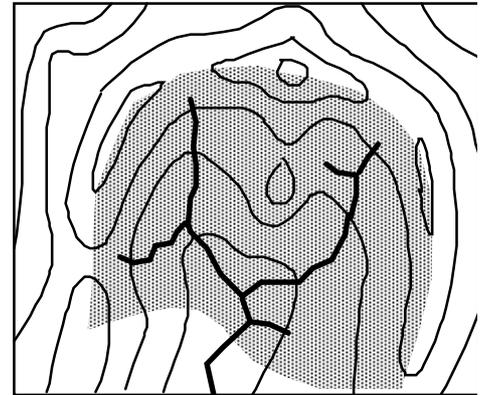
Les différents paramètres morphométriques du bassin notamment, la forme, l'altitude caractéristique, la pente et le relief interviennent et souvent de façon combinée dans les modalités de l'écoulement, donc il convient de les préciser dès le début de toute étude.

III.2-1) - Définition du bassin versant :

Le bassin versant au droit d'une section de mesure est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents en amont de cette section. Tous les écoulements qui prennent naissance à l'intérieur de cette surface topographique passe par la section de mesure pour poursuivre leur trajet à l'aval. Chaque bassin versant est séparé des autres par une ligne de partage des eaux. Cette limite est déterminée sur la carte topographique. En commençant par l'exutoire, on trace à main levée des segments perpendiculaires aux courbes de niveau en passant par les crêtes, aboutissant automatiquement à l'exutoire. Les différents paramètres du bassin versant (forme, altitude, pente, relief.....etc) interviennent dans les différents écoulements.

III.2-2) - La superficie du bassin :

La surface du bassin versant est la première et la plus importante des caractéristiques. Elle s'obtient par planimétrie sur une carte topographique après que l'on y ait tracé les limites topographiques et éventuellement hydrogéologiques. La surface A d'un bassin s'exprime généralement en km².



En absence des zones montagneuses, les limites du bassin de l'oued Ittel ne sont pas nettes pour cela on se basant à la délimitation de l'ANRH

De ce fait, le calcul de la superficie se fait par du planimétrie du bassin. Le bassin versant « code 06/29 » s'étend sur 5292.70km²; on distingue quatre sous bassins :

Tableau 8 : Superficie du bassin versant de l'oued Ittel

S.Bassin versant	Superficie (km2)
Fahama	1271.79
Zerba	650.44
Besbas	1185.31
Ittel	2185.16
Total 06/29	5292.70

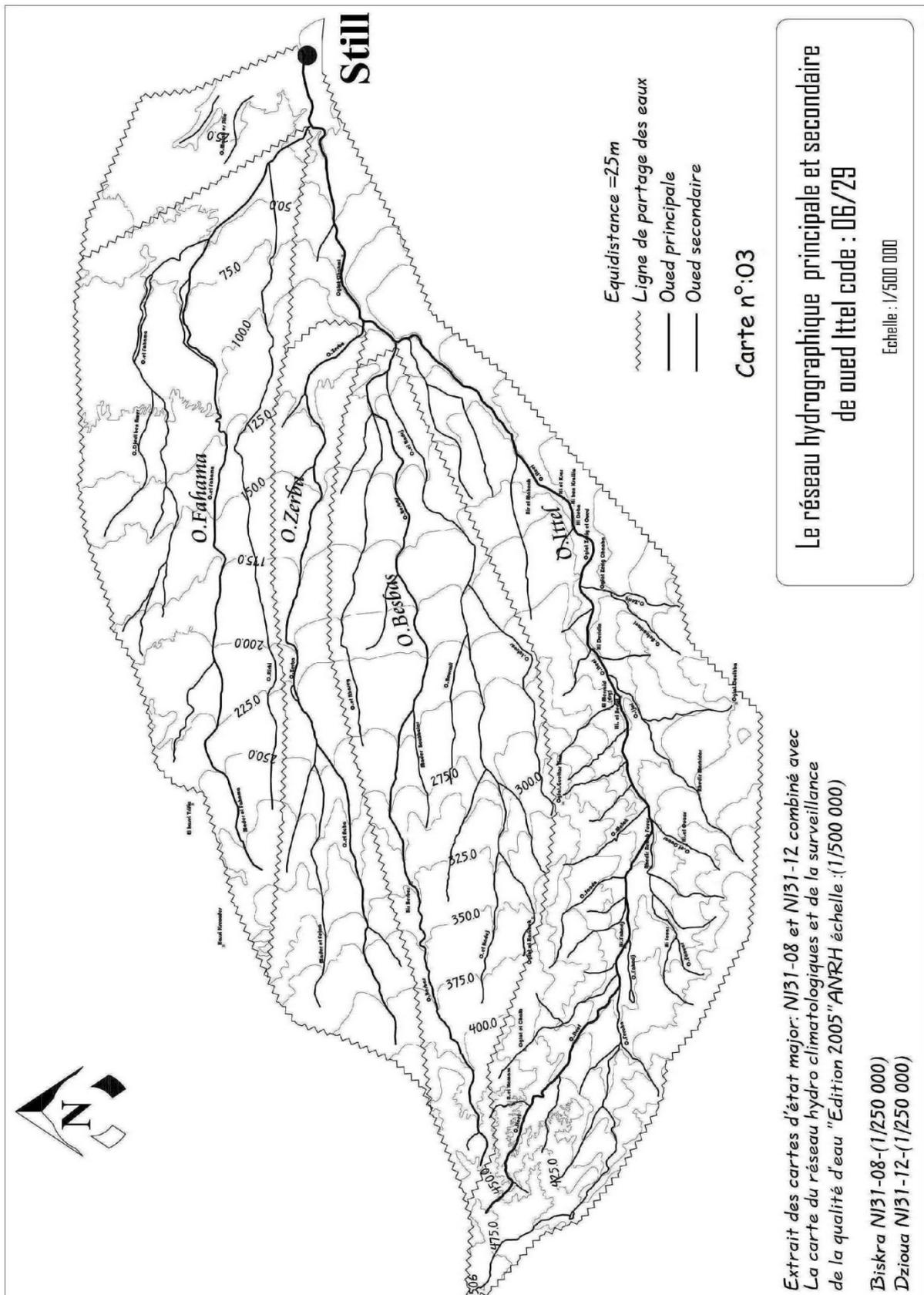


Figure 9 : Réseau hydrographique principale et secondaire

III.2-3) - Caractéristiques des altitudes (hypsométrie)

La plupart des facteurs météorologiques et hydrologiques sont en fonction de l'altitude car c'est de la pente du relief dont dépend le gradient pluviométrique et thermique, ainsi que la vitesse d'écoulement qui sera en principe plus importante en montagne qu'en plaine.

La répartition du bassin versant (en km² et en % de la superficie totale) par tranches d'altitudes est consignée dans les tableaux suivantes et reportée sur la carte n°03- n°:04 ; qui nous renseigne sur les altitudes caractéristiques du bassin

Tableau 9 : La répartition altimétrique du bassin de « l'oued Fahama »

Altitude(m)		Bassin « O Fahama »			
		Superficie partielle		Superficie cumulée	
		Km2	%	Km2	%
325	300	11.95	0.94%	11.95	0.94%
300	275	50.31	3.96%	62.27	4.90%
275	250	56.52	4.44%	118.79	9.34%
250	225	79.28	6.23%	198.07	15.57%
225	200	111.06	8.73%	309.14	24.31%
200	175	103.10	8.11%	412.23	32.41%
175	150	136.49	10.73%	548.72	43.15%
150	125	122.87	9.66%	671.59	52.81%
125	100	161.77	12.72%	833.36	65.53%
100	75	251.73	19.79%	1,085.09	85.32%
75	50	121.22	9.53%	1,206.31	94.85%
50	25	59.70	4.69%	1,266.01	99.55%
25	0	5.78	0.45%	1,271.79	100.00%

Tableau 10 : La répartition altimétrique du bassin de « l'oued Zerba »

Altitude(m)		Bassin « O Zerba »			
		Superficie partielle		Superficie cumulée	
		Km2	%	Km2	%
425	400	10.47	1.61%	10.47	1.61%
400	375	43.39	6.67%	53.86	8.28%
375	350	78.17	12.02%	132.03	20.30%
350	325	49.83	7.66%	181.86	27.96%
325	300	73.06	11.23%	254.92	39.19%
300	275	55.96	8.60%	310.88	47.80%
275	250	49.38	7.59%	360.27	55.39%
250	225	55.74	8.57%	416.01	63.96%
225	200	23.28	3.58%	439.28	67.54%
200	175	43.37	6.67%	482.66	74.20%
175	150	50.14	7.71%	532.79	81.91%
150	125	63.79	9.81%	596.59	91.72%
125	100	52.74	8.11%	649.33	99.83%
100	75	1.11	0.17%	650.44	100.00%

Tableau 11 : La répartition altimétrique du bassin de « l'oued Besbas»

Altitude(m)		Bassin « O Besbas »			
		Superficie partielle		Superficie cumulée	
		Km2	%	Km2	%
475	450	6.86	0.58%	6.86	0.58%
450	425	39.94	3.37%	46.80	3.95%
425	400	41.23	3.48%	88.03	7.43%
400	375	63.92	5.39%	151.95	12.82%
375	350	80.73	6.81%	232.68	19.63%
350	325	103.34	8.72%	336.02	28.35%
325	300	96.69	8.16%	432.71	36.51%
300	275	77.80	6.56%	510.51	43.07%
275	250	135.69	11.45%	646.21	54.52%
250	225	136.92	11.55%	783.12	66.07%
225	200	100.73	8.50%	883.86	74.57%
200	175	108.57	9.16%	992.42	83.73%
175	150	99.26	8.37%	1,091.68	92.10%
150	125	77.40	6.53%	1,169.09	98.63%
125	100	16.23	1.37%	1,185.31	100.00%

Tableau 12 : La répartition altimétrique du bassin de « l'oued Itell »

Altitude(m)		Bassin « O Ittel »			
		Superficie partielle		Superficie cumulée	
		Km2	%	Km2	%
506	475	24.60	1.13%	24.60	1.13%
475	450	44.25	2.03%	68.85	3.15%
450	425	40.71	1.86%	109.56	5.01%
425	400	76.86	3.52%	186.42	8.53%
400	375	118.30	5.41%	304.73	13.95%
375	350	151.27	6.92%	456.00	20.87%
350	325	162.41	7.43%	618.41	28.30%
325	300	166.19	7.61%	784.60	35.91%
300	275	180.55	8.26%	965.14	44.17%
275	250	150.45	6.89%	1,115.59	51.05%
250	225	153.69	7.03%	1,269.28	58.09%
225	200	146.50	6.70%	1,415.79	64.79%
200	175	102.43	4.69%	1,518.22	69.48%
175	150	97.69	4.47%	1,615.91	73.95%
150	125	63.81	2.92%	1,679.72	76.87%
125	100	86.86	3.97%	1,766.58	80.84%
100	75	59.36	2.72%	1,825.94	83.56%
75	50	81.50	3.73%	1,907.44	87.29%
50	25	182.25	8.34%	2,089.69	95.63%
25	0	95.47	4.37%	2,185.16	100.00%

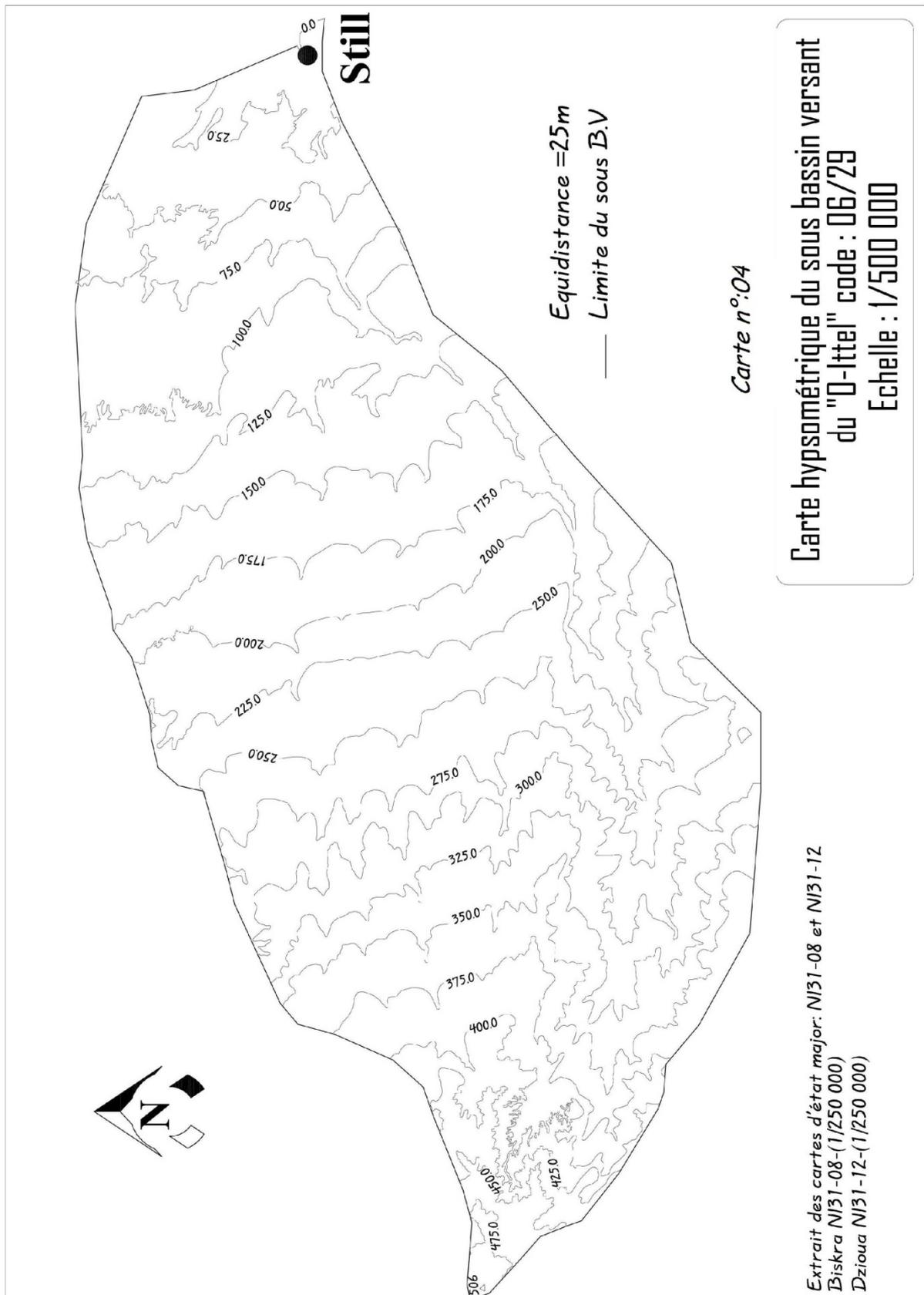


Figure 10 : Carte hypsométrique du bassin versant du Oued Ittel

• **Courbe hypsométrique :**

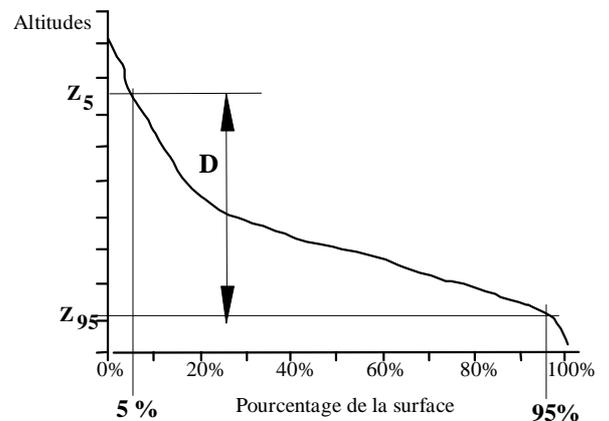
En général, on ne s'intéresse pas à l'altitude moyenne mais plutôt à la dispersion des altitudes.

L'étude statistique permet de tracer la "courbe hypsométrique". Cette courbe donne la surface s (en km² ou en % de la surface totale) où les altitudes sont supérieures à une cote h donnée

Cette courbe est établie en planimétrant pour différentes altitudes les surfaces situées au-dessus de la courbe de niveau correspondante. Cette méthode est précise mais fastidieuse. Une autre consiste à échantillonner les altitudes selon un maillage carré. On admet alors que l'altitude au centre d'une maille est égale à l'altitude moyenne de la maille.

Bien souvent, on définit la "dénivelée D" comme étant la différence de cote entre H5 % et H95 % :

$$D = H5 \% - H95 \%$$



• **L'altitude moyenne :**

$$H_{moy} = \frac{\sum S_i * H_i}{S}$$

H_{moy} : Altitude moyenne

H_i : Altitude moyenne entre deux courbes de niveaux (m)

S_i : Surface cumulée entre deux courbes de niveaux (Km²)

S : Surface total du bassin versant (Km²)

Tableau 13 : 1-Altitudes caractéristiques des bassins élémentaires d'oued ittel

Bassin versant	Hmax (m)	Hmin (m)	Hmax-Hmin (m) Dénivelée	Hmoy (m)
Fahama	325	19	306	144.66
Zerba	425	78	347	257.42
Besbas	475	100	375	267.98
Ittel	506	0	506	238.17

Le bassin de l'oued Ittel atteint 506 m à son point culminant au sommet de Monts du Zeb (ligne de partage entre notre oued et celle d'oued Djedi), tandis que le point le plus bas correspond à la l'intersection avec la ville de Still « Altitude : 0m » (la partie qui nous concerne du bassin). Tant dit que l'oued continuera son parcours vers son exutoire naturel « Chott Melghir ».

Donc la dénivelée totale sera : 506 m. L'altitude moyenne sur l'ensemble du bassin de l'oued Ittel est de 238.17m, déduite de la courbe hypsométrique, elle est plus forte dans les deux bassins élémentaires « Zerba et Besbas » et n'est que de 144.66m sur le bassin de l'oued Fahama

Ces valeurs moyennes et extrêmes n'ont qu'une valeur indicative, dont le rôle se limite à comparer les bassins élémentaires entre eux, alors que la répartition hypsométrique de chaque secteur est plus significative.

Tableau 14 : 2-Altitudes caractéristiques des bassins élémentaires d'oued ittel

Bassin versant	H5% (m)	H50% (m)	H95% (m)
Fahama	287	145	62
Zerba	399	280	127
Besbas	430	272	152
Ittel	438	267	39

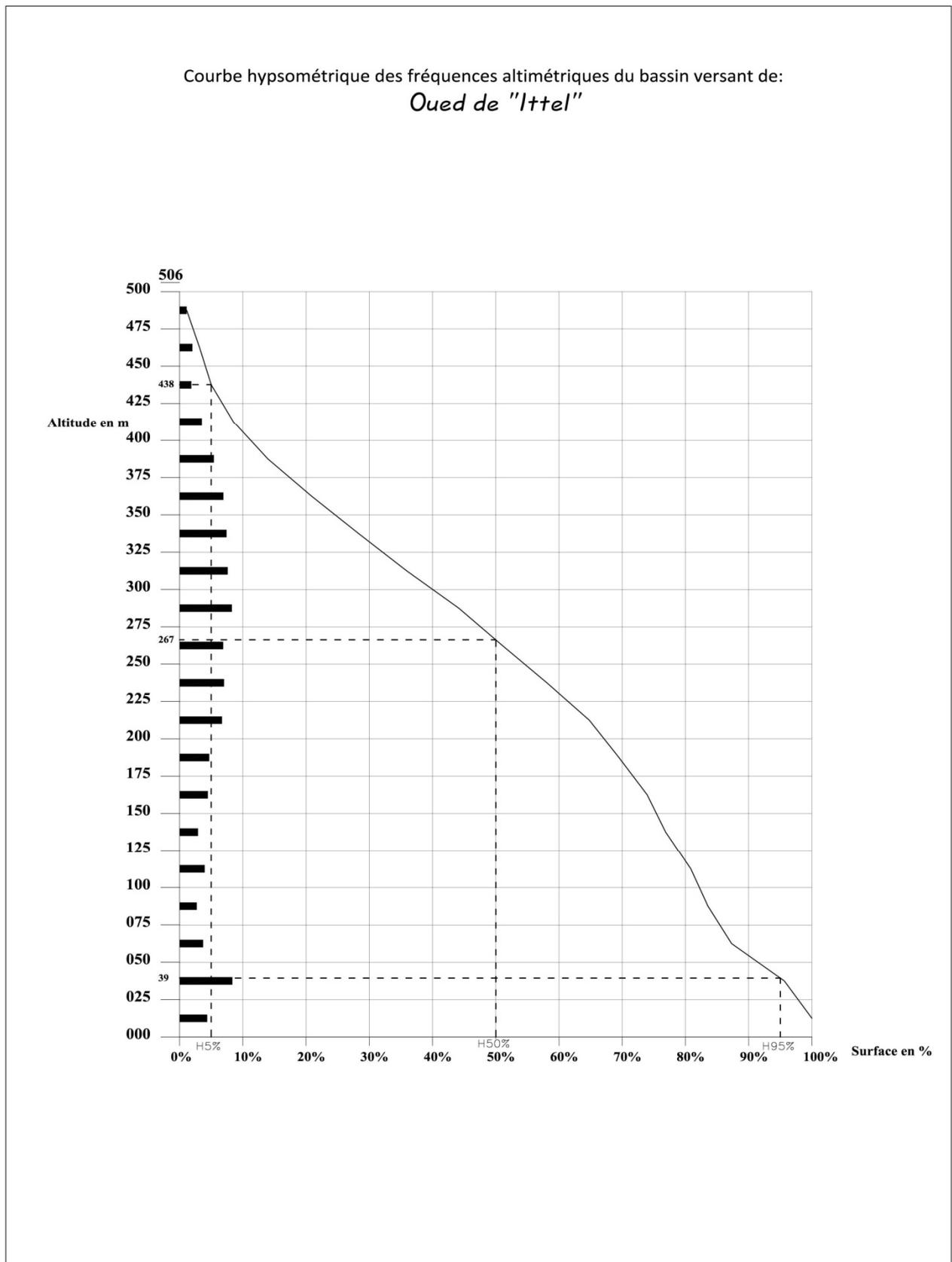


Figure 11 : Courbe hypsométrique du bassin versant de Oued Ittel

III.2-4) - La forme des bassins : Indice de compacité

La forme d'un bassin versant à une influence sur l'écoulement et surtout sur l'allure de l'hydrogramme de crue, ainsi un bassin très allongé ne réagira pas de la même façon qu'un bassin de forme ramassée, si les autres conditions sont par ailleurs égales.

On exprime cette caractéristique par les différents indices, dont **l'indice de compacité** (I_c) de **Gravelluis** qui est défini comme le rapport du périmètre stylisé du bassin au périmètre d'un cercle ayant la même surface, plus cet indice se rapproche de l'unité plus le bassin aura une surface ramassée et plus le temps de concentration de l'eau sera court.

$$I_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

A : surface du bassin versant

P : périmètre du bassin versant

Tableau 15 : Indices de compacité pour les bassins élémentaires d'oued ittel

Bassin versant	S(Km2)	S(%)	L(km)	Ic
Fahama	1271.79	24.02%	198.331	1.569
Zerba	650.44	12.29%	182.715	2.021
Besbas	1185.31	22.40%	190.157	1.558
Ittel	2185.16	41.29%	378.209	2.282

III.2-5) - Le système des pentes :

La pente topographique est un élément capital dans le comportement hydrologique du bassin elle détermine en grande partie l'aptitude des terrains au ruissellement et conditionne la vitesse d'écoulement des eaux de surface par l'effet de la pesanteur.

- L'indice de pente globale**

$$I_g = \frac{H_u}{L} \quad (m/Km)$$

D'où

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

L : longueur équivalent (km)

• **L'indice de pente de Roche Ip**

M. ROCHE a proposé un indice de pente plus facile à calculer : Ip est la moyenne de la racine carrée des pentes mesurées sur le rectangle équivalent, et pondérée par les surfaces. Par ailleurs, cet indice simple est étroitement corrélé avec l'indice de pente de global ($I_g = 0,8 Ip^2$), avec un coefficient de corrélation de l'ordre de 0,99. (Eléments d'hydrologie de surface, J.P. LABORDE ECOLE POLYTECHNIQUE DE L'UNIVERSITE DE NICE)

Alors

$$Ip = \sqrt{\frac{I_g}{0.8}}$$

• **Dénivelée spécifique Ds**

$$Ds = I_g * \sqrt{S}$$

• **Rectangle équivalent :**

Le rectangle équivalent est un modèle établi par ROCHE. Il assimile le bassin en un rectangle ayant même surface et périmètre que celui du bassin versant considéré de longueur L et largeur l, l'exutoire est représenté par une largeur du rectangle et les courbes de niveaux sont des parallèles

$$L = \frac{Kc \cdot \sqrt{S}}{1,128} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{Kc} \right)^2} \right)$$

L : Longueur du rectangle équivalent (Km) ;

Kc : Coefficient de Gravelius ;

S : L'air du bassin versant (Km²).

Tableau 16 : Indices des pentes pour les bassins élémentaires d'oued ittel

Bassin versant	S(Km ²)	L(Km)	I _g	I _p « Roche »	D _s	Classe de relief (O.R.S.T.O.M)
Fahama	1271.79	84.07	6.309	2.81	225.0	Relief assez fort
Zerba	650.44	83.60	10.665	3.65	272.0	Relief fort
Besbas	1185.31	80.36	8.075	3.18	278.0	Relief fort
Ittel	2185.16	176.80	8.536	3.27	399.0	Relief fort

III.3) - Le réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique est l'ensemble des cours d'eau, affluents et sous affluents permanents ou temporaires, par lesquels s'écoulent toutes les eaux de ruissellement et convergent vers un seul point de vidange du bassin versant (exutoire).

III.3.1) - Présentation :

L'oued Ittel ; c'est le principal dans la région, son réseau hydrographique est constitué par un grand nombre d'affluents et sous affluents, qui collectent les eaux de ruissellement de l'ouest du Zeb qui passe par les rives sud de la ville de Still, avant de se déverser dans le Chott Melghir .

L'oued Ittel résulte de la jonction de trois affluents secondaires: « oued Fahama », « oued Zarba » et « oued Basbes », qui drainent respectivement une superficie de 1271.79 et 650.44 et 1185.31 km², dont la confluence déverse par la suite Oued Ittel. (**Carte n°03**).

En fin, l'oued « ittel » est formé d'un chevelu relativement dense

III.3.2) - Hiérarchisation du réseau

Pour chiffrer la ramification du réseau, chaque cours d'eau reçoit un numéro en fonction de son importance. Cette numérotation, appelée ordre du cours d'eau,

-Tout cours d'eau n'ayant pas d'affluent est dit d'ordre 1,

-Au confluent de deux cours d'eau de même ordre n, le cours d'eau résultant est d'ordre n + 1

Tableau 17 : Classification, longueur et nombre des cours d'eau du bassin versant de l'oued Ittel

X	Fahama		Zerba		Besbas		Ittel	
	Nx	Lx(Km)	Nx	Lx	Nx	Lx	Nx	Lx
1	6	112.51	5	52.4	9	154.05	35	300.5
2	2	120.52	1	84.56	2	165.73	7	120.89
3	1	21.3					1	83.49
4							1	35.43
Total		254.33		136.96		319.78		540.31

III.3.3) - Densité de drainage :

La densité de drainage est étroitement liée à deux facteurs principaux : la lithologie et l'abondance des précipitations, elle nous permet d'apprécier le réseau hydrographique dans le bassin versant.

Elle est exprimée par le rapport de la longueur totale des cours d'eau contenues dans un bassin versant (L) à la surface de ce dernier (S).

$$Dd = \frac{L}{A} \text{ en Km/Km}^2$$

D'où

L = Longueur des cours d'eau km

A : Surface du bassin versant en km²

Nous avons effectué des calculs de la densité de drainage totale, sur les bassins élémentaires de l'oued Ittel .

Tableau 18 : Densité de drainage pour les bassins élémentaires d'oued ittel

Bassin versant	A(Km ²)	L (Km)	Dd
Fahama	1271.79	254.33	0.200
Zerba	650.44	136.96	0.211
Besbas	1185.31	319.78	0.270
Ittel	2185.16	540.31	0.247

III.3.4) - Le temps de concentration :

C'est le temps mis par une particule d'eau tombée sur le point le plus éloigné du bassin versant pour arriver à l'exutoire.

Bien que, ce paramètre intervient pour l'étude des crues, comme paramètre hydrologique de grande importance qui sert aussi à la comparaison des bassins différents.

Pratiquement le temps de concentration peut être déduire de mesurer sur le terrain ou estimer à l'aide de formules le plus souvent empiriques:

- **Formule de GIANDOTTI :**

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5 L_p}{0.8\sqrt{H}} \quad \ll \text{En heure} \gg$$

T_c : Temps de concentration en heure.

L_p : Longueur du talweg principal (km).

S : Superficie du bassin (km²).

H : H_{moy}-H_{min} en (m).

H_{moy} : Altitude moyenne du bassin en (m).

H_{min} : Altitude minimale du bassin (m).

- **Formule de CALIFORNIA:**

$$T_c = \left(\frac{0.87 \cdot L^3}{H_{\max} - H_{\min}} \right)^{0.386}$$

L : longueur du talweg principale en [Km];

H_{max}- H_{min} : respectivement la hauteur maximale et minimale du B.V en [m].

- **Formule de KIRPICH :**

$$T_c = 0,6615 \cdot L_p^{0,77} \cdot i_{\text{moy}}^{0,385}$$

L_p : Longueur du cours d'eau principal (km) ;

i_{moy} : Pente moyenne du bassin versant.

- **Formule de VENTURA :**

$$T_c = 0,1272 \sqrt{\frac{S}{i_{\text{moy}}}}$$

S : Surface du bassin versant en [Km²] ;

i_{moy} : Pente moyenne du bassin versant.

Mais le temps de concentration déterminé par la formule de « **Giandotti** » est largement utilisé en Algérie parce que cette formule tient compte tous les paramètres géométriques du bassin.

Tableau 19 : Temps de concentration pour les bassins élémentaires d'oued ittel

Bassin versant	S(Km2)	Lp (Km)	H(m)	Tc(H)
Fahama	1271.79	90.31	125.66	31.01
Zerba	650.44	84.56	179.42	21.36
Besbas	1185.31	96.43	167.98	27.23
Ittel	2185.16	149.34	238.17	33.29

On remarque que le temps de concentration est lent ceci est due à l'absence des montagnes dans la région.

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 20 : caractéristiques morphométrique des bassins versants

caractéristiques	Fahama	Zerba	Besbas	Ittel
1-Morphométrie				
Surfaces (Km ²)	1271.79	650.44	1185.31	2185.16
Périmètres (Km)	198.331	182.715	190.157	378.209
Longueurs Equivalent (Km)	84.07	83.60	80.36	176.80
Largeurs Equivalent (Km)	15.127	7.780	14.750	12.359
2-Les reliefs				
2-1- Caractéristiques des altitudes				
Altitudes max (m)	325	425	475	506
Altitudes moy (m)	144.66	257.42	267.98	238.17
Altitudes min (m)	19	78	100	0
Altitudes 5 % (m)	287	399	430	438
Altitudes 50 % (m)	145	280	272	267
Altitudes 95 % (m)	62	127	152	39
Indice de pente globale Ig (m/Km)	6.309	10.665	8.075	8.536
Indice de pente de ROCHE Ip (m/Km)	2.81	3.65	3.18	3.27
3-Le réseau hydrographique				
la densité de drainage Dd (Km/Km ²)	0.200	0.211	0.270	0.247
longueurs des cours d'eau principale (Km)	254.33	136.96	319.78	540.31
Temps de concentration (h)	31.01	21.36	27.23	33.29

III.4)- Analyse des données pluviométriques :

III.4.1)- Pluie moyenne annuelle :

La pluviométrie dans les zones sahariennes se caractérise par la rareté et par des faibles quantités annuelles

**Tableau 21 : les précipitations moyennes mensuelles enregistrées
à la station de Biskra (1971-2004).(ANRH.Biskra in BOUMESSENEGH 2006)**

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Année
Pluie moyenne	12.5	9.65	15.6	8.89	14.5	5.98	13.4	12.7	8.25	5.55	0.618	3.68	111.30

Tableau 22 : station pluviométrique

Station	source	Coordonnées			Années D'observation
		X (km)	Y (km)	Z (m)	
BISKRA	A.N.R.H	750	3 853.2	75	1971 - 2004

III.4.2) -Pluies maximales journalières :

Les pluies maximales journalières de rares fréquences sont des pluies génératrices des crues d'importants débits, contre lesquels on va présenter ici les grandes lignes de la protection d'un site urbanisé contre les inondations.

Pour déterminer le débit de crue (correspond à la pluie critique), on aura besoin d'une série pluviométrique,

Plusieurs auteurs et chercheurs ont travaillé sur le sujet et sont arrivés à modéliser tout ça sous forme de formules ou d'abaques.

La première étape c'est voir une série inter-annuelle des précipitations journalières maximales pour chaque mois. Le tableau ci-dessous illustre ces données pendant la période : 1988-2007.

Tableau 23 : les pluies journalières max enregistrées à la station de Biskra

Les années	sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	PJ max (mm)
1988	5.08	5.19	15.49	9.59	1.52	0.25	5.72	119.38	1.53	23.62	0	0	119.38
1989	23.74	1.02	5.84	4.15	4.85	7.12	1.02	10.92	0	21.84	0	0	23.74
1990	5.32	0	22.1	0	27.96	0	1.53	26.5	30.48	3.65	3.41	27.41	30.48
1991	16	32.51	4.06	10.74	1.99	15.56	47.89	2.25	5.36	1.02	0	2.84	47.89
1992	25.4	1.02	89.48	2.54	19.52	4.31	22.29	10.11	10.32	0.51	8.19	0.51	89.48
1993	56.1	0	17.48	144.21	0	43.43	28.76	0	7.47	0	0	0	144.21
1994	93.39	48.78	1.54	0	0	0	124.42	0	0	2.6	57.33	3.05	124.42
1995	227.89	4.16	16.26	18.4	3.25	1.88	9.98	6.9	0	3.23	0	1.52	227.89
1996	9.39	0.99	23.88	3.71	62.61	23.35	56.56	0.43	2.13	6.09	97.03	9.06	97.03
1997	7.25	14.75	44.59	18.96	15.24	5.08	9.15	71.63	0	7.87	0	0.37	71.63
1998	2.13	3.27	0	1.16	0	17.08	1.92	48.33	17.83	11.9	0	1.24	48.33
1999	0	12.49	42.73	36.67	0	0	0	0	0	0	0	0	42.73
2000	27.23	5.97	5.11	8.28	0	0	3.31	9.93	17.36	0	0	0	27.23
2001	3.06	0.5	18	15.91	34.32	0.3	0	0	0.71	0	0	8.8	34.32
2002	0.66	12.35	20.47	0.54	1.27	0	0.43	2.58	0.68	3.7	12.74	5.91	20.47
2003	6.1	48.01	1.35	13.14	69.06	1.64	57.25	5.04	3.8	2	0	0	69.06
2004	4.64	4.21	33.27	31.39	1.22	1.13	108.24	65.72	39.57	1.09	0	15.37	108.24
2005	4.98	0.51	0	14.54	0	18.33	8.08	0	0	24.89	3.67	2.69	24.89
2006	16.19	0	48.01	10.89	16.27	29.42	0	15.13	3.26	7.46	0	0.7	48.01
2007	37.07	3.37	0	1.91	0	2.26	10.88	13.68	1.35	0.46	0	0	37.07
Moyenne													71.82
Ecart type													52.77

III. 4.3) - Caractéristiques de la série :

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.

Tableau 24 : Caractéristiques de la série avec N=20ans

Caractéristiques	Formules	Valeurs
La somme des $P_{\max j}$ en (mm)	$\sum_{i=1}^{N=20} Xi$	1436.5
la moyenne des $P_{\max j}$ en (mm)	$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^{n=20} Xi}{n}$	71.82
L'écart type « σ_x » ; Pour n = 20 ans	$\sigma_x = \left[\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}} \right]$	52.77
Coefficient de variation « Cv » :	$C_v = \frac{\sigma}{\bar{X}}$	0.73
L'exposant climatique :	$b = 0.27$	

Remarque :

L'exposant climatique pour notre région ($b = 0.27$) est donné par l'ARNH de BISKRA.

ARNH : agence nationale des ressources hydriques.

III.4.4) : Choix de la loi d'ajustement :

Comme il existe plusieurs méthodes d'ajustement des séries pluviométrique, l'efficacité d'une méthode d'estimation dépend de la loi de probabilité, de la taille de l'échantillon et de certaines caractéristiques de l'échantillon. Pour ce faire, on établit l'ajustement des précipitations maximales journalières par la loi de Gauss (Log-normale), qui semble, d'après des études faites, la mieux appropriée

Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GAUSS

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

Fonction de répartition:
$$F(x) = F(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} .du$$

Variable réduite de Gauss:
$$u = \frac{x - \bar{x}}{\sigma x}$$

\bar{x} : la moyenne des x.

σx : l'écart type des x.

Ajustement graphique

La variable réduite de Gauss u s'exprime facilement en fonction de la fréquence (F).

Estimation de x pour une fréquence donnée:

A partir de F, on déduit u (on utilise la table de Gauss), $u = \frac{x - \bar{x}}{\sigma x}$, \bar{x} et σx étant

connus, on peut calculer x.

$$x = \bar{x} + u. \sigma x$$

Détermination d'une fréquence F pour x donné:

on connaît x, on en déduit u, on peut alors calculer la fréquence F (on utilise la table de Gauss) et la période de retour T.

$$\sigma x = 52.77 \text{ mm/j}$$

$$\bar{x} = 71.82 \text{ mm/j}$$

L'équation de la droite de Henry pour la loi de Gauss devient:

$$x = \bar{X} + u \cdot \sigma_X$$

$$x = 71.82 + 52.77 \cdot u$$

précipitation en fonction de période de retour

$$T=50\text{ans} ; T=1/1-F ; F= 1 - 1/T$$

$$F= 1 - 1/50$$

$$F = 0.98$$

On sait $F(u) \implies u = 2.05$ (table de Gauss)

$$P = x = 71.82 + 52.77 \cdot u = 71.82 + 52.77 \cdot 2.05$$

$$P = 180 \text{ mm/j}$$

En général nous adopterons l'intervalle de confiance à 95 %, soit à $2\sigma(\bar{X})$.

$$\sigma(\bar{X}) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\sigma(\bar{X}) = 52.77/\sqrt{20}$$

$$\sigma(\bar{X}) = 11.799 \approx 11.8$$

Tableau 25 : Résultat de l'ajustement a la loi de Gauss.

Période de retour (ans)	Probabilité (F)	x= Pj.max(mm/j)	Intervalle de confiance
1000	0.9990	239.10	215.50-262.70
100	0.9900	194.77	171.17-218.37
50	0.9800	180.00	156.40-203.60
20	0.9500	158.36	134.76-181.96
10	0.9000	139.37	115.77-162.97
5	0.8000	116.15	92.55-139.75

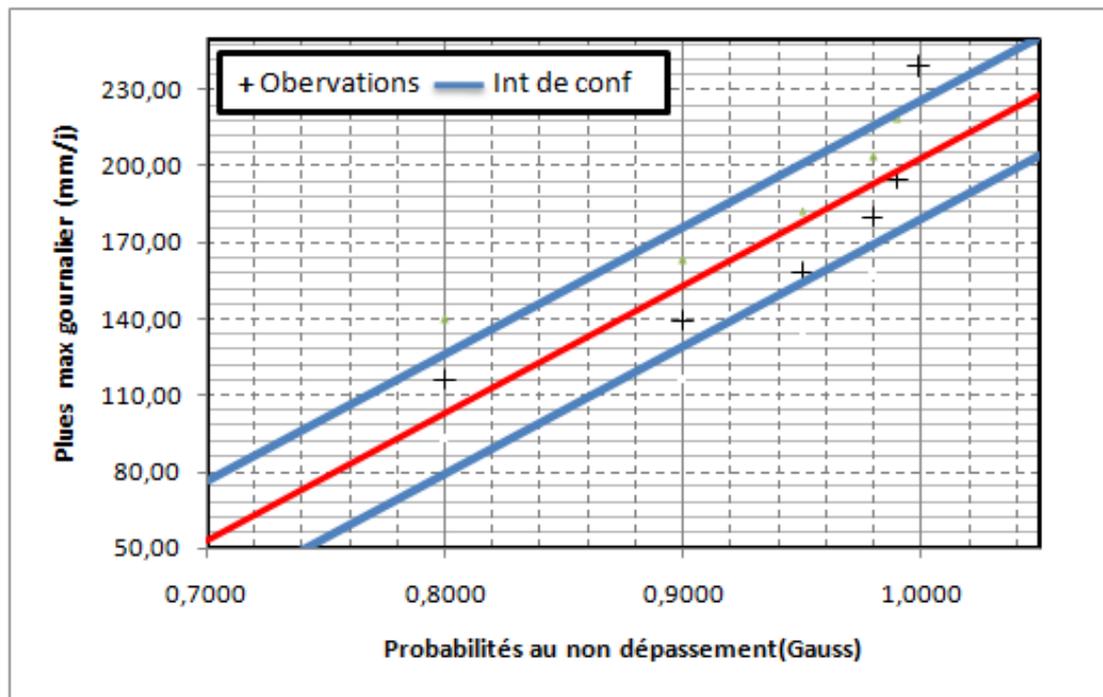


Figure 12 : Ajustement à la loi normale (ou Gauss).

On prend une période de retour de 100 ans qui correspond à une fréquence de 0.990 c'est-à-dire une pluie de 194.77 mm/j, finalement on opte une pluie de 200 mm/j qui correspond à une fréquence de 0.992 c'est-à-dire une période de retour de 130 ans.

III.4.5)- Pluies de courte durée :

Le passage des pluies journalières maximales aux pluies de courtes durées est effectué au moyen de la formule K. Body (ANRH 1984).

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

Avec :

t : durée de l'averse

b : exposant climatique $b = 0.27$ selon les études régionales de l'ANRH.

Les intensités maximales de période t (h) et période de retour T (ans) sont calculées par la relation

$$I_t = \frac{P_{ct}}{t}$$

Avec :

I : l'intensité maximale de période t (h).

Les précipitations et les intensités maximales pour différentes durées sont représentées au tableau suivant :

P_{tc} : Pluies de courte durée (mm)

I : Intensité maximale (mm/h)

Tableau 26 : Pluies maximales de durée t (h) et de période retour

Période de retour(ans)	5	10	20	50	100	130	1000
T (h)	Pluie de courte durée(P_{tc}) en (mm)						
1	49,25	59,09	67,14	76,32	82,58	84,80	101,37
2	59,38	71,25	80,96	92,02	99,57	102,25	122,24
3	66,25	79,49	90,33	102,67	111,09	114,08	136,38
4	71,60	85,91	97,62	110,96	120,07	123,29	147,39
6	79,88	95,85	108,92	123,80	133,96	137,55	164,45
9	89,13	106,94	121,52	138,12	149,46	153,47	183,47
12	96,33	115,58	131,33	149,28	161,53	165,86	198,29
15	102,31	122,76	139,49	158,55	171,56	176,16	210,60
24	116,15	139,37	158,36	180,00	194,77	200,00	239,10
33	126,58	151,88	172,58	196,16	212,26	217,96	260,57

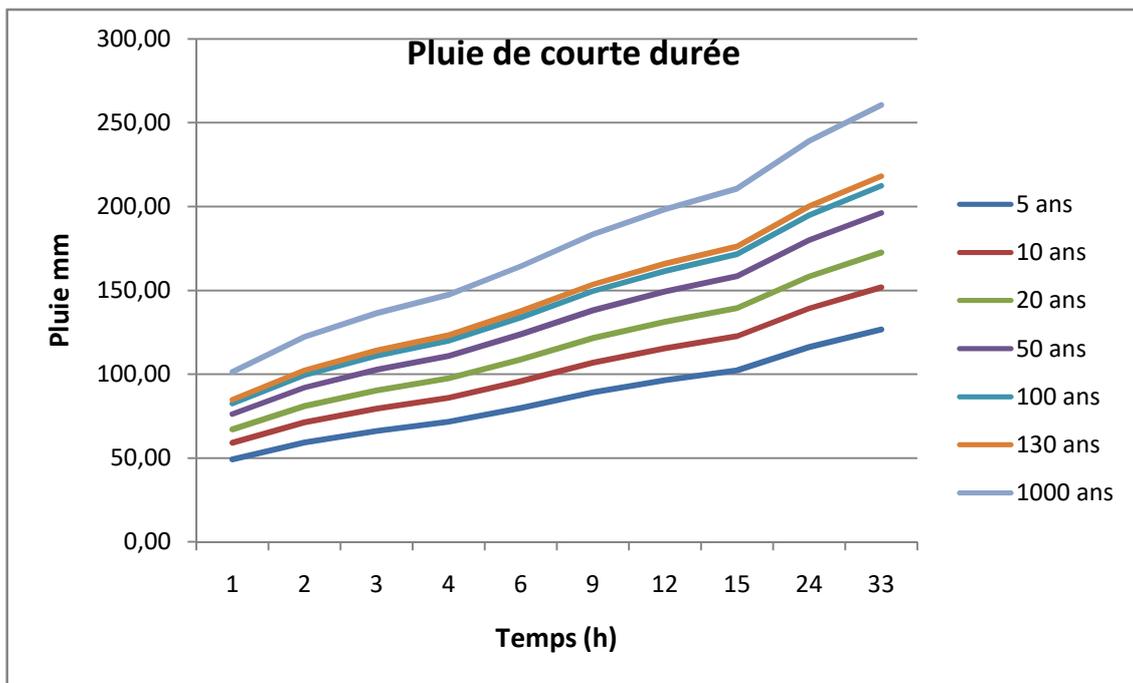


Figure 13 : Pluies maximales de durée t (h) et de période retour

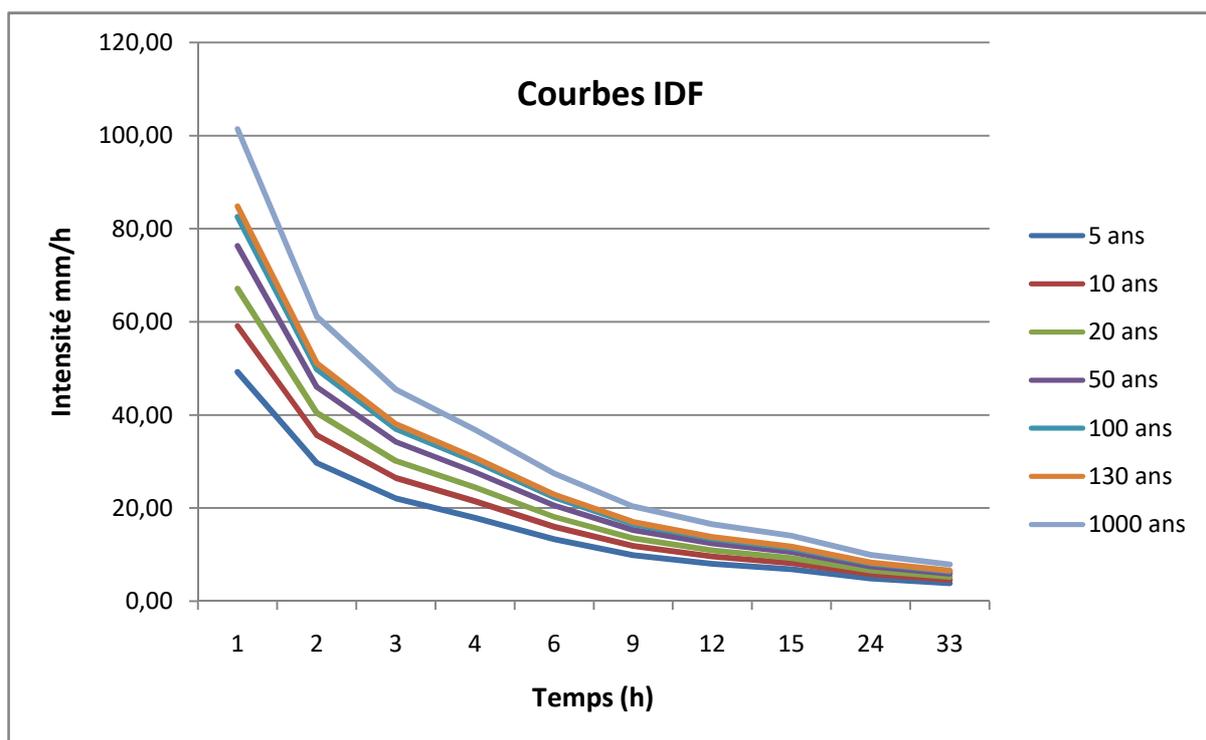


Figure 14 : Intensités maximales de durée t (h) et de période retour

III.5)-Les apports :**III.5.1)- Apports liquides :****III.5.1.1)- Apport moyen interannuel (A_0) :**

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

a). Formule de SAMIE:

$$A = L_e \cdot S$$

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

Ou:

L_e : lame d'eau écoulée (mm).

P : précipitation moyenne (m).

S : la superficie en Km^2 du bassin versant.

b). Formule de DERY II:

$$A = 0.513 \cdot P^{2.683} \cdot Dd \cdot S^{0.842}$$

Ou:

A : apport moyen interannuel (en hm^3).

P : précipitation moyenne (m).

S : superficie (en Km^2).

c). Formule de MEDINGER:

$$L_e = 1.024(P - 0.26)^2$$

P : précipitation moyenne (m).

L_e : lame d'eau écoulée (mm).

$$A = L_e \cdot S$$

d). Formule de CHAUMONT:

Cette relation donne le coefficient de ruissellement par la relation suivante:

$$C_e = 0.6(1 - 10^{-0.36P^2})$$

P : précipitation moyenne (m).

La lame d'eau écoulée est donnée par la relation :

$$L_e = P \cdot C_e$$

$$A = L_e \cdot S$$

e). Formule de COUTAGNE:

Elle donne le déficit d'écoulement D tel que:

$$D = P - \lambda P^2$$

$$\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T_0}$$

T_0 : température moyenne dans la zone d'étude. $T_0 = 22^\circ c$

La lame d'eau écoulée est alors:

$$L_e = P - D$$

$$A = L_e \cdot S$$

f). Formule de TURC:

$$L_e = P - \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Avec:

$$L = 300 + 25T_0 + 0.05 (T_0)^3$$

T_0 : température moyenne dans la zone d'étude.

$$A = L_e \cdot S$$

j). Formule de l' ANRH:

L'apport moyen interannuel est donnée par:

$$A_0 = 0.915 \cdot \bar{P}^{2.684} \cdot S^{0.842}$$

P : précipitation moyenne (mm).

S : superficie (en Km^2).

On prend les valeurs de la formule de l'ANRH parce que sont proches à Les valeurs moyennes

P (mm)	S (km²)	A₀ (m³/an)
111.30	5292.70	388 642 582 .46

III.5.2)- Evaluation des apports solides :

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

- **Formule de TIXERONT :**

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

$$E_s = a \cdot L_e^{0.15}$$

Où : E_s : taux d'abrasion (t/km²/an)

L_e : lame d'eau ruisselée en (mm)

a : coefficient empirique qui varie en fonction de la perméabilité du terrain

$a = 350$ (perméabilité moyenne).

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

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

Les apports solides :

S (km ²)	Le (mm)	Es (T/Km ² /an)	Vs (m ³ /ans)
5292.7	28.68	579.05	2 189 106

III.6)-Etude de crues :

III.6.1)-Différentes méthodes d'évaluation des crues :

Les techniques utilisées pour la détermination des crues dépendent pour une grande part des données disponibles. Presque chaque problème qui se produit est unique, du aux variations des conditions et des données, qui fait que c'est la disponibilité des données plutôt que la nature des problèmes qui conditionnent la procédure. Il n'existe pas encore une unicité de calcul des crues, les méthodes de calcul différent aussi selon le chargé d'études.

Nous rappelons ci-dessous, les différentes méthodes de calcul des crues que chacune d'elles a ses avantages et ses inconvénients.

a) Méthodes historiques :

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

b) Méthodes empiriques :

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

c) Courbes enveloppes :

Les pointes de crues maximales observées dans une région de caractéristiques hydrologiques homogènes sont reportées en fonctions de la surface du bassin versant, permettant de tracer une courbe enveloppée (Francu-Rodier, Chaumont...).

d) Méthodes probabilistes :

Analyse des débits afin de déterminer la loi de probabilité à laquelle ils répondent (Gumbel, Galton, Pearson III, Log Pearson III..).

Méthode du Gradex basée sur l’hypothèse que durant des pluies fortes, alors que le sol du bassin approche de la saturation, chaque augmentation de la pluie tend à produire une augmentation du débit. En conséquence, sur un graphique de Gumbel, les droites de répartitions des fréquences des pluies et des débits sont parallèles.

e) Méthodes déterministes :

Modélisent fondamentalement le processus pluie - écoulement du bassin et elle ont pour objectif de déterminer non seulement le débit de pointe mais également l’hydrogramme correspondant à la crue que celui aussi permet d’estimer le volume de cette crue.

f) Méthode de l’hydrogramme unitaire :

Basée sur un travail de dépouillement averses – crues (version de Sherman).
 Dans notre étude on va utiliser les méthodes empiriques

III.6.2)- Application sur le bassin versant :

Partant des données morphologiques et pluviométriques existantes une évaluation des débits de pointes des crues sera faites à partir de formules empiriques :

Mallet – Gauthier, Giandotti, Turazza, et Sokolovsky. Ces relations sont celles qui traitent au mieux les bassins.

III.6.2.1)- Formule de Turazza :

Cette formule utilise l’intensité moyenne maximale de précipitations déterminées sur un intervalle de référence égal au temps de concentration du bassin versant.

$$Q_{\max, p \%} = \frac{c \cdot \bar{i}_{tc} \cdot A}{3.6} \dots\dots\dots(III-38)$$

A : Surface du bassin versant

$\overline{i_{tc}}$: Intensité moyenne maximale des précipitations pendant une durée égale au temps de concentration en mm/h.

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

III.6.2.2) -Formule de Giandotti :

Le débit maximum probable est donné par la formule suivante :

$$Q_{\max, p\%} = \frac{C \cdot S \cdot h_{tc, p\%} \sqrt{h_{\text{moy}} - h_{\text{min}}}}{4 \sqrt{S} + 1,5 L}$$

S : Surface du bassin versant en Km²

L : Longueur du talweg principale en Km

h_{moy} : Altitude moyenne en m

h_{min} : Altitude minimale en m

$h_{tc, p\%}$: Lamme d'eau précipitée pour une probabilité donnée et d'une durée égale au temps de concentration des eaux.

C : coefficient topographique variant entre 66 et 166.

III.6.2.3) - Formule de Sokolovsky :

Le débit maximum probable est donné par la formule suivante :

$$Qj_{\max} = \frac{0.28 * P_{tc} * C_r * S * F}{T_m}$$

Où :

$P_{tc\%}$: pluie à courte durée correspondant à un temps t_c en mm.

S : Surface du bassin versant en km²

C_r : Coefficient de ruissellement

$T_m = T_c$: Temps de concentration en heure

F : coefficient de forme

0.28 : coefficient de changement d'unité

Le coefficient de ruissellement est choisi en fonction de la nature géologique du site de l'étude et aussi selon la période de retour. D'après la carte des sols d'Algérie la zone d'études se caractérise par des sols éoliens d'ablation.

On a pris le Coefficient de ruissellement ; « 0.9 » sol éolien d'ablation « léger ».

Tableau 27 : tableau renseigne la valeur du coefficient de forme F.

nature géologique	taille du bassin	
	grand	petit
Rocheux et imperméable	0.8	1
Légèrement imperméable. terrain nu	0.6	0.8
Légèrement perméable. partiellement cultivé et couvert de végétation	0.4	0.6
Sol cultivé perméable	0.3	0.4
Sol sableux perméable	0.2	0.3
Forêt dense	0.1	0.2

Ces sols sont des sols pourvus des éléments fins résidus à l'érosion éolienne : sa texture est légère (formation primaire), et pour cela on prend le coefficient de forme égale à 0.3

Tableau 28 : Débits de crues par les différentes formules

Débit de crue			
Période de retour	Formule de Turazza	Formule de Giandotti	Formule de Sokolovsky
an	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
1000	10453,08	12753,04	3131,89
130	8732,96	10667,54	2625,89
100	8508,02	10388,58	2551,23
50	7859,66	9600,79	2357,76
20	6920,21	8446,56	2074,30
10	6086,61	7433,68	1825,56
5	5080,99	6195,17	1521,41

- La formule de *Sokolovski* est d'usage très répandue chez les hydrologues du Nord d'Afrique, celle-ci tient compte de plusieurs paramètres caractérisants le bassin versant (la pluie fréquentielle qui correspond au temps de concentration, perte d'eau initiale, le coefficient de ruissellement, la surface du bassin versant, la forme du bassin et du temps de montée de la crue).

- Nous adoptons le débit maximal de crue donné par la formule de *SOKOLOVSKI* étant donné que la méthode adoptée pour le tracé de l'hydrogramme de crue est celle de *SOKOLOVSKI* qui a une relation directe avec la formule de débit maximale de crue.

III.6.3)- Hydrogrammes des crues :

L'hydrogramme de crue représente la variation des débits d'un cours d'eau en fonction du temps, il permet de déterminer les caractéristiques de la crue, forme, volume, temps de montée et temps de descente, la forme de l'hydrogramme de crue est déterminée selon la méthode de *SOKOLOVSKI*, qui assimile l'hydrogramme à deux équations paraboliques, l'une traduisant la montée de la crue qui s'écrit

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

t_m : temps de montée de la crue

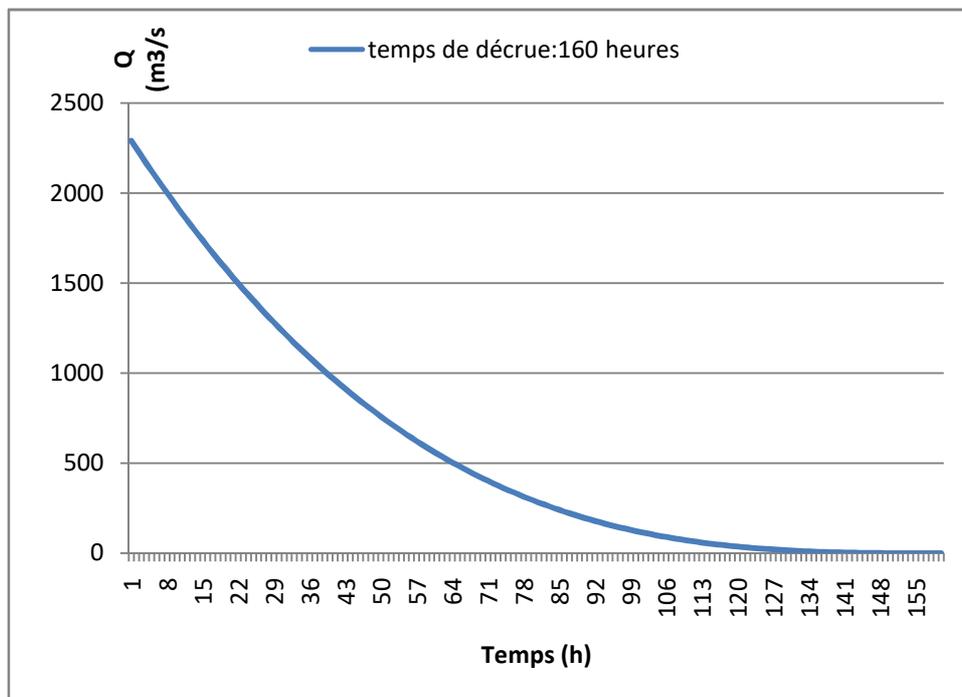
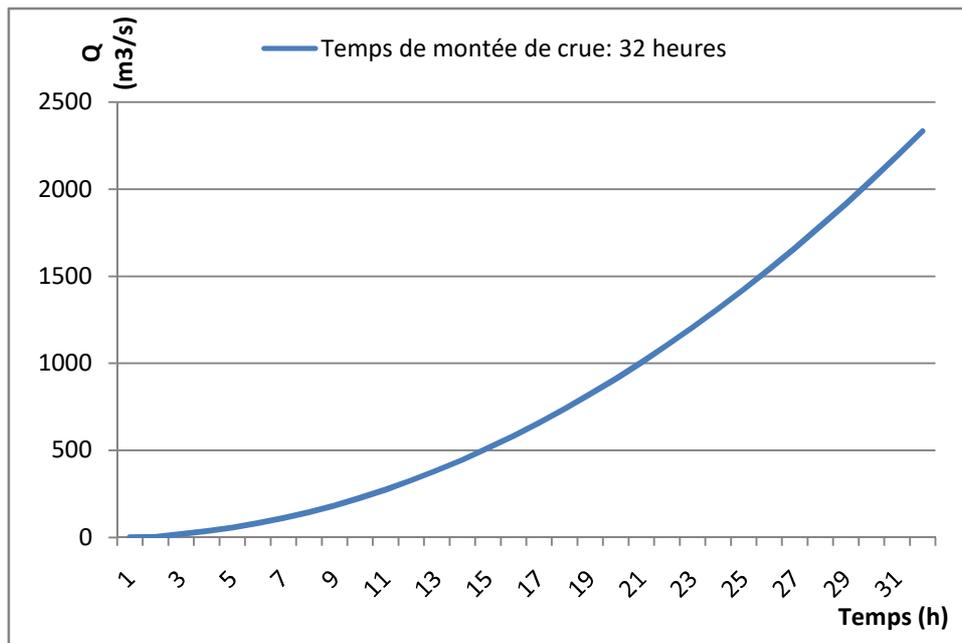
t_d : temps de la décrue

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

$t_m = t_c$ et $t_d = \gamma \cdot t_c$

γ : est évalué en fonction de la taille du cours d'eau, de la perméabilité et du taux de boisement du bassin versant.

Description du cours d'eau	γ
Petit cours d'eau et vallons dans les bassins versants faiblement perméables	2 à 2.5
Petit cours d'eau et vallons dans les bassins versants boisés ou perméables	3 à 4
Moyen cours d'eau avec terrasses de lit majeures normales.	4 à 7
Grand et moyen cours d'eau avec des terrasses de débordements étendues	4 à 7



III.7)- Conclusion :

Les hydrogrammes des crues établis permettent de voir l'évolution des crues dans le temps.

Finalement, une évaluation plus ou moins variée a permis de fixer les valeurs des crues qui traversant la ville de STILL ont permis de dimensionner les ouvrages proposés pour protéger cette ville contre les inondations.

CHAP IV: Aménagement de Protection

IV.1)- Introduction :

Depuis toujours, l'homme a aménagé les cours d'eau pour réduire les risques d'inondation. Cela s'est traduit essentiellement par des endiguements, des rééquilibrages ou la réalisation de grands barrages. Mais les aménagements réalisés à un endroit se répercutent sur la manière dont l'eau va s'écouler en aval.

De ce fait, l'eau est plus vite évacuée du secteur à protéger, mais cette eau arrive plus rapidement en aval, ce qui aggrave les inondations de cet endroit. Les travaux de protection contre les inondations doivent donc être aussi envisagés en fonction de leurs conséquences en aval.

En effet, l'évaluation du risque d'inondation doit s'appuyer sur des estimations fiables des niveaux d'eau et des vitesses locales, que ce soit en zone rurale (problèmes de stockage, érosion ou dépôt de limon) ou dans les plaines d'inondation urbanisées (problèmes de vulnérabilité).

Le présent travail consiste à l'étude de protection de la commune de Still contre les inondations.

Sur la base des données du milieu physique morpho-métriques et climatiques, une étude hydrologique a été engagée et a permis de déterminer l'ensemble des paramètres servant à la conception et aux dimensionnements des ouvrages de protection.

IV.2) - Calcul hydraulique :

Pour un écoulement lentement variable, on peut admettre qu'en toute section la pente de la ligne de charge est celle d'un régime uniforme.

IV.2.1)- Les conditions de l'écoulement 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.
- 7.

IV.2.2) -Les formules principales de calcul :

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

La vitesse moyenne du courant sous la forme suivant :

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

On utilisant le rapport suivant : $Q = V \times S$, on obtient :

$$Q = CS \cdot \sqrt{R \times I}$$

Avec :

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

S : section mouille (m^2)

R_h : rayon hydraulique $R_h = S/P$ (m)

I : pente de fond du canal.

IV.2.3)-Détermination de coefficient de Chézy :

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

1-formule de PAVLOVSKI :

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

Avec :

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

n : la rugosité

R_h : rayon hydraulique $R_h = S/P$ (m)

y : est l'exposant déterminé soit d'après la relation complète :

$$y = 2.5 \sqrt{n} - 0.13 - 0.75 \sqrt{R} (\sqrt{n} - 0.10)$$

Soit d'après les égalités simplifiées :

$$y = 1.5 \sqrt{n} \quad \text{a } R < 1m$$

$$y = 1.3 \sqrt{n} \quad \text{a } R > 1m$$

2-formule d'AGROSKINE :

$$C = \frac{1}{n} + 17.72 \log R$$

Avec :

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

R_h : rayon hydraulique $R_h = S/P$ (m)

n : la rugosité

3- La formule de MANING-STRICKLER :

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

Avec :

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

R_h : rayon hydraulique $R_h = S/P$ (m)

n : la rugosité

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

$$V = K_s \cdot R_h^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

Où :

K_s : coefficient de rugosité de STRICKLER.

R_h : le rayon hydraulique (m).

I : la pente du radie

Remarque :

Dans notre étude on choisi la formule de *MANING-STRICKLER* :

• Dans ces conditions, le débit est donné par la formule de Manning Strickler :

$$Q = S * V = S * \left[R_h^{2/3} * \sqrt{i} * \frac{1}{n} \right]$$

$$Q = S * V = S * \left[R_h^{2/3} * \sqrt{i} * K \right]$$

R_h : rayon hydraulique

i : pente hydraulique (~ pente du fond, en écoulement uniforme)

n : coefficient de Manning

Tableau 29 : Paramètres géométriques d'un canal à section rectangulaire

Désignation	Expression
largeur	b
profondeur	h
section	S=b.h
périmètre	P=b + 2h
Rayon hydraulique	$R_h = \frac{S}{P} = \frac{b \cdot h}{b + 2h}$

$$Q = S * \left[R_h^{2/3} * \sqrt{i} * K \right]$$

La nature du lit : la rugosité

Nature du lit	n	$K = \frac{1}{n}$
Lits naturels propres à fond lisse	0.020	50
Lits naturels propres à fond rugueux	0.030	33
Lits naturels avec végétation	0.050 à 0.100	20 à 10

$$h * R_h^{2/3} = \left[\frac{Q}{b * K * I^{1/2}} \right]$$

$$R_h = \left[\frac{b * h}{b + 2h} \right]$$

b= 300 m

K=50

On prend la pente faible (du premier point à l'ouest à la route)

$$I=(9.01-5.83)/2150= 0.00148 \text{ m/m}$$

$$Q= 2625.89337 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$h * R_h^{2/3} = \left[\frac{Q}{b * K * I^{1/2}} \right]$$

En appelant $\left[\frac{Q}{b * K * I^{1/2}} \right] : \ll Z \gg$

On obtient :

$$b * h^{5/2} - 2 * z^{3/2} * h - b * z^{3/2} = 0$$

$$\text{Et comme } z = \left[\frac{2625.89337}{300 * 50 * 0.00148^{1/2}} \right] = 4.550456529$$

$$z^{3/2} = 9.706942451$$

$$300 * h^{5/2} - 19.4138849 * h - 2912.082735 = 0$$

On va résoudre cette équation par la méthode d'itérations :

$$h = 2.49863524175010 \text{ m}$$

Pour prévenir l'avenir contre d'éventuelle sédimentations pouvant se déposer sur notre site, une hauteur totale sécurisée prise égale à : **3.50 m**.

IV.3) - les Aménagements adoptés pour la protection

La commune de Still est sujette aux inondations et nous avons donc mené des études pour se protéger contre ce danger, elle a été soumise dernièrement à une inondation entraînant des pertes matérielles et des dommages importants.



Dégâts au niveau de l'ouvrage de déviation
(Séquelle des dernières inondations à Still)



Inondations à Still

Dégradation des ouvrages et infrastructures existantes
(Réseau électrique, route...etc.)

Figure 15 : Dégradation des ouvrages et infrastructures existantes



Figure 16 : Zone urbaine touchée par les inondations

D'après l'étude faite par la DRE de la wilaya d'El-Oued, les aménagements proposés au niveau d'Oued Ittel sont un mur de soutènement en Béton Armé aux deux côtés de l'Oued espacées de 300 mètres.

Tableau 30 : caractéristiques de mur de soutènement

Identification	Longueur m	Largeur entre 2 cotés m	Hauteur d'eau m	Hauteur d'ouvrage m
Mur	2000	3000	2.5	3.5

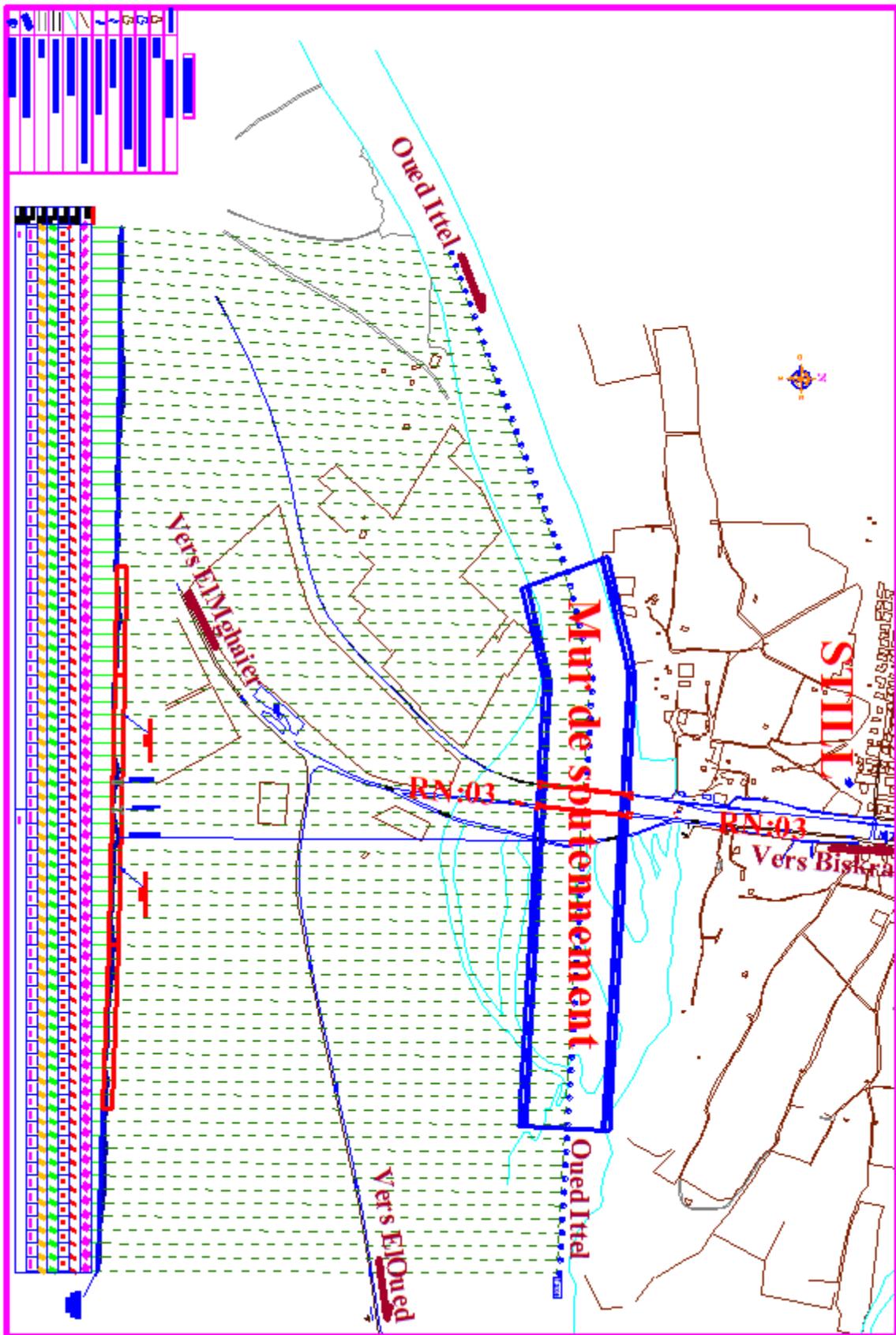


Figure 17 : Plan d'Aménagements de Protection

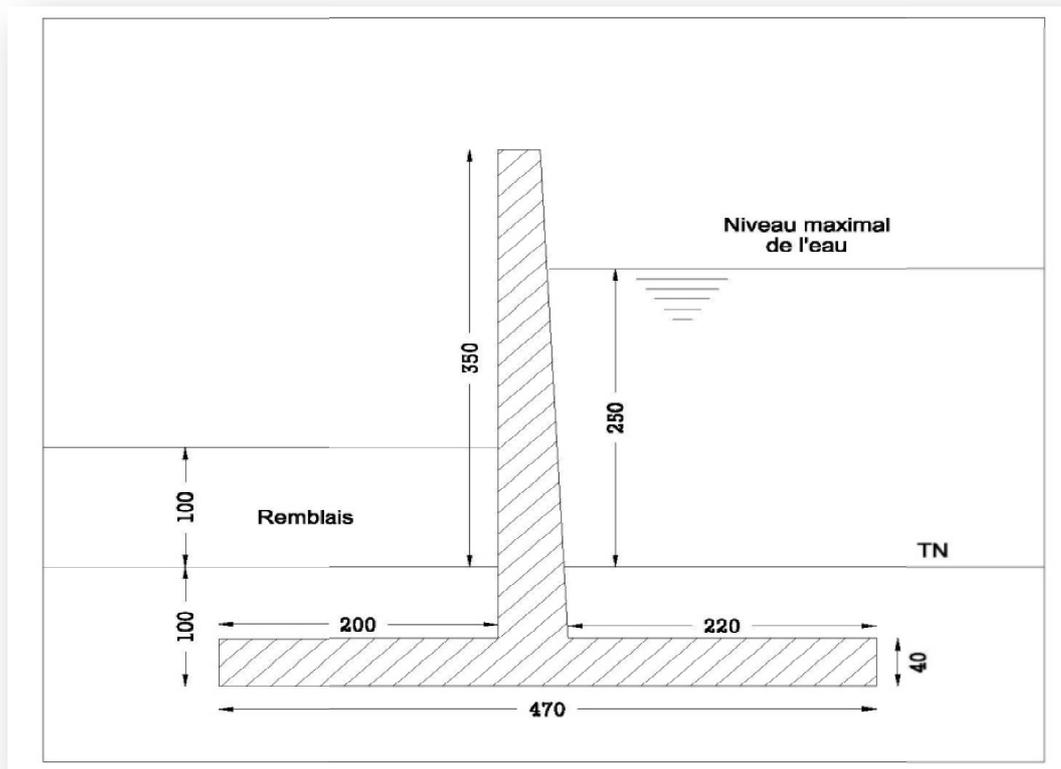


Figure 18: Coupe transversale de mur de soutènement

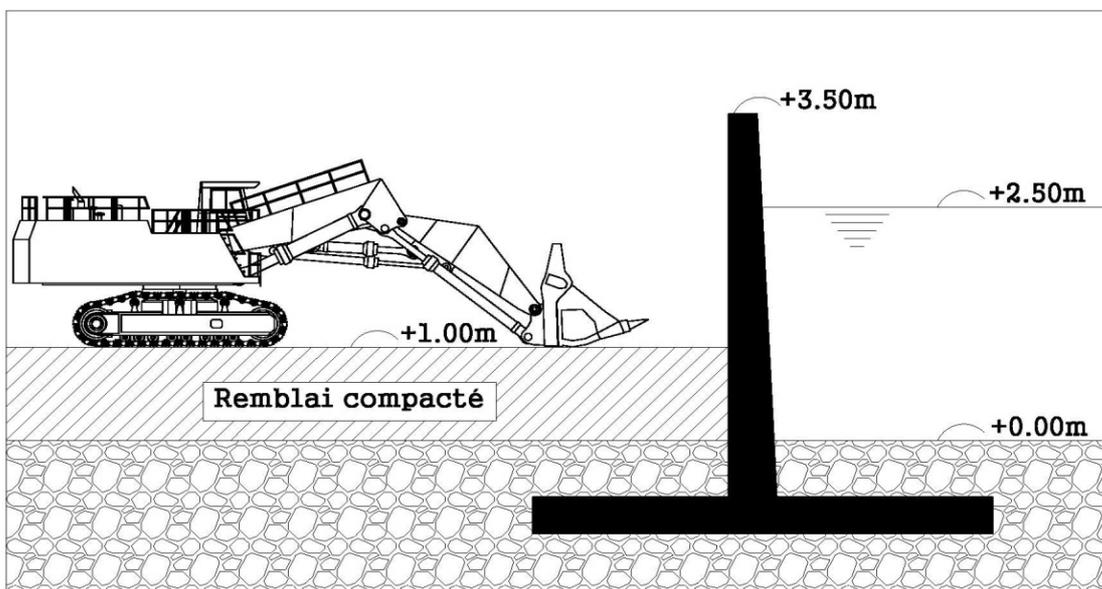


Figure 19: Réalisation du mur de soutènement

Conclusion générale

Au terme de ce travail, mené dans le but de protéger la commune de Still contre les inondations, nous avons tiré des conclusions et des résultats à la hauteur d'un travail de grande ampleur.

Les inondations représentent un risque naturel très aléatoire qui menace les populations loin des cours d'eau autant que ceux au voisinage des cours d'eau, malheureusement, ce phénomène cause toujours des pertes humaines parfois par manque d'aménagements de protection de grande ampleur mais aussi par le manque des petits aménagements, qui, par leurs présences peuvent réduire, voir atténuer considérablement les effets des inondations.

L'inondation est le phénomène occasionnel qui peut noyer les parties du lit majeur ou les plaines, à la suite d'une crue particulièrement importante et du débordement des eaux.

En règle générale la puissance de la crue et les dégâts qu'elle occasionne sont d'autant plus forts que :

- Les précipitations sur le bassin versant ont été fortes, intenses et durables.

- Les quotients d'écoulements sont plus élevés.

De ce fait la protection des villes contre les inondations devient une opération économique justifiée lorsqu'elle permet d'éviter les dégâts.

La connaissance des facteurs principaux qui génèrent ce phénomène, est la condition nécessaire qui nous permet de proposer les aménagements adéquats et limiter les dégâts.

Les objectifs fixés préalablement ont été, d'abord de comprendre le phénomène d'inondation et puis de voir les moyens de protections contre ce risque

Le plan de travail a été dressé de façon à bien cerner la problématique de tous les cotés, la première partie a été dédiée au problématique des inondations ce qui nous a permis de comprendre et présenter les inondations comme un risque naturel très complexe et qui nécessite plus d'engagement de la part de tous les acteurs dans le domaine pour pouvoir réduire ces conséquences.

Les deux études morphologique et hydrologique nous ont permis de comprendre le cycle de l'eau dans le bassin versant en question.

En absence d'une station de mesure de débit nous avons été dans l'obligation de faire appel à des équations empiriques pour estimer le débit d'eau qui déverse dans la ville dans les périodes exceptionnelles,

Cette étape est décisive car c'est sur la base de ce débit qu'on peut aménager ou réhabiliter des ouvrages de protection contre les inondations.

Le bassin versant de Oued Ittel est de 5292.70 Km^2 est composé de quatre sous bassins versant, ces sous bassins peuvent donner un débit centennial d'environ $2625.89 \text{ m}^3/\text{s}$.

Ce bassin versant de forme allongée ($Kc = 2.28$) possède un relief fort ($Ig=0.0085$), un temps de concentration lent ($t_c=33.29$) ceci est due à l'absence des montagnes dans la région. La valeur de la densité de drainage ($Dd = 0.25$) témoigne de moyennes capacités de drainage de l'oued.

Théoriquement, les modes de protections contre les inondations sont différents, des aménagements du cours d'eau aux aménagements du bassin versant passant par le reboisement ou même les corrections torrentielles et aussi les murs de soutènement tous est mis à disposition des techniciens afin de mieux protéger mais le volet économiques pèse sur l'opération et un choix des meilleures modes de protection les plus efficace s'impose.

Les résultats de calcul et d'analyse des différents paramètres cités, nous ont permis la conception et le dimensionnement des ouvrages de protection en l'occurrence.

Le dimensionnement du mur de soutènement à projeter est basé sur l'étude hydrologique, pour un débit de crue de $2625,89 \text{ (m}^3/\text{s)}$. Le mur de soutènement est la solution la plus approprié pour la protection de berges d'oued Ittel, dont les caractéristiques de l'ouvrage sont: largeur de lit d'oued 300m , hauteur de l'eau 2.5m , hauteur de mur 3.5m , et une pente moyenne de lit d'oued 0.002385 , sur un linéaire de protection de berges en deux cotés d'Oued de 2000 ml en Béton Armé.

En définitive, pour assurer la durabilité et le bon fonctionnement de nos ouvrages, nous espérons que les travaux d'entretien et de maintenance seront pris en vigueur.

Bibliographie

Bureau d'Etudes SAHARA HYDRO-TECHNIQUE, 2012, Etude de Protection des Agglomérations de Still contre les Crues d'Oued Ittel à El Oued.

Zaiz Issam ,2008 , Etude de protection de la ville de Cherchell contre les inondations, Mémoire d'Ingénieur en Hydraulique, ENSH Blida.

Aissa madaoui oussama, 2016, Protection des villes contre les inondations cas du centre d'Ain fezza, Mémoire de Master en hydraulique, Université Abou bekr Belkaid, Tlemcen.

Merhoum Nasreddine, 2018, Protection de la ville de Tamazoura contre les inondations, Mémoire de Master en hydraulique, Centre Universitaire BELHADJ Bouchaib - Ain-Temouchent-

Benmia Kouider, 2012, Evaluation de la performance des barrages de protection contre les inondations cas de la ville de Ghazaouet, Mémoire de Magister en hydraulique, Université Abou bekr Belkaid, Tlemcen.

Les Annexes

Annexe n°:1 les précipitations journalières maximales enregistrées à la station
de Biskra(1988-2007)

Les années	sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
1988	5.08	5.19	15.49	9.59	1.52	0.25	5.72	119.38	1.53	23.62	0	0
1989	23.74	1.02	5.84	4.15	4.85	7.12	1.02	10.92	0	21.84	0	0
1990	5.32	0	22.1	0	27.96	0	1.53	26.5	30.48	3.65	3.41	27.41
1991	16	32.51	4.06	10.74	1.99	15.56	47.89	2.25	5.36	1.02	0	2.84
1992	25.4	1.02	89.48	2.54	19.52	4.31	22.29	10.11	10.32	0.51	8.19	0.51
1993	56.1	0	17.48	144.21	0	43.43	28.76	0	7.47	0	0	0
1994	93.39	48.78	1.54	0	0	0	124.42	0	0	2.6	57.33	3.05
1995	227.89	4.16	16.26	18.4	3.25	1.88	9.98	6.9	0	3.23	0	1.52
1996	9.39	0.99	23.88	3.71	62.61	23.35	56.56	0.43	2.13	6.09	97.03	9.06
1997	7.25	14.75	44.59	18.96	15.24	5.08	9.15	71.63	0	7.87	0	0.37
1998	2.13	3.27	0	1.16	0	17.08	1.92	48.33	17.83	11.9	0	1.24
1999	0	12.49	42.73	36.67	0	0	0	0	0	0	0	0
2000	27.23	5.97	5.11	8.28	0	0	3.31	9.93	17.36	0	0	0
2001	3.06	0.5	18	15.91	34.32	0.3	0	0	0.71	0	0	8.8
2002	0.66	12.35	20.47	0.54	1.27	0	0.43	2.58	0.68	3.7	12.74	5.91
2003	6.1	48.01	1.35	13.14	69.06	1.64	57.25	5.04	3.8	2	0	0
2004	4.64	4.21	33.27	31.39	1.22	1.13	108.24	65.72	39.57	1.09	0	15.37
2005	4.98	0.51	0	14.54	0	18.33	8.08	0	0	24.89	3.67	2.69
2006	16.19	0	48.01	10.89	16.27	29.42	0	15.13	3.26	7.46	0	0.7
2007	37.07	3.37	0	1.91	0	2.26	10.88	13.68	1.35	0.46	0	0

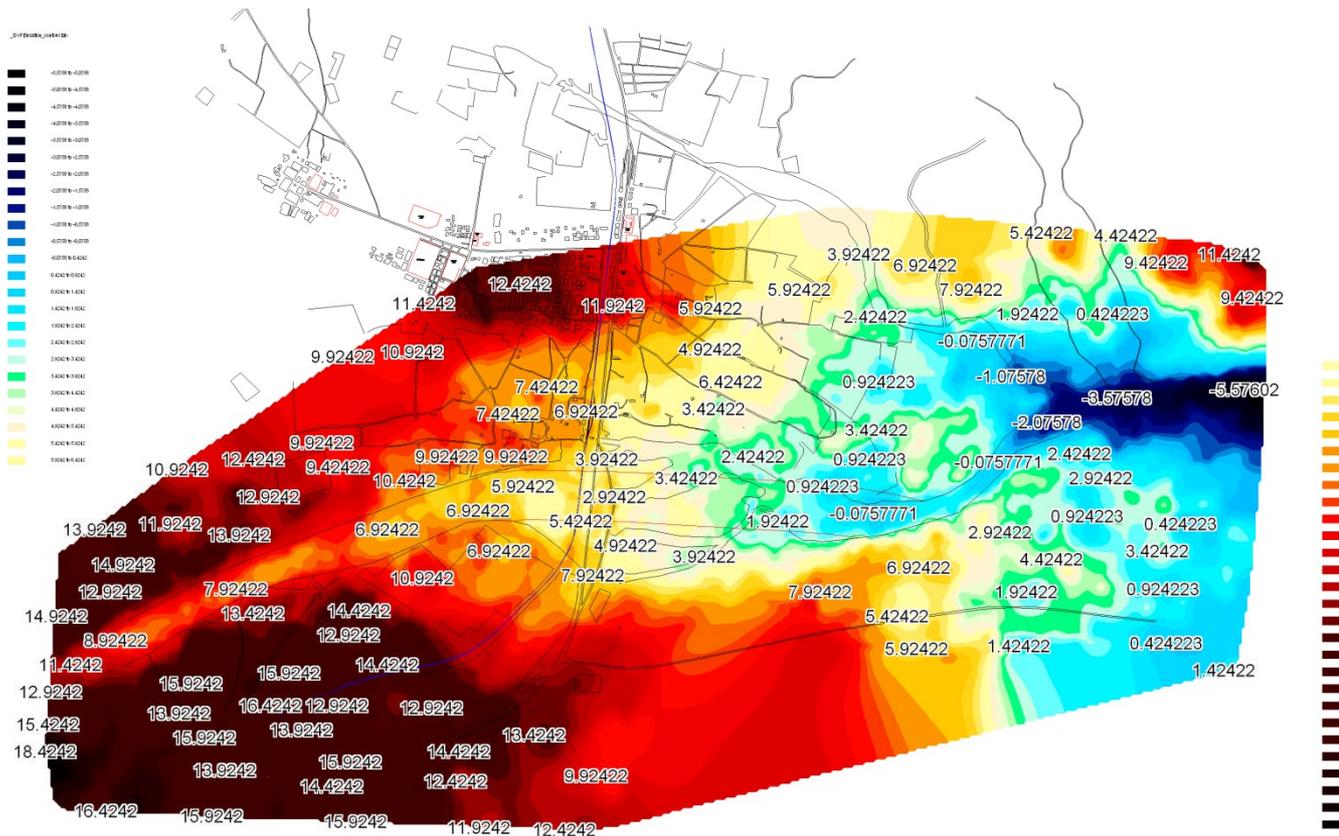
Annexe n°:2 Le réseau hydrographique en chiffres d'oued Ittel

principale	Longueur m	secondaire	Longueur m	Tercière1	Longueur m	Tercière 2	Longueur m		
O-Ittel	146959	O.fahama	21299	O.fahama1	69015	ONC	12911		
				O.fahama2	51512	ONC	5943		
						ONC	5881		
						ONC	5706		
		ONC	4362						
		O.Zerba	84560	ONC	4222				
				ONC	4334				
				O.El Feiaa	28705	ONC	11757		
				O.Acha	5596				
		O.Besbas	96439	O.El Rhareg	36864				
				ONC	9466				
				ONC	9180				
				ONC	28376				
				ONC	12563				
				ONC	2468				
				O.El hadej	72599	O.latrous	16322		
						O.bourmil	14933		
				ONC	11370				
				ONC	11370				
				ONC	12511				
		ONC	5386	ONC	13889				
				ONC	14961				
		ONC	17789						
		ONC	3865						
		O.Zérig	11236	O.belourimel	10296				
		ONC	4197						
		ONC	6185						
		ONC	5614						
		O.Ijel	25883	ONC	10202				
		ONC	10511						
		ONC	8839						
ONC	8060								
ONC	6284								
O.Melah	11754								

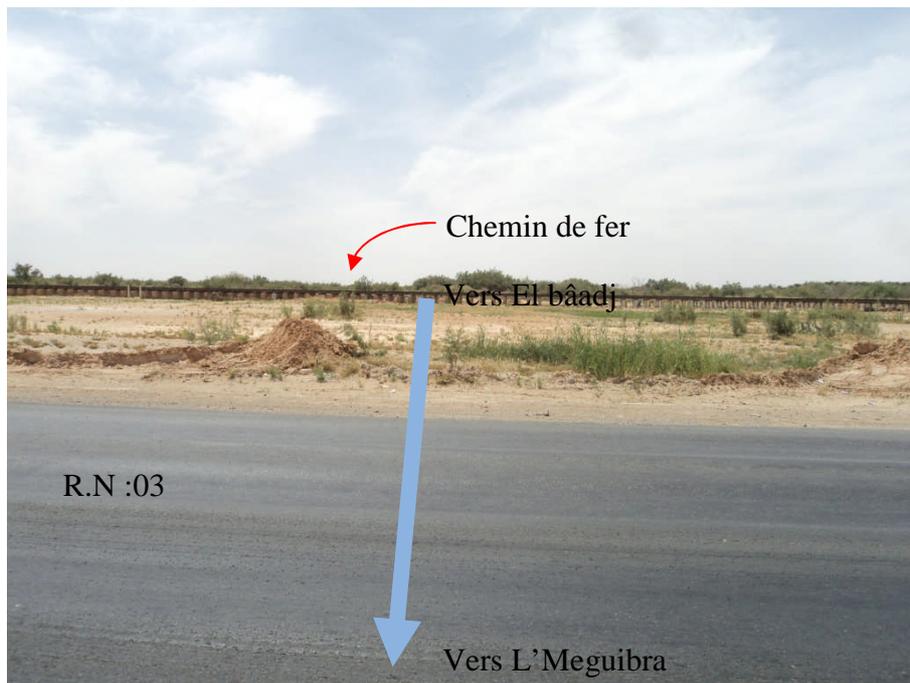
O.El ouaar	9384		
O.Faouar	18790	ONC	8686
		ONC	8519
		ONC	4529
O.saada	14118		
ONC	118	ONC	9632
		ONC	4529
O.Fehadj	8494		
ONC	3737		
ONC	8227	ONC	9418
		ONC	4458
O.Fercha	41892	ONC	7229
		ONC	6896
		ONC	9934
ONC	8878		
ONC	5369		
ONC	1977		

ONC : oued non classé

Annexe n°:3 représentations de la zone après le traitement « Mapinfo »



Annexe n°:4 Traversé d'Oued Ittel de la route RN°3



Lit d'oued Ittel



Route nationale n° :03