

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de La Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa



Faculté des Sciences et Technologies
Département de l'hydraulique et de Génie civil

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : *Sciences et Technologies*

Filière : *Hydraulique*

Spécialité : *Hydraulique Urbaine*

Par : Hadjer Grine et Salma moulaye Omar

Thème

**Etude D'aménagement hydraulique de
l'oued Metlili pour la protection contre
Les inondations wilaya de ghardaïa**

Soutenu publiquement le 19/06/2023

Devant le jury :

Boubli Salim	Maitre-Assistant A	Univ Ghardaïa	Président
Chouireb Mustafa	Maitre-Assistant A	Univ Ghardaïa	Examineur
CHEBIHI Lakhdar	Maitre-Assistant A	Univ Ghardaïa	Encadreur

Année universitaire 2022/2023

Remerciements

Nous commençons par remercier dieu le tout Puissant de nous avoir donné le courage, la Volonté et l'amour du savoir pour pouvoir réaliser Ce modeste travail.

Nos plus vifs remerciements vont à Dr. Chebihi Lakhdar pour avoir accepté de nous encadrer et nous diriger tout ou long de la réalisation de ce projet, et pour Tous les conseils instructifs et judicieux et leur disponibilité. Nous tenons à remercier également les membres de jury : Pour avoir accepté d'examiner ce travail.

De même, nous remercions tous les étudiants du

Master 2 HYDRAULIQUE promotions 2023

A tous les enseignants du département D'hydraulique qui on contribué à notre Formation.

Dédicace

*Dieu soit loué pour sa bonne grâce .Il vous loue jusque ça
que vous soyez satisfait et il vous loue et vous remercie
lors que vous êtes satisfait.*

*Je dédie cet humble travail aux personnes les plus
chères de ma vie.*

*Pour ma chère mère, c'est une fontaine d'Amour et
Bienveillance pour ce conseil et son soutien indéfectible.
A mon cher père qui m'a beaucoup aidé dans ma vie par
sa sagesse et ses conseils. A mes sieurs et frères pour la
grande famille*

*A mes chers amis qui m'ont marqué de souvenirs que je
n'oublierai jamais. Merci pour votre soutien et vos
encouragements.*

Sálmá

Dédicace

*Je souhaite adresser ma gratitude à mes parents pour
leur soutien, leur patience et leur amour infini*

A mes frères ; Hamza Ibrahim Omar Ismail Abed

Hamid, Ahmed

A mes sœurs ; Fouzia ; Souraya Soumaya ; Houria et

Amina

A mes nièces ; Kalthoum Rayane Israa Lojyne Tasnime

Aya

A toute ma famille

Mon oncle, que Dieu lui fasse miséricorde Grine Tahar

A mes amis Maroua et Fatima et ghaniya

Hadjer

Résume :

L'Algérie, comme d'autres pays dans le monde, est à risque d'inondation, et elle est à risque d'inondation, comme nous l'avons vu dans ses différentes provinces les années précédentes, des inondations liées aux intempéries dans le bassin de Metlili (Sebkha). Il présente un danger naturel pour les biens et les résidents

L'objectif de cette étude est d'identifier les ouvrages de protection qui seront mis en place sur les bassins versants de l'Oued Metlili, pour protéger la ville de Ghardaïa.

Notre étude comportait plusieurs parties de base : une étude hydrologique qui a permis de déterminer le débit potentiel de la crue, et une étude hydraulique pour calculer les dimensions des ouvrages de construction.

Mots clés : l'oued de Metlili, Inondations, protection , aménagement, HEC-RAS.

,

ملخص

الجزائر ، مثل دول أخرى في العالم معرضة لخطر الفيضانات ، وهو ما رأيناه في ولاياتها المختلفة في السنوات السابقة الفيضانات المرتبطة بالطقس في حوض متليلي (سبخة) . تشكل خطرا طبيعيا يهدد الممتلكات والسكان

و تهدف هذه الدراسة تحديد هياكل الحماية التي سيتم تنفيذها على مستجمعات المياه في وادي متليلي ، لحماية مدينة غرداية تألفت دراستنا من عدة أجزاء أساسية: دراسة هيدرولوجية سمحت بتحديد التدفق المحتمل للفيضان، ودراسة هيدروليكية لحساب أبعاد أعمال المنشآت

الكلمات المفتاحية: الواد متليلي، الفيضانات حمايه تهيئة HEC-RAS ،

Abstract :

Algeria, like other countries in the world, is at risk of flooding, and it is at risk of flooding, which we have seen in its various provinces in previous years, weather-related floods in the Metlili Basin (Sabkha). It poses a Natural hazard to property and residents The aim of This Study is to identify the protection structures That Will Be implemented on the watersheds of Waid Metlili, to protect the city of Ghardaïa. Our study consisted of several basic parts: a

hydrologique study That allowed determining the potential flow of the flood, and a hydraulic study to calculate the dimensions of the construction Works.

Keywords: owed Metlili Flood, Flooding, Rainwaters, Protection, HEC-RAC

Lister d'abréviation

(NOAA) : La National Océanique and Atmosphérique Administration.

(MEDD) : ministère de l'Écologie et du Développement durable.

K : Indice de compacité de Graveleuse.

L : Rectangle équivalent :

Hi : Altitude moyenne entre deux courbes de niveaux consécutives en m.

Si : surface partielle comprise entre deux courbes de niveaux consécutives en Km.

S : surface totale du bassin versant en Km.

I : Indice de pente global..

P : Pente moyenne du bassin versant.

D : Dénivelée spécifique.

Dd : densité de drainage [km/km²].

I : La pente moyenne du cours d'eau principale.

Th : Le temps nécessaire à l'imbibition du sol.

Tr : Le temps de ruissellement ou d'évaporation.

Ta : Le temps de réalisation est le temps accordé à l'eau

V : Vitesse moyenne de ruissellement.

p : Précipitation maximales journalières.

Cv : Coefficient de variation.

CSK : Coefficient d'aplatissement.

e : L'exposant climatique

Ni : numéro d'ordre.

n : la taille de l'échantillon.

Ecart type de la série log xi ;

U : variable réduite de Gauss;

P : La pluie de courte durée de fréquence égale a celle de P en (mm).

t : la durée en heures ;

I_{max} : Intensité maximale (mm/h).

b: L'exposant climatique

P : Pluie moyenne annuelle [mm].

V_s : Apport solide (m/an).

E_s : Taux d'érosion (t/Km/an).

L_e : Lame d'eau écoulée (27.53 mm).

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

I : Intensité maximale des précipitations pendant une durée égal eau temps de concentration en mm/h.

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

H : Altitude minimale en m ;.

P : pluie fréquentielle de courte durée, correspondant au temps de concentration.

f : Coefficient de forme de l'hydro gramme.

T_c : Temps de concentration du sous bassin en h .

: Coefficient de ruissellement pour la crue probable.

Q_p : Débit maximum de crue (de pointe) (m³/s).

Q(t) : Débit instantané au moment de la montée (m/s).

Q(t) : Débit instantané au moment de la descente (m/s).

t : Temps de montée (h).

t_d : temps de descente (h).

t : Temps de base (h).

C : dépend de la capacité de régulation du bassin-

P % : précipitation en mm

V. vent : Vitesse de vent.

T moy : Température moyenne.

T Max : Température moyenne maximal.

T Min : Température Moyenne minimal.

Liste de Figure

Chapitre I : Généralités sur les Inondations

Figure I.1. Le risques d' inondation (Ledoux,2006).....	5
Figure I.2.Lit mineur Lit majeur (MERABET 2006).	7
Figure 1.3 : Lit moyen d'un cours d'eau(MERARABET2006°)	7
Figure. I I.4. Éléments descriptifs d'une crue simple	9
Figure I.5.Crue simple et crue complexe	9
Figure I.6.Les inondation de plaine.....	11
Figure I.7 : Les inondations par remontée de nappe.....	12
Figure I.8. Les inondations torrentielles.....	12
Figure : I.9.Les inondation littorales ou submersions marines	14
Figure I.10. Cas significatifs des inondations survenues en Algérie.	16

Chapitre II: Présentation de la zone d'étude

Figure II.4: la population (2020/2021).	22
Figure II.5: Variation des températures moyennes mensuelle, (2006 - 2022).....	25
Figure II.8:.....	28
Figure II.9. : Bassins versants et hydrographie de la région du M'Zab (ANRH, 2011). .	30

Chapitre III: Etude Hydrologue

Figure III.1.Bassin versant de la zone d'étude.....	32:
Figure III.2 : Courbes de niveau du bassin vasant (relief).	34
Figure III.3 :	36
Figure III.4 : Hiérarchisation du réseau hydrographique. Après hiérarchisation, on découvre que le réseau hydrographique est dans l'ordre 4.	40
Figure III.5 : Représentation des observations sur papier normale.	46
Figure III.6 : Histogramme des observations.....	47
Figure III.7 : Ajustement à la loi de GUMBE.....	50
Figure III.8 :	53
Figure III.9 : Courbe des pluies de courte durée fréquentiel.	56
Figure III.10 : Courbe Intensité-Durée-Fréquence.	57
Figure III.11 : Hydro gramme de crue.	65

Chapitre IV :Protection et simulation contre les inondation

Figure IV.01:	67
Figure IV.02 :	68
Figure IV.03 :	68
Figure IV.4: Quelques dégâts matériels Ghardaïa (Metlili)	71
Figure IV.5 : Fenêtre principale de HEC-RAS	72
Figure IV.6 : Fenêtre Base Geometry Data - la zone Pont Cv Metlili	73
Figure IV.7:	74
Figure IV.8: Fenêtre Steady Flow Data - la zone Pont Cv Metlili	75
figure IV.9: Fenêtre Steady Flow Analysis - la zone Pont Cv Metlili	75
Figure IV.10 : Simulation de crue sur la zone Pont Centre-ville (vallée du Metlili)	76
Figure IV.11:	77

Liste de Tableau

Chapitre II:Prsontationde la zon d'étude

TableauII.1: Population des statistiques.....	19
Tableau II .2: Moyennes mensuelles des données climatiques à la station de Noumérat (ONM, 2006-2022).....	20
Tableau II.3: Moyennes annuels des données climatiques à la station de Noumérat (ONM, 2006-2022).....	21
Tableau II.4: Moyennes annuels des données climatiques à la station de Noumérat (ONM, 1992-2022).....	22

Chapitre III: Etude Hydrologique

Tableau III.1: surfaces partielles du bassin versant par tranche d'altitude.....	35
Tableau III.2: Caractéristiques des altitudes.....	37
TableauIII.3: Indice de pente global.....	37
TableauIII.4: : classifications O.R.S.T.O.M. (Bénira 2004).....	38
Tableau III.5 : Pente moyenne du bassin versant.....	38
Tableau III.6: classifications O.R.S.T.O.M (Bénira 2004).....	39
Tableau III.7: pente moyenne du cours d'eau principal.....	39
Tableau III.8: Temps de concentration pour les différents auteurs.....	43
Tableau III.9: Caractéristiques du bassin versant.....	41
Tableau III.10: Station pluviométrique de DOUCEN (coordonnées Lambert) (ANRH)	42
Tableau III.11 : Séries des Pluies Maximales Journalière (1992-2022) à la station de DOUCEN (ANRH).....	45
Tableau III.12 : Les caractéristiques empiriques	46
Tableau III.13: Résultats de l'ajustement à la loi de GUMBEL.....	49
Tableau III.14: Résultats de l'ajustement à la loi de GALTON.....	52
Tableau III.15: Pluies maximales journalières fréquentielles.....	53

Tableau III.16: Pluie de courte durée et leurs intensités à différentes fréquences.....	55
Tableau III.17: Apports moyens interannuels.....	58
Tableau III.18: Récapitulatif des apports liquides et solides du bassin versant.....	58
Tableau III.19: valeur de coefficient de ruissellement C.....	61
Tableau III.20: Pluies de courte durée et intensité pour bassin.....	61
Tableau III.21: Les débits de crues de bassins par les Différentes formules.....	62.
Tableau III.22: Débits de crues pour différentes périodes de retour.....	64

Sommer

Résumé	4
Introduction générale.....	1.

Chapitre I Chapitre I : Généralités sur les Inondations

I.1. Introduction.....	3
I.3. Risques majeurs-inondations :	3
I.2. Qu' est-ce qu'une inondation, exactement ?.....	5
I.4.1. Paramètres fondamentaux du cours d'eau :	6
a) Lits du cours d'eau :	6
Un écrêtement de crues pour aval (Merabet, 2006).....	8
I.5. Crue.....	8
I.6. La procédure menant aux inondations et crues.....	9
I.6.1. Eau mobilisée :	9
I.6.2. Le ruissellement :.....	10
I.6.3. La période de concentration :.....	10
I.6.4. La propagation du la crue :	10
I.6.5. La débordement :.....	10
I.7. Typologie des inondations :	10
I.7.1. Inondations en langage clair (crues lentes) :	11
I.7.2. Inondations par soulèvement de la nappe :.....	11
I.7.3. Les inondations torrentielles (crues-éclair) :.....	12
I.7.4 Inondations par ruissellement pluvial ou par refoulement de réseau.....	12
I.7.5. Les inondations littorales ou submersions marines :.....	13
I.8. Causes et types d'inondations catastrophiques en Algérie.....	14
I.9. Conclusion :.....	16

Chapitre II Présentation de la zone d'étude

II.1 Introduction :.....	17
II.2 Présentation de la zone d'étude :.....	17
II.2.1. La situation géographique :.....	17
II.2.2 Situation régionale de la zone d'étude :.....	18
II.2.3 La géomorphologie :.....	19

II.2.3 Géologie du site :	20
II.2.4 Population :	21
II.3 Cadre Climatique :	22
II.3.1 Les températures :	24
II.3.2 Précipitations:	25
II.3.2.1 Précipitations annuelles :	25
II.3.2.1 Précipitations moyenne mensuelle :	26
II.3.2 Diagramme pluviométrique (P=2T) :	27
II.3.3 L'humidité de l'air :	27
II.3.4 Le vent :	28
II.4 Présentation des sites d'intervention :	29
II.4.1 Définition du bassin versant :	29
II.4.2 Bassin versant de l'oued Metlili :	30
II.4.3 Détermination des principaux affluents du bassin versant d'Oued Metlili :	31
II.5 Conclusion :	31

Chapitre III Etude hydrologique

III.1.Introduction :	32
III.2. Le bassin versant et son complexe :	32
III.2.1 Caractéristiques morphologiques du bassin versant :	32
III.2.1.1. La surface :	33
III.2.1.2. Le périmètre :	33
III.2.1.3. Indice de compacité de Graveleuse :	33
III.2.1.4.Rectangle équivalent :	33
III.3 Relief:	34
III.3.1 Répartitions et courbe hypsométrique :	35
III.3.2 Caractéristiques des altitudes :	36
III.3.3 Indice de pente :	37
III.3.3.1 Indice de pente global I_g :	37
III.3.3.2 : Pente moyenne du bassin versant :	38
III.3.3.3 : Dénivelée spécifique D_s :	38
III.4 Caractéristiques hydrographiques du bassin versant :	39
III.4.1 Hiérarchisation du réseau :	39
III.4.2 La densité de drainage :	40
III.4.3 La pente moyenne du cours d'eau principale :	41

III.4.4 Le temps de concentration :	41
III.4.5 Vitesse moyenne de ruissellement :	43
III.5. Analyse des données pluviométriques :	44
III.5.1 Précipitation maximales journalières :	45
III.5.2.Choix de la loi d'ajustement :	47
III.5.2.1.Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL :	47
III.5.2.2. Ajustement de la série pluviométrique par la loi Log Normal ou loi de Galton:	50
III.5.3 Pluie de courte durée et leurs intensités à différentes Fréquences :	54
III.5.3.1 Intensités maximales à différentes Fréquences :	54
III.6 Evaluation des apports :	57
III.6.1 Apports liquides :	57
III.6.2 Apports solides :	58
III.7 Etude des crues :	59
III.7.1 Application sur les bassins versants :	60
III.7.1.1 Formule de Turazza :	60
III.7.1.2. Formule de Giandootti :	61
III.7.1.3 Formule de Sokolovski :	62
III.8 Hydro-gramme de crue :	63
III.9 Conclusion :	65

Chapitre IV Protection et simulation contre les inondation

IV .protection contre Les inondations :	66
IV.1. Information digitales et modèles numériques:	66
IV.1.1. Généralité sur les MNT et MNA :	66
IV.1.2.Présentation du logiciel "Système d'Information.....	67
IV.2 : Les principales raisons des inondations à Ghardaïa :	68
IV.2.1 : Facteurs climatiques :	69
IV.2.2 :Facteurs humains :	69
IV.2.3 : Facteurs géographiques :	69
IV.3.Solutions Proposées:	69
Simulation de la crue :	70
IV .4 Simulation numérique de la crue des Oueds :	71
IV.4.1 Étapes de la modélisation :	72
IV.4.2 Géométrie des sections :	72

IV.5 Application sur la zone pont centre-ville (vallée du Metlili) :.....	73
IV.5.1 Débits et conditions limites :.....	75
IV.5.2 Simulation hydraulique :.....	75
IV.5.3 Visualisation des résultats :.....	75
IV.6 Finalisation de la carte.....	76
Conclusion :.....	77
Bibliographie.....	81

Introduction

Général

Introduction générale

Les inondations sont un risque dominant sur le territoire algérien. Elles se manifestent souvent suite aux débordements des cours d'eau habituellement à sec (les oueds) dans les plaines agricoles. Cependant, au cours des dernières décennies, elles apparaissent de plus en plus fréquemment en zones urbaines, causant des pertes humaines et matérielles (Myriem.N et al., 2016).

Les régions des hauts plateaux et du sud algérien en générale, en connaissent ces derniers années, en relation avec les perturbations climatiques actuels, des changements notables dans le régime hydrologique des oueds de la région, plusieurs inondations générées par des crues éphémères de ces oueds ont causés des dégâts humains et matériels considérables. Aussi la prise en considération des catastrophes hydro climatiques naturelles a conduit l'état à la programmation d'un grand nombre de projets d'aménagement de protection des centres urbains et économiques contre les inondations.

Plusieurs régions du pays menacées par ces catastrophes hydrologiques dont les effets sont souvent intensifiées par une urbanisation anarchique impliquant une occupation des terres inondées et même les rives des oueds.

Les systèmes d'évacuation des eaux de crue doivent être intégrés dans un aménagement global qui prendra en considérations la protection de l'ensemble du city urbain. Cette protection s'articule autour d'ouvrages capables de prendre en charge les eaux de crue et les évacuer.

L'objectif de ce travail de recherche est la protection de la ville de metlili contre les inondations pouvant provenir des crues drainées par l'oued Metlili .

Afin de mener à bien ce travail, nous avons adopté une structure de mémoire organisée en quatre chapitres.

La commune de Metlili (Ghardaïa) est soumise à chaque événement Pluvial à des

Inondations. Puisque l'agglomération de la ville se trouvant au voisinage des lits

D'oued et l'écoulement superficiel venant dans le sens de cette dernière. Il provoque à chaque fois des dégâts niveau des habitations. Pour protéger ces agglomérations, nous de le dimensionnement de la protection sera fondé.

à chaque fois des dégâts niveau des habitations. Pour protéger ces agglomérations, nous essayent de simuler les crues et faire dimensionner les ouvrages hydraulique nécessaire et proposerons un aménagement

De l'oued pour éliminer le risque de débordement.

Le premier chapitre : Présent une synthèse de la gestion de risque d'inondations en distinguant les différentes composantes du risque et en citant plusieurs techniques de réduction du risque des inondations.

Le deuxième chapitre : Consiste à la présentation de la zone d'étude et nous informe sur sa localisation, le climat dominant, la géologie du terrain ainsi que la situation actuelle de l'Oued.

Le troisième chapitre : L'étude hydrologique du bassin versant, source essentielle des eaux alimentant l'Oued, nous renseigne sur les différentes caractéristiques de celui-ci et de celles du réseau hydrographique. L'ajustement des séries pluviométriques permettra la déduction de la loi statistique la plus adéquate afin de nous éclairer sur les pluies probables pour diverses périodes de retour et les débits qui leur correspondent. L'établissement du diagramme de crue nous permettra aussi d'extraire le débit de crue maximal qui sera le débit de projet selon lequel le dimensionnement de la protection sera fondé.

Le quatrième chapitre : Concerne sur la proposition d'aménagement d'Oued Metlili et le calcul hydraulique du dimensionnement d'ouvrage d'aménagement qui a été proposé (évacuateurs de crues) Dans le but de calmer l'écoulement de crues et/ou la dérivation de crue

CHAPITRE I
Généralités sur les
Inondations

I.1. Introduction

Différents types d'inondations sont appliqués aux zones inondables, et ces caractéristiques d'inondations ont un impact sur le développement des crises et la sévérité de leurs coûts humains et économiques. Le risque varie selon le territoire exposé car ni l'alpha ni la vulnérabilité ne sont les mêmes. Par exemple, sur un terrain plat, les crues se développent plus lentement, alors que sur un terrain escarpé, elles se développent rapidement et violemment. De plus, si les habitations humaines étaient absentes ou rares dans les zones inondables, les inondations n'ont pas entraîné de catastrophes susceptibles de laisser une impression durable. L'objectif principal de ce chapitre est de mieux comprendre le risque d'inondation, le phénomène naturel qui le provoque, son déroulement, ainsi que les enjeux et leurs implications. [1]

I.3. Risques majeurs-inondations :

Il existe cinq familles de catégories de risques auxquelles chacun d'entre nous peut être exposé :

- ❖ **Risques naturels** : comprennent les avalanches, les incendies de forêt, les inondations, les mouvements de terrain, les cyclones, les tempêtes, les tremblements de terre et les éruptions volcaniques ;
- ❖ **Risques technologiques** : Comprennent les risques industriels, nucléaires, biologiques et de rupture de barrage

Risques de déplacement collectif : de personnes ou de matières dangereuses impliquent des risques technologiques, et chaque cas est unique en raison de la façon dont les implications changent en fonction du lieu de l'accident ;

- ❖ **Risques de la vie quotidienne** : (accidents domestiques, accidents de la circulation, etc.) ;
- ❖ **Risques liés aux conflits** : La menace directe sur les êtres humains et leur environnement ainsi que leurs infrastructures est considérée comme un risque majeur. Si cette menace se matérialisait, la société serait complètement dépassée par l'ampleur de la catastrophe. Par conséquent, **seules les trois premières catégories sont incluses.**

Risque majeur : qui est caractérisé par :

Une faible fréquence : (les gens et la société peuvent être plus enclins à ignorer le fait que les catastrophes ne se produisent pas très souvent) ;

Une gravitation énorme : De nombreuses victimes et de graves dommages matériels et environnementaux. Les probabilités de survenue de phénomènes naturels sont appelées aléas dans le domaine de la gestion des risques ; étudier aléas consiste à essayer de catégoriser ces phénomènes en fonction des trois principaux facteurs énumérés ci-dessous : la fréquence d'occurrence, l'intensité destructrice et l'étendue. Leur intensité en ce qui concerne l'inondation est principalement exprimée pour un emplacement spécifique par la profondeur, la durée et la vitesse du courant. Ces paramètres sont fournis, avec plus ou moins de précision, sur toute la zone inondable par la croisière de fréquence spécifiée. Afin de mieux appréhender le risque inondation, seront expliqués :

L'aléa « inondation »,

Les enjeux exposés,

La susceptibilité des problèmes exposés aux attaques ; [3].

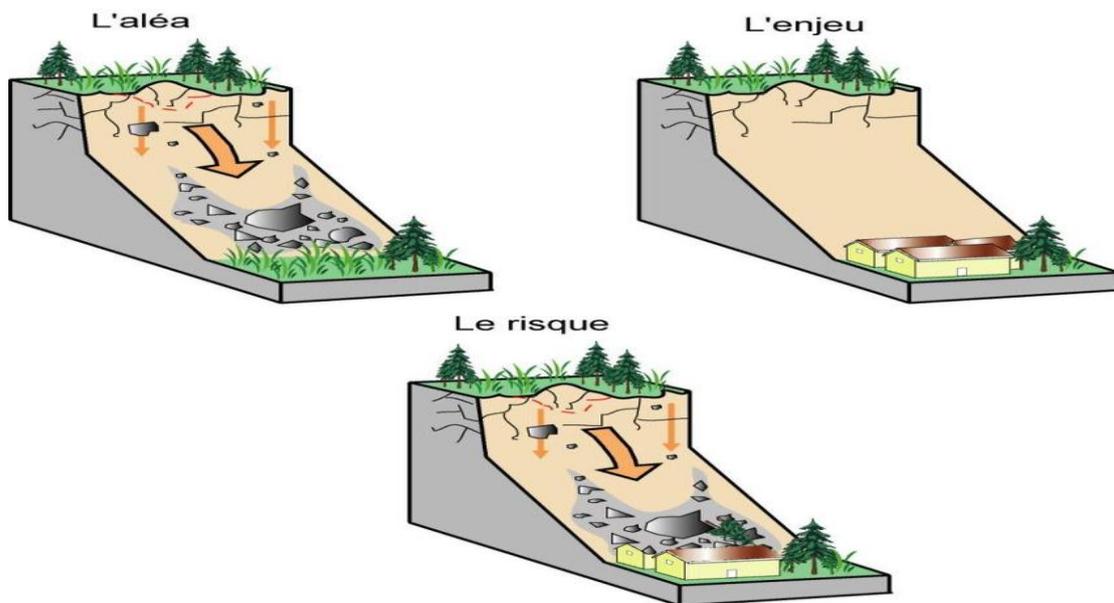


Figure I.1. Le risques d' inondation (Ledoux,2006).

I.2. Qu' est-ce qu'une inondation, exactement ?

Les inondations sont des catastrophes naturelles ; une inondation est la submersion rapide ou progressive d'une région qui est généralement au-dessus de l'eau. Le risque d'inondation est causé par deux facteurs : l'eau, qui peut échapper à son cours habituel d'évaporation ou apparaître, et les personnes, qui s'installent dans les zones inondables pour y installer divers ouvrages, équipements et activités. Le mot « inondation » dérive du mot latin « inondation », qui signifie submersion. [2]

I.4 .Connaissance de l'aléa inondation :

a) Aléa : Selon la définition française donnée par le Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, "aléa" est le terme qui décrit le mieux le phénomène physique naturel et incontrôlable, d'une occurrence et d'une intensité données. Cette définition met en évidence la nature aléatoire du risque et le distingue de sa définition linguistique, qui présente le risque comme une entité autonome plutôt que comme l'une de ses composantes. Dans notre cas, où le risque est l'inondation, l'aléa n'est que le phénomène naturel de tremblement de terre, qui se produit et s'intensifie de manière aléatoire. Cette prédiction est

probabiliste, et la détermination de l'intensité et de la fréquence du séisme est basée sur le traitement stochastique des événements historiques, où la longueur des séries observées joue un rôle clé dans la validité des prédictions. Cependant, la notion de période de retour est strictement statistique et ne concerne que l'évaluation de la gravité du phénomène par rapport à d'autres phénomènes (Chachoua, 2010).

b) Vulnérabilité : La vulnérabilité est un concept général. Elle tient compte de nombreux facteurs géographiques et socioéconomiques. Il existe plusieurs définitions dans la littérature, et deux définitions officielles ont été retenues. La National Océanique and Atmosphérique Administration (NOAA) et le ministère de l'Ecologie et du Développement durable (MEDD) définissent tous deux la "vulnérabilité" comme "le niveau des conséquences anticipées d'un phénomène naturel sur les enjeux" et "la susceptibilité des ressources à être affectées par les aléas". « Épidémies », respectivement. Les facteurs de risque (personnes, biens, activités, patrimoine, etc.) qui confèrent à la vulnérabilité une dimension quantitative et qualitative complexe sont appelés les enjeux. Quatre points pourraient être utilisés pour résumer la vulnérabilité.

1. La perception sociale de l'aléa;
2. L'aléa et ses effets anticipés sur les enjeux ;
3. Les mesures prises pour atténuer l'impact de l'aléa ;
4. Les enjeux. [4]

I.4.1. Paramètres fondamentaux du cours d'eau :

a) Lits du cours d'eau :

Étant donné que le lit d'une rivière est façonné par l'eau qu'elle transporte, ses dimensions sont considérées comme étroitement liées à ses modèles hydrologiques.

Lit mineur : qui est constitué de l'éclairage type des cours d'eau pour déduction d'évaporation ou crues annuelles.

Lit majeur : Comprend les zones basses positionnées d'un côté et de l'autre du **Lit Mineur**, à une distance allant de quelques mètres à plusieurs kilomètres. Les crues exceptionnelles représentent sa limite. Ensuite, le majeur éclairé constitue une portion substantielle de la rivière ; si on s'y implante, on le fait à l'intérieur même du fleuve. Cette zone (lit majeur) occupée par un écoulement d'eau lors d'une inondation peut être divisée en deux zones :

- (1) **une zone d'évaporation près du lit mineur**, où l'écoulement se déplace à un rythme rapide.
- (2) **une zone de stockage**, où le flux se déplace lentement. Ce stockage est essentiel car il permet de laminer la crue, ce qui réduit le débit et la vitesse de montée de l'eau à l'aval (Merabet, 2006).

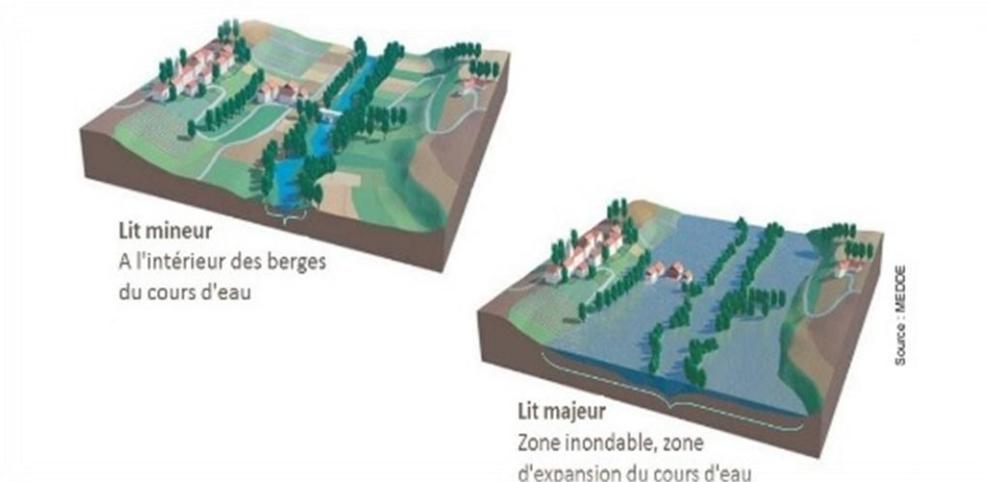


Figure I.2.Lit mineur Lit majeur (MERABET 2006).



Figure 1.3 : Lit moyen d'un cours d'eau (Ledoux, 2006)[1].

b) Berge, rive :

Le talus incliné séparant le plus petit du plus grand lit s'appelle la berge. Tandis que la rivière sert de frontière géographique séparant les milieux aquatiques et terrestres. Elle débute au sommet de la montagne et constitue une portion de plateau plus ou moins étendue qui est encore influencée par le milieu aquatique.

c) Ripisylve :

Sur la berge se trouve la formation végétale naturelle. Il s'agirait en fait d'une forêt alluviale, s'étendant sur plusieurs dizaines ou centaines de mètres de part et d'autre de l'étroite zone littorale. Le rôle du Rap sylve sur les navires peut être important; lorsqu'elle occupe une partie importante du texte majeur, le texte devient sensiblement plus rugueux, ce qui a deux conséquences hydrostatiques :

Une diminution de la vitesse du grand lit, et donc une diminution des effets corrosifs du courant ;

Un écrêtement de crues pour aval (Merabet, 2006).

d) Alluvions et substrat :

Les grains fins ou grossiers alternativement déposés ou captés par le courant sont appelés alluvions. Ils recouvrent le substratum, qui est une couche formée par une roche dure ou peu tendre (schistes, grés, marnes) (**Benmia, 2012**). [5]

I.5. Crue

La crue est une étape du régime hydrologique d'un aquifère caractérisée par l'augmentation plus ou moins brutale du débit due à des facteurs externes, le débit dépassant alors un seuil prédéterminé. L'élévation rapide du niveau d'eau peut entraîner à la fois le remplissage du lit majeur et la submersion du lit mineur. Même s'ils se déplacent continuellement de l'un à l'autre, les inondations et les tempêtes torrentielles se distinguent généralement les unes des autres. L'émergence des eaux dans ces immenses bassins est généralement lente en raison des principaux cours d'eau qui sont affectés par les crues fluviales, qui sont souvent saisonnières. Quelle que soit la région du réseau hydrographique touchée, torrentielle ou rapide, des orages subits, cruels, soudains ou encore éclairs se produisent fréquemment. Caractérisés par une évolution rapide et une forte montée des eaux, ces orages convectifs sont intensément violents et

localisés. Si la croix n'a qu'un seul point, c'est facile. Il est considéré comme complexe s'il comporte plusieurs points, comme le montre le schéma suivant. [6]

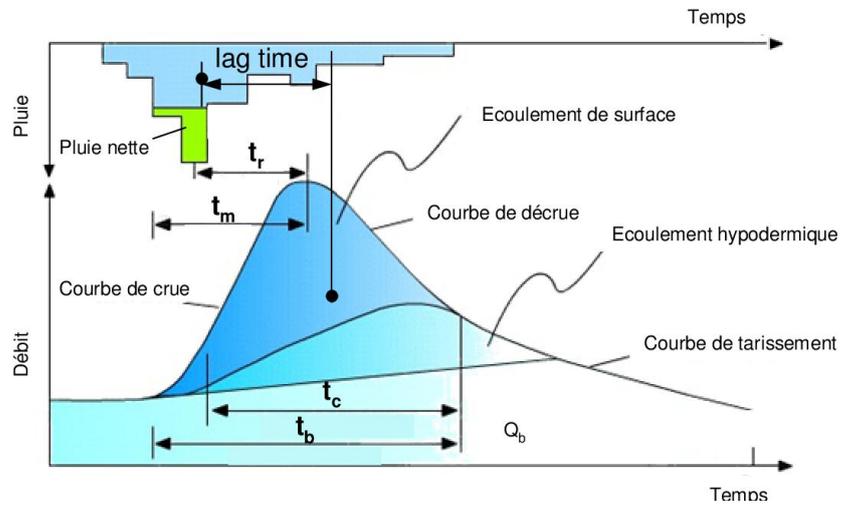


Figure I.4. Éléments descriptifs d'une crue simple

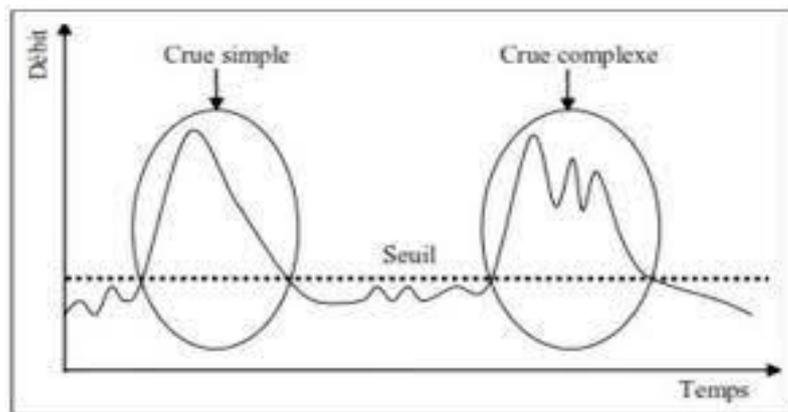


Figure I.5. Crue simple et crue complexe

I.6. La procédure menant aux inondations et crues

Les processus suivants contribuent tous au phénomène d'inondation :

I.6.1. Eau mobilisée :

Dans notre pays, la majorité des inondations sont principalement causées par des chutes de pluie importantes, parfois exceptionnelles. Cependant, en Algérie, le régime des précipitations est très irrégulier, tant sur le plan saisonnier

qu'annuel, ce qui entraîne des étiages extrêmement sévères et, à l'inverse, des crues et des inondations intenses pendant les mois d'hiver.

I.6.2. Le ruissellement :

Le ruissellement est dépendant du type de sol et de son utilisation en surface. C'est la partie de l'eau qui n'a pas été absorbée par le sol, renvoyée dans l'atmosphère par évaporation ou empêchée de s'infiltrer. Il peut également émerger très rapidement après infiltration et évaporation hypodermique ou subaquatique. Elle le sera donc encore moins si la végétation est dense et les sols profonds et non contaminés par les épisodes pluvieux récents. Au contraire, il bénéficiera de l'imperméabilité du sol apportée par l'urbanisation (infrastructures, bâtiments). De plus, l'intensité de la pluie joue un rôle crucial en provoquant la formation d'un film d'eau au sol au-delà d'un certain seuil, conduisant à la plus grande évaporation.

I.6.3. La période de concentration :

Il est mesuré par le temps qu'il faut à un glaçon pour parcourir le chemin hydraulique le plus long possible sans geler. Par conséquent, cela dépend de la taille et de la forme du berceau en pente, de la topographie et de l'utilisation du sol.

I.6.4. La propagation de la crue :

L'eau ruisselée s'accumule dans un axe drainant ou forme une crue qui se répand vers l'aval ; la pointe de la crue est plus usée et sa propagation est ralentie à mesure que le champ d'évaporation s'élargit et que la pente devient plus faible.

I.6.5. La débordement :

Elle résulte de la propagation d'un débit supérieur à celui qui peut évacuer le plus petit lit, dont la capacité est souvent restreinte à des débits crues avec des périodes de retour comprises entre un et cinq ans. Elle peut survenir une, plusieurs fois, ou seulement une fois tous les dix ans en moyenne, voire tous les cent ans. [7]

I.7. Typologie des inondations :

Selon la cause de la catastrophe, on distingue différentes formes d'inondation : inondations de plaine (crues lentes), par remontée de nappe, par crues torrentielles, par ruissellement en zone urbaine ou rurale, inondation par rupture de digue, et les inondations marines. La catégorisation consiste à

distinguer les inondations causées par des crues à vitesse cinématique lente (inondations de plaine, remontée de nappe), et celles causées par des crues à rapidité cinématique. Dans les quatre premiers cas, le phénomène générateur est la pluie, et l'inondation s'engagera à partir des fleuves et rivières (crues torrentielles, ruissellement). Cependant, dans le premier cas, des facteurs locaux contribuent à éclairer un événement d'une certaine manière, alors que dans le second, c'est le mouvement de la mer qui joue un rôle. [1]

I.7.1. Inondations en langage clair (crues lentes) :

Ils concernent les grands bassins transversaux (Seine, Loire, Meuse, Saône). Ces inondations sont à l'origine de précipitations persistantes et continues qui ont touché une vaste zone et provoqué des crues lentes mais généralisées dans le réseau hydrographique. Ils peuvent également résulter de la conjonction de plusieurs facteurs, entraînant des précipitations importantes et la formation de neige. Par exemple, la durée de séjour dans les bassins à faible pente peut aller de quelques jours à plusieurs semaines. Par exemple, la Seine River Crue 2013. [1]



Figure I.6. Les inondation de plaine

I.7.2. Inondations par soulèvement de la nappe :

Les pluies alimentent les nuages phréatiques ou flottants de plantes sieste uses. Le niveau de la nappe peut alors atteindre la surface du sol et provoquer une inondation par ré intensification des nappes si des conditions météorologiques exceptionnelles surviennent pendant les périodes annuelles où

les nappes sont fortement chargées. Parfois ces inondations s'accompagnent d'effondrements de terrain. Ce type d'inondation peut être désastreux. [1]

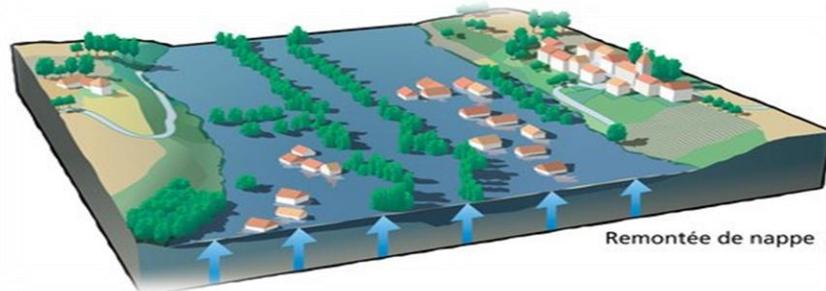


Figure I.7 : Les inondations par remontée de nappe

I.7.3. Les inondations torrentielles (crues-éclair) :

Ces crues sont causées par de fortes précipitations sur des bassins en pente de vent modéré à fort. L'eau se condense rapidement dans le courant d'eau qui coule lorsqu'elle émerge de son lit. Ils se caractérisent par une montée relativement rapide du niveau de l'eau, de forts taux d'évaporation et des durées souvent inférieures à 24 heures. Ces crues courent le risque de détruire des bâtiments, de détruire des berges ou les deux en raison de leurs taux d'évaporation élevés. La montée rapide des eaux peut rendre l'alerte difficile. Par conséquent, ces crues sont extrêmement dangereuses, y compris pour les personnes. De plus, les rivières peuvent transporter des matériaux, parfois de grande taille, érodés des montagnes. Lorsqu'un canal d'irrigation traverse des arbres, des débris ou d'autres objets, il y a un risque élevé d'accidents (chute d'arbres dans l'eau, par exemple). [8]



Figure I.8. Les inondations torrentielles

I.7.4 Inondations par ruissellement pluvial ou par refoulement de réseau :

Cette forme d'inondation se produit généralement après de fortes pluies orageuses lorsque les systèmes hydrauliques artificiels ou naturels (tels que les systèmes de

drainage et les réseaux d'irrigation) sont incapables d'éliminer l'excès d'eau. Le phénomène est aggravé par l'imperméabilité du sol (routes, falaises) qui limite l'infiltration et provoque le ruissellement. Alors l'eau a rapidement inondé les rues, parfois en moins d'une heure. [8]

I.7.5. Les inondations littorales ou submersions marines :

Inondation par rupture d'ouvrage : Dans le cas de cours d'eau endommagés, l'inondation peut survenir violemment soit par rupture de digue, soit par surverse (débordement au-dessus de la digue entraînant fréquemment une rupture). Lorsque les préoccupations humaines et matérielles sont proches de la digue, le phénomène peut être particulièrement dur et tragique. L'inondation rapide de ces secteurs ne laisse pas le temps d'intervenir et l'énergie qu'elle dégage met les gens en danger. Par conséquent, si la structure de protection tombe en panne ou si le niveau d'eau monte au-dessus de ce qui était prévu, se trouver derrière elle peut augmenter le risque. Les submersions marines correspondent aux inondations de la zone maritime côtière. En raison de circonstances météorologiques et marines-géographiques sévères (tempêtes). On distingue trois types de submersion :

Le débordement : lorsque le niveau de la mer dépasse celui de tout ouvrage ou littoral naturel.

La traversée du littoral par paquet d'eau suite à l'affaissement des vagues.

L'effondrement d'un ouvrage ou la dévastation de dunes sous l'effet d'une tempête. Les régions que ces éléments protègent sont alors vulnérables aux intrusions d'eau si leurs auteurs sont inférieurs au niveau de la mer. [8]

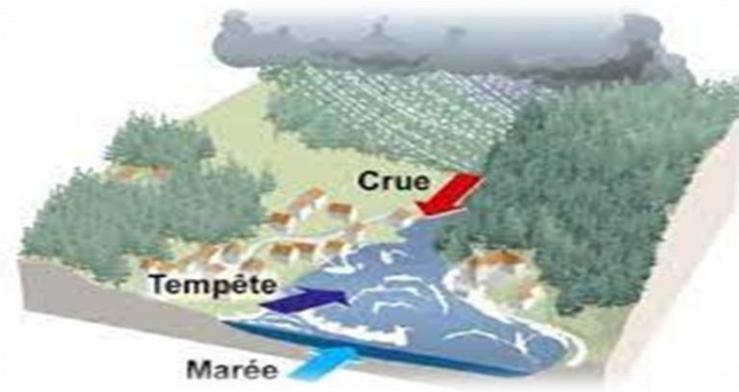


Figure I.9. Les inondation littorales ou submersions marines

I.8. Causes et types d'inondations catastrophiques en Algérie

Au centre, janvier 1999 dans l'ouest du pays, octobre 2000 à Sidi Bel Abbès, et novembre 2001 sur la côte algérienne (inondation de Bab El Oued). Ces événements imprévisibles dans l'espace et dans le temps constituent un obstacle sérieux à l'avancement du développement économique et social. La très forte irrégularité des précipitations en Algérie, tant annuelle que saisonnière, provoque des écoulements de glace et d'eau extrêmement violents, ainsi que de puissantes crues et inondations, qui causent d'importants dégâts matériels et humains. Selon les circonstances géographiques, climatiques et d'utilisation des sols qui définissent chaque région, l'origine des crues et leurs effets sur l'environnement varient d'une crue à l'autre. De façon générale, on peut classer en trois catégories les causes des inondations découvertes en Algérie

1) Facteurs associés à des conditions météorologiques exceptionnelles entraînant de fortes précipitations, telles que les inondations des bassins du Maza Fran et du Sebou en décembre 1957, les inondations de la chute algérienne et tunisienne de 1969, les inondations des bassins algérien et du Sebou en mars 1974, les inondations du bassin de la Mekerra à Sidi Bel Abbés en 1997, et les inondations du Moulay S lisse etc.

2) Causes d'origine humaine : la défaillance des systèmes de drainage et de collecte des eaux, ainsi que l'expansion des cours d'eau due aux débris et aux déchets, contribuent aux dégâts lors des tempêtes saisonnières. Les exemples de Tiaret, qui est presque toujours inondée, et de la plaine du Mzab, où les

inondations se produisent tous les deux à trois ans, montrent l'impact de ces facteurs anthropiques.

3) Les facteurs qui surviennent dans les zones aux conditions topographiques défavorables, telles que celles qui sont situées au pied des montagnes ou celles qui sont traversées par des oueds (Bordj Bou Arreridj, Oued R 'hi ou, Sidi Bel Abbés) (Ain D efla, Batna, Médée). Ces zones densément peuplées, qui sont le résultat d'un processus d'urbanisation incontrôlé, comportent des risques importants ; toute inondation, aussi minime soit-elle, entraîne des pertes humaines et la destruction de bâtiments. Ces inondations se répartissent en deux catégories selon les caractéristiques des roches, leurs durées et leurs étendues :

Inondations causées par des averses torrentielles : elles affectent de petits bassins s'étendant sur quelques dizaines de kilomètres, et elles sont le plus souvent associées à des orages isolés et puissants localisés qui résultent de phénomènes convectifs qui se produisent généralement en automne et en été. En raison de la rapidité et de la violence avec lesquelles ils se développent, ces types de crues sont très dangereux. Des ruissellements violents et rapides peuvent se produire en une heure seulement après un orage, et les rejets de minerai peuvent passer de quelques m³/s à plusieurs milliers de m³/s en seulement deux ou trois heures. L'inondation de la ville d'Oued R 'hi ou le 20 octobre 1993 a fait 23 morts et 20 blessés.

Les inondations des grands bassins versants : elles sont le plus souvent le résultat de précipitations importantes, dispersées sur un large territoire et caractérisées par leur quantité et leur durée, pouvant durer de 10 à 15 jours. Sauf quand elles sont brutalement exacerbées par des avals riches plus courts et plus rapides, les crues sont grandes, lentes et faciles à prévoir dans leur évolution. Ce type d'inondation se produit généralement en Algérie entre les mois de décembre et mai pendant la saison hivernale. [9]

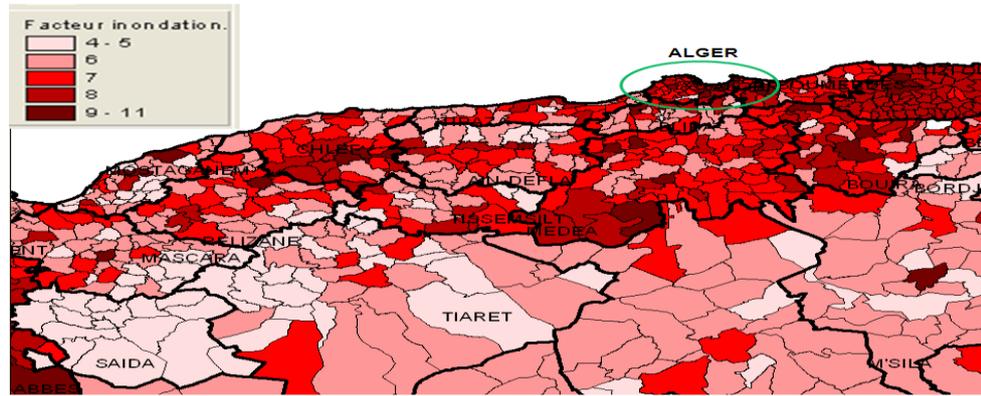


Figure I.10. Cas significatifs des inondations survenues en Algérie.

I.9. Conclusion :

Une inondation est une submersion plus rapide d'une zone particulière, avec des niveaux d'eau et des vitesses de courant parfois nettement plus élevés que d'habitude. Elle est causée par une augmentation d'un débit d'eau causée par des pluies importantes et prolongées. L'inondation n'est pas un risque; un risque est un phénomène auquel on peut attribuer une probabilité d'occurrence et une intensité, et qui est susceptible de produire des dommages lorsqu'il se produit. De ce fait, il est nécessaire que l'homme occupe la zone inondable. Malgré cela, l'importance des facteurs (populations, habitations, équipements, etc.) ne rend pas entièrement compte de la gravité potentielle de la catastrophe. Cette personne est également responsable de la vulnérabilité des enjeux, ou de leur propension à subir des préjudices. La majorité de Selon les experts, le risque est défini par "Risque = Alpha + Enjeu", et selon cette formule, le même risque peut résulter d'un alpha fort avec une vulnérabilité faible, d'un alpha moyen et d'une vulnérabilité moyenne, ou d'un alpha qui est faible avec une forte vulnérabilité.

CHAPITRE
II présentation
de la zone d'étude

II.1 Introduction :

Ce chapitre est consacré à une description générale du bassin versant de l'oued Metlili (W. Ghardaïa) afin de donner les indications géographiques, géomorphologiques, géologique et hydrogéologiques, bases indispensables à la compréhension future des mécanismes hydrologiques. En effet l'altitude, les cours d'eau et la forme d'un bassin versant reliées à la lithologie renseignent sur le type de réponse hydrologique du bassin. Aussi, l'ensemble des principales caractéristiques physiographiques qui jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau, a une forte influence sur la répartition spatiotemporelle des précipitations et des écoulements au sein du bassin étude.

II.2 Présentation de la zone d'étude :

II.2.1. La situation géographique :

La wilaya de Ghardaïa est située au centre de la partie nord de Sahara à 600 Km au sud d'Alger, occupant une position centrale reliant les Hauts Plateaux et le Sahara. Elle occupe sur une superficie de 31 060 km². Selon la loi n°19-12 du 11 décembre 2019, le nouveau découpage administratif permet à soustraire trois communes (Hassi lefhal, Hassi el-gara, El-Menia) de la wilaya de Ghardaïa, donc la wilaya de Ghardaïa, elle est limité par [11] :

- Au Nord par la wilaya de Laghouat (200 Km) ;
- Au Nord Est par la wilaya de Djelfa (300 Km) ;
- A l'Est par la wilaya D'Ouargla (200 Km) ;
- Au Sud par La wilaya d'El-Menia, Au Sud (280 km) ;
- Au Sud- Ouest par la wilaya D'Adrar (400 Km) ;
- A l'Ouest par la wilaya Del -Bayadh (350 Km). (Figure . II -1).

La wilaya de Ghardaïa compte 08 daïras et 10 commune sont : Ghardaïa, Berriane, Bounoura, Metlili, Daya Ben Dahoua, Guerrara, Zelfana, Sebseb, El-Atteuf, El Mansoura [11] .

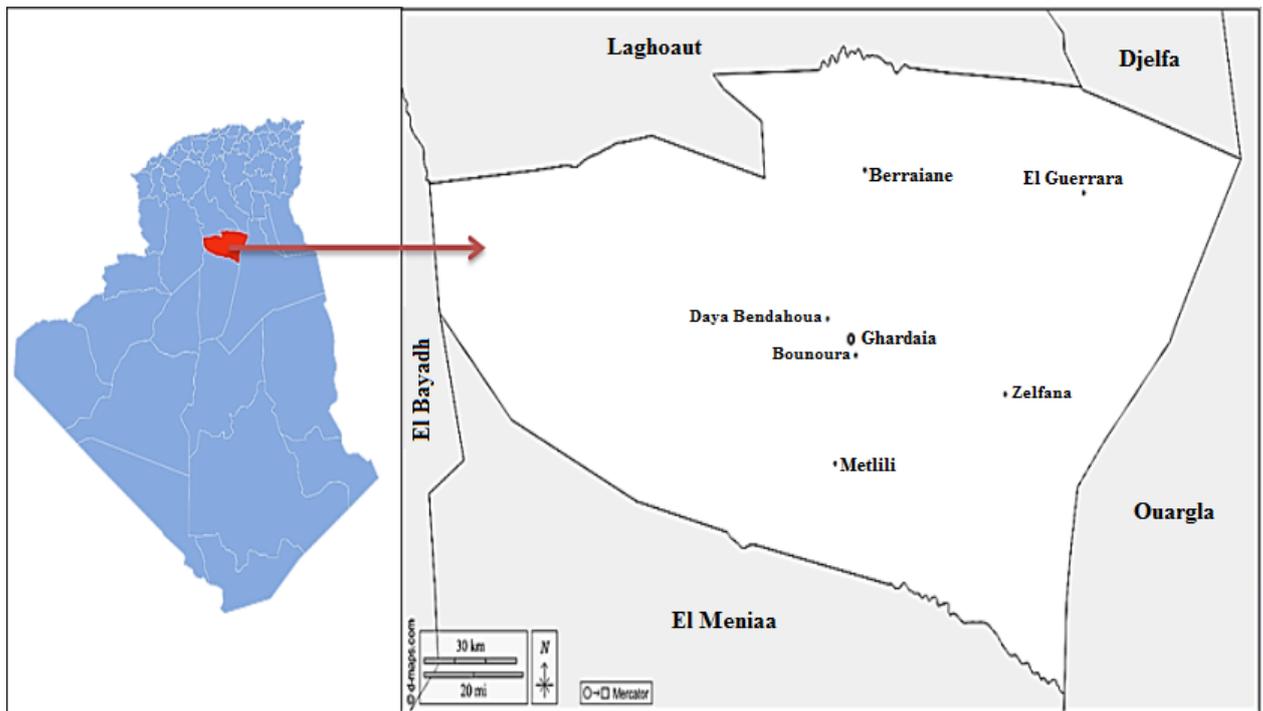


Figure II-1 : Situation géographique de la région de Ghardaïa (DPAT, 2021)

II.2.2 Situation régionale de la zone d'étude :

La commune de Metlili est située au Sud de la wilaya de Ghardaïa à une distance de 45 km (Figure.II.2) ,elle couvre une superficie de 7300 Km². et est repérée par les coordonnées suivantes :

- L'altitude 32° 16' nord et
- La longitude 3° 38' Est,
- Altitude de 455 m.

Elle est limitée :

- Au nord par : la wilaya d'el Bayadh et les communes de Daya, Bounoura, El Atteuf et Zelfana.
- Au sud par : la commune de Sebseb.
- A l'est par : la wilaya de OUARGLA.
- A l'ouest par : la wilaya d'EL BAYADH.

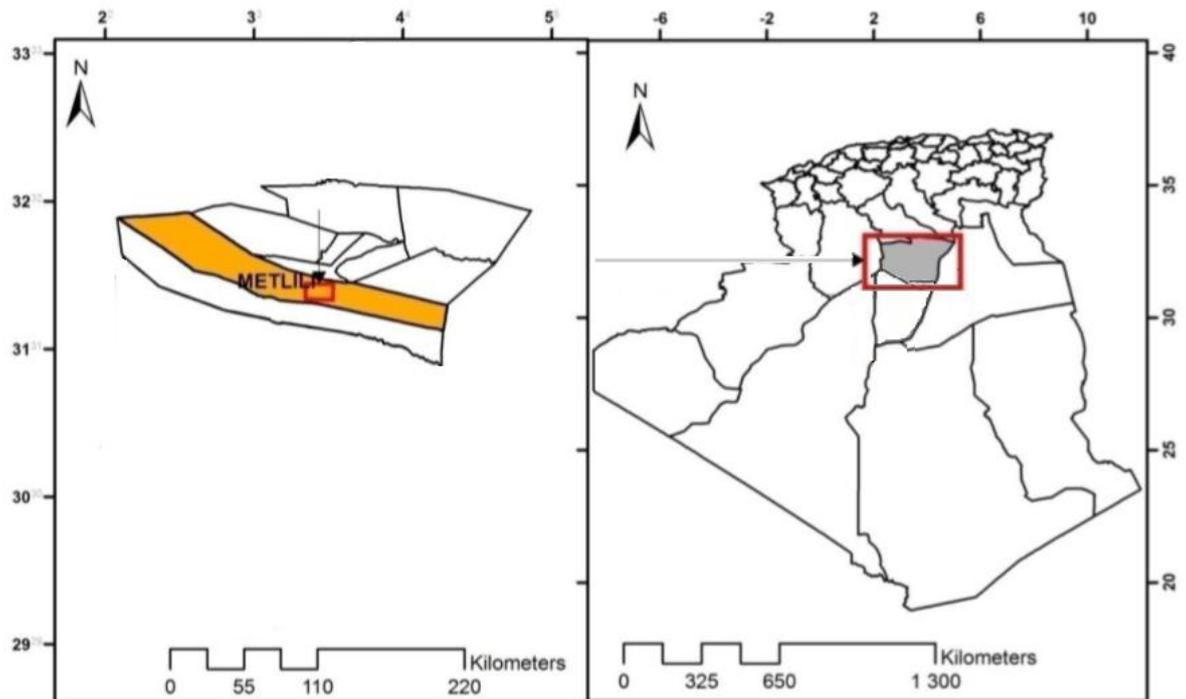


Figure II.2 : Localisation de la région de Metlili (modifier).

II.2.3 La géomorphologie

La région de Metlili est caractérisée par un relief très accidenté formé par un réseau serré de ravines séparées par des crêtes ou des croupes. Les ravins sont sous l'action de l'érosion pluviale au début du quaternaire. Les ravins les plus profonds ont donné naissance aux grands oueds comme le cas de la vallée de Metlili. [12] .

Selon (Bensamoun, 2007), la région de Metlili est caractérisée par la présence de différentes formes géomorphologiques qui sont :

a) Les oueds : oued Metlili, dont l'orientation est l'Est vers l'Ouest jusqu'aux environs de Ouargla ;

b) Hamada : terre régulée qui existe à l'Est de la région de Metlili ;

c) Chebek : comme une terre rocheuse ou existe les lignes des ensemble des oueds exemple oued Metlili, oued Sebseb ou Oued N'Sa ;

d) Aregs : est une formation des sable différents en volume soit mobiles ou stables, ils occupent une grande partie de la superficie total de la wilaya de Ghardaïa, il reçoit l'affluent de Chaabet Smail sur la rive gauche.

Plus en aval l'oued conflue avec deux affluents sur la rive droite, Chaabat Timoukert et Chabat Sid cheikh [13]

II.2.3 Géologie du site

La région de METLILI caractérise par un relief très accidenté forme par un réseau serré de ravines séparés par des crêtes ou croupes. Les ravins se sont sous l'actions de l'érosion pluviale au début du quaternaire.

Les ravins les plus profonds ont donné naissance aux grands Oued comme le cas de la vallée de METLILI, taillée en roche dure, laissant apparaître un escarpement en pente très forte qui domine les fonds plats de l'Oued, qui abrite toute au long de ses berges le lit actuel palmeraie en plein développement.

La région de la CHEBKA est caractérisée par un important réseau hydrographique, mais il est à sec pendant presque toute l'année ; cela est dû à la faiblesse et l'irrégularité des précipitations. Mais cela n'exclut pas des possibilités de crues importantes tous les 3 à 5 ans.

La vallée de Metlili entaillée dans les massifs calcaires du Turonien se caractérise par 3 couches géologiques :

1- Turonien : une couche calcaire en majorité à profondeur de 153m et couvre la partie ouest de région.

2- Cénomaniens : profondeur de 153m, c'est une couche argileuse et couvre la partie extrême Nord de la région.

3- Albien : profondeur de 236m, c'est un mélange d'argile sableux, Argile, sable et calcaire sableux.

II.2.4 Population :

Le tableau suivant représente l'évolution de la population de l'Etat de Ghardaïa entre (2020/2021).

Tableau II.1 : Population des statistiques

Communes	Population 2020	Population 2021
Ghardaïa	137 123	141 811
Guerrara	82 000	83 305
Bounoura	61 781	61 698
METLILI	60 680	62 077
Berriane	42 000	42 457
El atteuf	21 406	21 577
Daya ben dahoua	19 192	19 389
Zelfana	10 137	10 247
Mansoura	4 723	4 724
Seb seb	3 049	3 047
TOTAL Wilaya	442 271	450 402

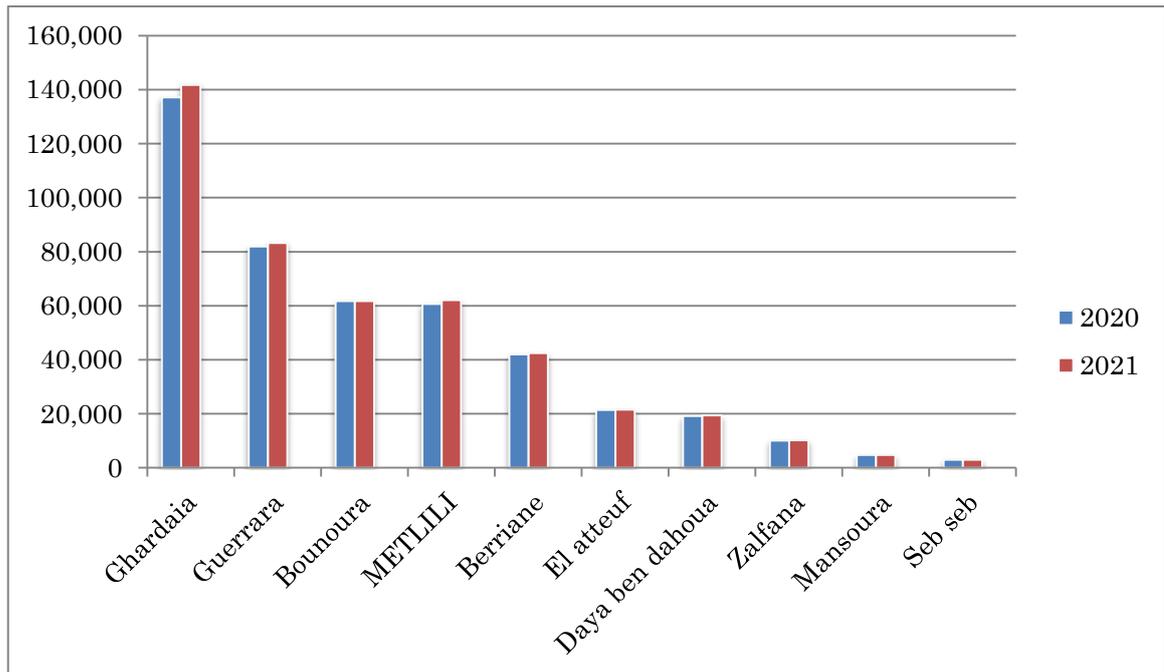


Figure II.4: la population (2020/2021).

II.3 Cadre Climatique :

Le caractère du climat saharien est du tous d'abord à la situation en latitude, au niveau du tropique, ce qui entraîne de fortes température, et au régime des vents qui se traduit par des courants chauds et secs [14] .

Le caractère fondamental du climat saharien et la sécheresse [15] .

Le climat de la zone d'étude est de type saharien, caractérisé par un écart élevé entre la température de l'été et celle de l'hiver, une faible précipitation et une évaporation intense [11] .

La région de Ghardaïa est typiquement Saharien, caractérise par deux saison : une saison chaude et sèche (d'avril à septembre) et une autre tempérée (d'octobre à mars) et une grand différence entre les températures de l'été et de hiver [14] .

Vu qu'il n'y a pas une station météorologique dans la commune de Metlili, la présente caractérisation climatique est faite à partir d'une synthèse climatique

Chapitre II présentation de la zone d'étude

de 16 ans entre 2006 et 2022, à partir des données de l'Office Nationale de Météorologie[17] .

La station est située près de l'aéroport de Ghardaïa ses coordonnées géographiques sont :

Station Noumérat	Coordonnées		
	Latitude (N)	Longitude (E)	Altitude
	32°40'	3°81'	450

Tableau II.2: Moyennes mensuelles des données climatiques à la station de Noumérat (ONM, 2006-2022).

Paramètres	T _{moy} (°C)	H (%)	V (m/s)
Septembre	33	40,22	23,7
Octobre	25,1	47,32	19,73
Novembre	17,4	53,25	18,34
Décembre	12,7	60,24	18,2
Janvier	12,6	51,2	20,9
Février	14,5	46,53	20,6
Mars	17,6	37,78	23,7
Avril	22,8	36	23,3
Mai	26,1	30,7	23,9
Juin	33,2	26,9	22,7
juillet	37,1	21,72	21,9
Aout	34,2	30,8	22,8
Moyenne	23,86	40,22	21,65

* : Cumuls annuels

Tableau II.3: Moyennes annuels des données climatiques à la station de Noumérat (ONM, 2006-2022).

année	T _{moy}	T _{max}	T _{min}	V (km/h)
2006	22,8	28,7	16,5	11,9
2007	22,5	28,6	16,4	13,3
2008	22,5	28,3	16,5	13,2
2009	22,4	28,3	16,4	11,8
2010	23,3	29,3	17,1	10,9
2011	22,2	28	16,4	11,8
2012	22,9	29	16,8	12,04
2013	22,6	28,7	16,6	14,7
2014	23,3	29,5	17,3	14,6
2015	22,5	28,6	16,4	13,9
2016	23,2	29,3	17,1	14,2
2017	22,5	28,1	16,5	13,5
2018	22,5	28	16,6	14,1
2019	22,8	28,5	16,5	11,4
2020	23	28,8	16,7	12,1
2021	23,8	29,4	17,7	13
2022	23,4	29,2	17,2	12,7

II.3.1 Les températures :

C'est un facteur qui conditionne l'hydro-climatologie de toute la région. Les données des températures de l'air recueillies à la station de Noumérat Ghardaïa (tableau II-3) couvrent la période allant de 2006 à 2022, montrant que le climat de Metlili se caractérise par un hiver **doux avec des minima moyens qui dépassent les 16,4 °C**. Les températures maximales moyennes de l'été s'élèvent à 29,5 °C. La température moyenne annuelle est de 23,4 °C.

A l'échelle mensuelle (Figure II.4), les mois les plus froids sont ceux de décembre et janvier qui atteignent une température moyenne de 12,6 °C. La période la plus chaude de l'année se situe entre les mois de juillet et août avec une moyenne de l'ordre de 37,1 °C.

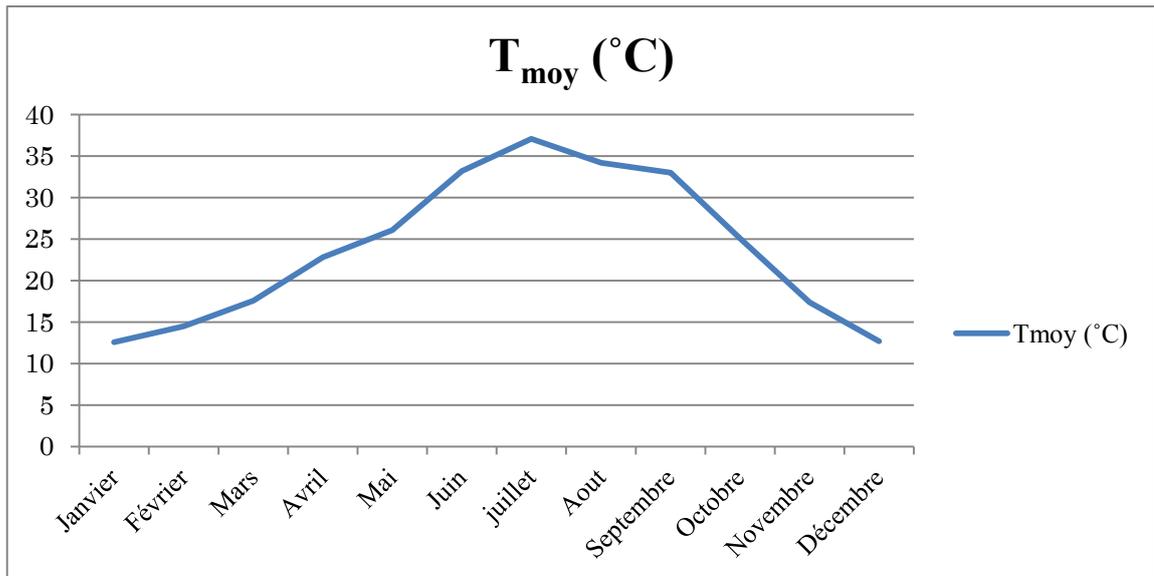


Figure II.5: Variation des températures moyennes mensuelle, (2006 - 2022).

II.3.2 Précipitations

Les précipitations représentent le paramètre climatique le plus important, notamment dans les zones arides et semi-arides.

Elles constituent également le facteur essentiel du régime hydrologique. Comme dans la majeure partie des régions sahariennes, les précipitations à Ouargla, sont marquées par leur caractère faible et irrégulier.

II.3.2.1 Précipitations annuelles :

Sur un cycle de 30 ans (1992-2022), nous allons examiner la variation des précipitations observées.

L'étude des variations des précipitations en fonction du temps pour la station de Noumerat Ghardaïa (tableau II -3), montre une grande différence entre l'année (2011) la plus arrosée avec 153,94 mm/an et l'année (2022) la plus sec avec 15,74 mm/an. Sachant que La moyenne interannuelle pour cette période était de 61,12 mm/an (ONM, 1992/2022).

II.3.2.1 Précipitations moyenne mensuelle :

A l'échelle mensuelle, en se basant sur les données disponibles (tableau II -2), (fig II .5), on distingue une période d'absence presque totale de précipitations qui s'étend du mois de mai au mois de août, pendant laquelle la moyenne des précipitations est de l'ordre de 0,7 mm Les plus fortes valeurs sont enregistrées pendant les année avec respectivement 54.8 et 3 mm

Années	$P_{max.j}$	Années	$P_{max.j}$
1992	12,6	2008	23
1993	11,9	2009	19,5
1994	54,8	2010	8,6
1995	30	2011	50
1996	12	2012	7,11
1997	23	2013	10
1998	3,5	2014	14,99
1999	26	2015	7
2000	18	2016	3
2001	18	2017	7,8
2002	24	2018	7,11
2003	33	2019	14
2004	46	2020	6
2005	7	2021	11
2006	16,2	2022	3
2007	10		

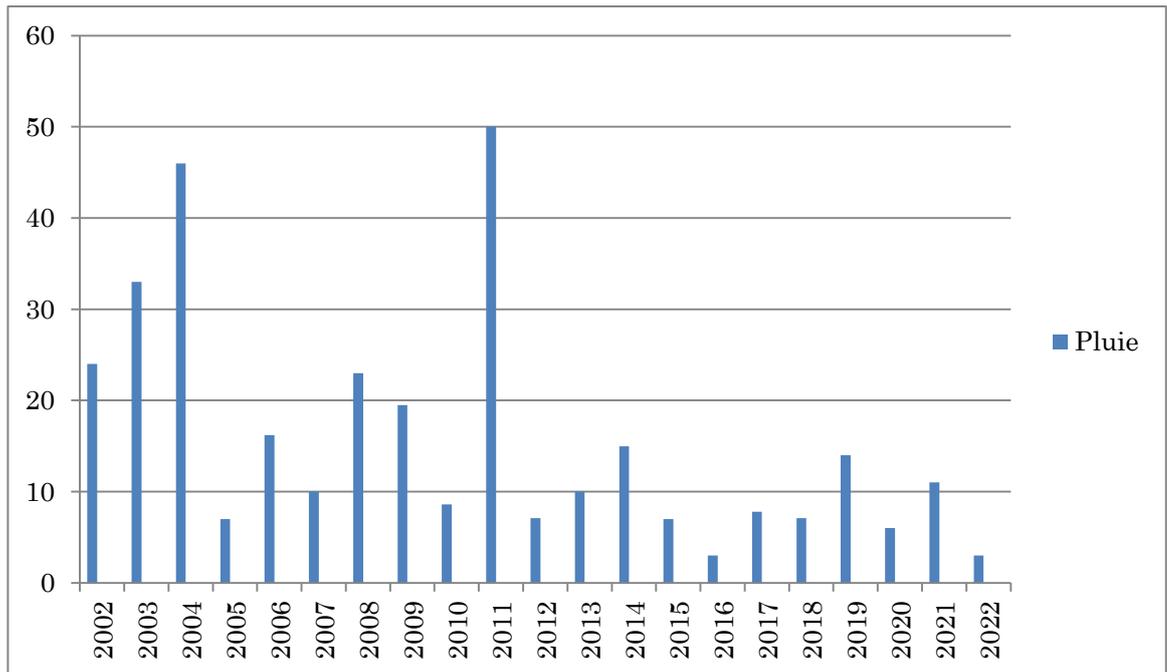


Figure II.6: Variation des précipitations moyennes mensuelle (1992 - 2022).

II.3.2 Diagramme pluviométrique (P=2T)

Il a été mis au point par F. BAGNOULS et GAUSSEN. Ils ont établi des diagrammes ombrothermiques pour évaluer la durée et l'intensité de la saison sèche pendant l'année. Ils se **sont basés sur la formule $P \text{ (mm)} = 2T \text{ (}^\circ\text{C)}$** ; les mois secs sont définis, quand la courbe des précipitations est située au-dessous de celle des températures moyennes. on a Un période dans la région, période sèche dans tous saison mais par pourcentage différence. La saison Automne est en peu sèche par rapport les autres saisons.

II.3.3 L'humidité de l'air :

Ce facteur dépend essentiellement de la température de l'air. Il augmente au cours des passages d'orages et chute brusquement pendant le temps du Sirocco (tableau II -2). L'humidité relative de la région est de l'ordre de 40,22 %, cependant la période hivernale est relativement humide (37 - 51 %). En été les fortes températures dissipent la vapeur d'eau atmosphérique, ce qui explique les faibles valeurs de l'humidité (< 30%).

II.3.4 Le vent :

Il n'y a pas de désert sans vent. Le vent est un facteur majeur en terrain désertique. A certaines périodes de l'année, généralement en mars et avril, on assiste à de véritables tempêtes de poussière dans le désert du Sahara.

Ces vents soufflent essentiellement durant les mois : Mars, Avril, Mai, Juins, Juillet et septembre (tableau II-2), avec une intensité moyenne de 22,8 à 23,7 km/h, ils occasionnent des gênes importantes en transportant des quantités considérables de sable et en favorisant les phénomènes de désertification.

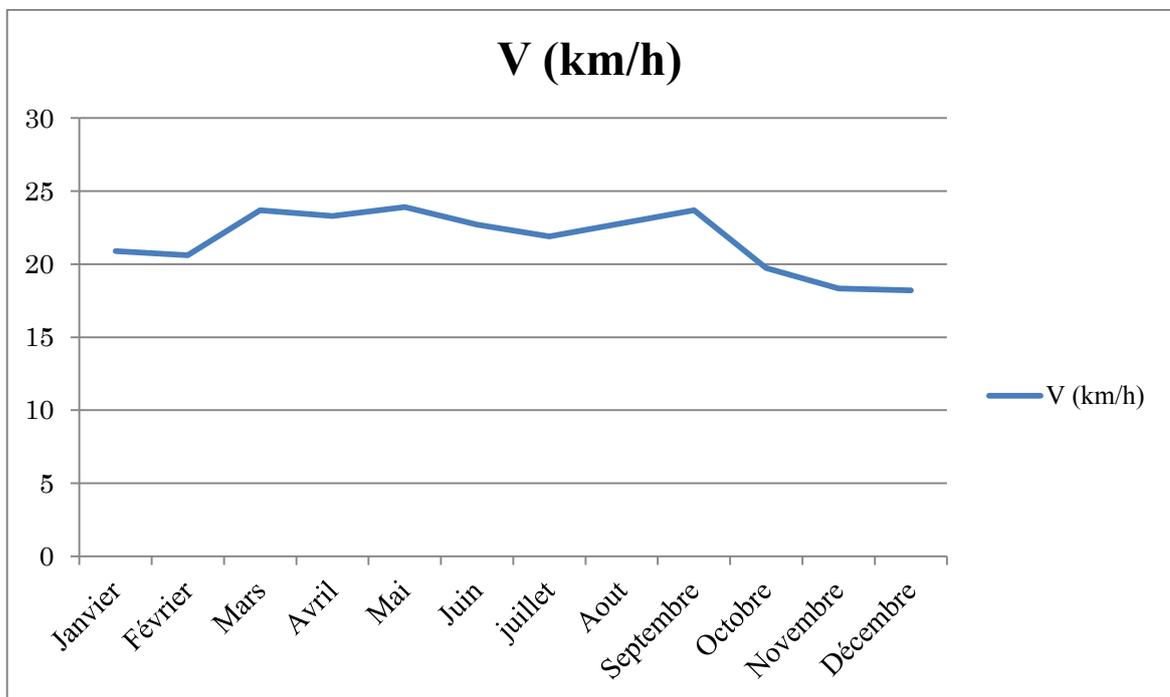


Figure II.8: Vitesses des vents moyennes enregistrées à la station de Noumerat (2006 - 2022).

Les vents sont fréquents et répartis sur toute l'année avec des vitesses moyennes mensuelles de 21,65 km/h environ (figure II-7); alors que les vitesses maximales sont enregistrées aux mois de Mars et Mai (respectivement 23,7 et 23,9 km/h).

II.4 Présentation des sites d'intervention :

II.4.1 Définition du bassin versant :

Un bassin versant est l'unité géographique sur laquelle repose l'analyse hydrologique et peut être considéré comme un "système hydrologique fermé" dans lequel aucun écoulement ne se produit, toute l'eau de pluie s'évapore ou s'écoule Une seule section à la sortie. Le bassin versant ainsi défini correspond à l'ensemble Surface topographique drainée par le chenal principal et son affluent amont parti. Il est matérialisé par le débouché de son origine, et L'arrivée de la ligne de partage des eaux qui la marque. Cela correspond généralement à Les crêtes caractérisent alors les bassins versants topographiques, Dans notre exemple, le bassin Le bassin versant ainsi délimité et stylisé correspond au véritable bassin versant provoqué par le sol, La perméabilité moyenne du socle rocheux sus-jacent. De plus, aucune contribution latérale artificielle Les surfaces de drainage délimitées à l'intérieur et à l'extérieur du bassin versant ne sont pas modifiées.

La région de Ghardaïa est jalonnée par un grand réseau d'oueds dont les principaux sont : Oued Sebseb; Oued Metlili; Oued M'zab; Oued N'sa et Oued Zegrir. L'ensemble de ces oueds constitue le bassin versant de la dorsale du M'Zab (Fig II -8).

Ils drainent en grande partie les eaux de la dorsale de l'Ouest vers l'Est, leur écoulement est sporadique, il se manifeste à la suite des averses orageuses que connaît la région[14]

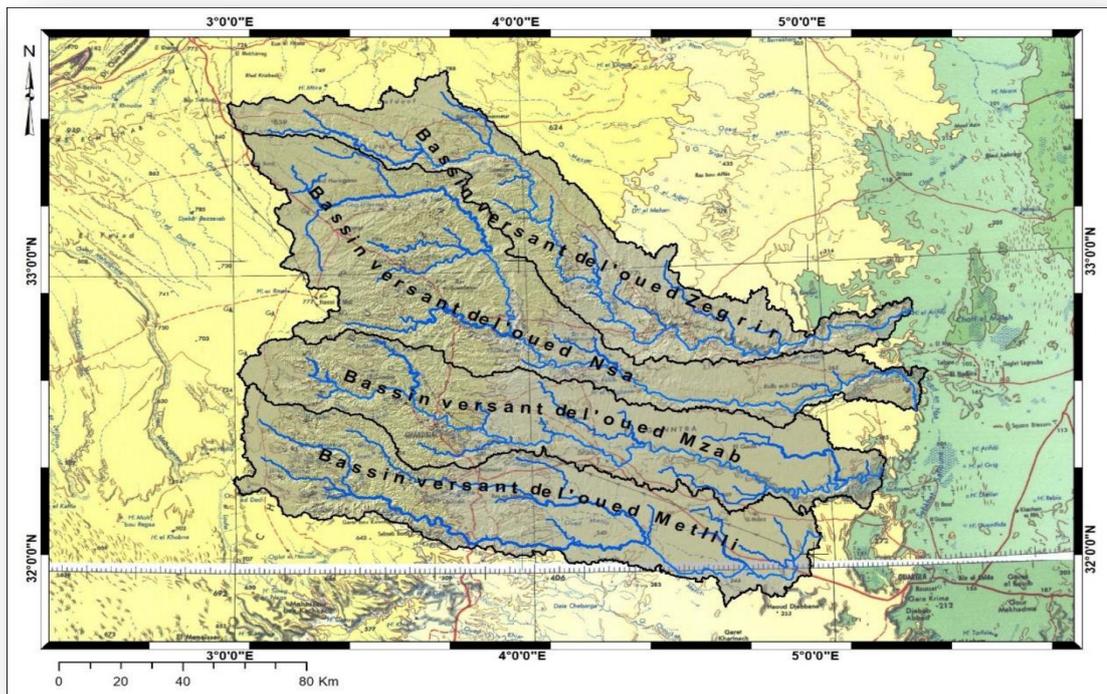


Figure II.9. : Bassins versants et hydrographie de la région du M'Zab (ANRH, 2011).

II.4.2 Bassin versant de l'oued Metlili :

Le bassin versant du Metlili couvre une superficie supérieure à 400 km². L'oued a pour origine la confluence de deux principaux oueds ; Labioudh et Zakour a méridien 03° 25' Est et le parallèle 32° 23' Nord à une altitude de 650 m, il parcourt environ 270 km de l'Ouest vers l'Est pour atteindre la dépression de sabkhet safioune à une altitude de 180 m. Comme tous les oueds de la dorsale l'écoulement est sporadique, se manifestant à la suite des grandes averses orageuses. Pour une fréquence cinquentennale le débit peut atteindre 400 m³/s. Les berges sont bien marquées; de pentes abruptes à semi abruptes, entaillées dans les calcaires du Turonien.

- Plusieurs affluents rejoignent l'oued dont les principaux ; de l'amont vers l'aval : au méridien 03° 31' Est et le parallèle 32° 19' Nord à une altitude de 565 m, l'oued est joint par deux affluents chabat ez zebbar sur la rive droite et chaab el beida sur la rive gauche. Chaabet la djadja conflue avec l'oued sur la rive droite au niveau d'El Hadika.
- Plus vers l'Est l'oued reçoit deux grands affluents ; chabat el hadika sur la rive droite, et de souani sur la rive gauche.

- Il reçoit l'affluent de Chaabet Smail sur la rive gauche.
- Plus en aval l'oued conflue avec deux affluents sur la rive droite, chabat timoukert et chabat Sid cheikh [15]

II.4.3 Détermination des principaux affluents du bassin versant d'Oued Metlili

L'oued a pour origine la confluence de deux principaux oueds ; LABIOUDH et ZAKOUR.

II.5 Conclusion :

La région de Metlili entaillée dans les massifs calcaires du Turonien se caractérise par 4 couches géologiques : Quaternaire, Touranien, Cénomaniens, Albien. Le climat de la région de Metlili a est connu par son aridité marquée notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations on 2004 (max 46 mm) d'une part, et les températures très élevées dépasse 30°C pendant juin (max moy30.80°C) et juillet (max moy34.30°C) d'autre part. Cette aridité ne se constate pas seulement en fonction du manque de pluies, mais aussi par une forte évaporation qui constitue l'un des facteurs climatiques majeurs actuels qui règnent dans la région A partir ces hautes températures et faibles précipitation acquièrent un climat saharien hyper aride de notre zone d'étude.

CHAPITRE
III Etude
hydrologique

III.1.Introduction :

L'objectif de cette étude hydrologique est de déterminer les hydro grammes des crues à différents temps de retour pour chacun des bassins versants entourant la ville et de définir les débits maximaux probables qui serviront de bornes supérieure et inférieure à l'étude. De ce fait et du manque de sites hydrométriques dans la zone d'étude, il est nécessaire d'utiliser un modèle de calcul des débits et d'estimation des niveaux d'eau à l'échelle d'un bassin basé sur les précipitations extrêmes. [16]

III.2. Le bassin versant et son complexe :

III.2.1 Caractéristiques morphologiques du bassin versant :

Un MNT (Model Numérique Terrain) a été utilisé pour obtenir les caractéristiques

Morpho métriques du bassin de Méteil (Figure III.1). [16]

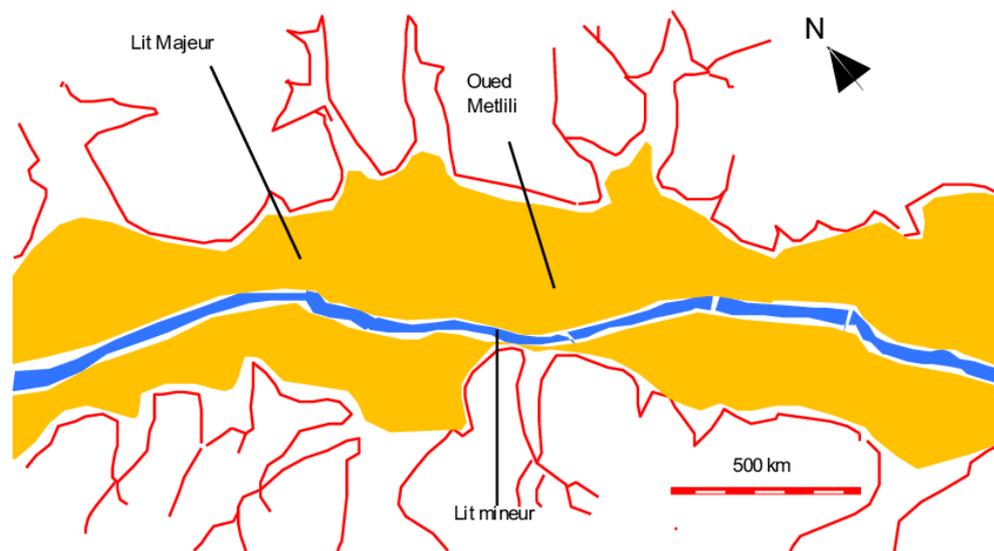


Figure III.1.Bassin versant de la zone d'étude.

III.2.1.1. La surface :

La surface topographique est le paramètre le plus important, il permet de contrôler l'intensité de plusieurs phénomènes hydrologiques (apports, volumes de précipitations ou infiltrations..). La surface du bassin évaluée est estimée à :

$$S = 655.37\text{km}^2 \quad [17]$$

III.2.1.2. Le périmètre :

Le périmètre se rapporte à la limite extérieure du bassin. Chaque bassin réagit de manière unique aux précipitations qu'il reçoit. Ces caractéristiques hydrologiques sont fonction de son environnement physique et du climat qu'il a connu. Le périmètre estimé est :

$$P = 218.7 \text{ km} \quad [17]$$

III.2.1.3. Indice de compacité de Gravelleuse :

L'indice de compacité de Gravelleuse, également appelé indice KC, est un paramètre qui indique la forme du bassin tout en renseignant sur la vitesse d'accumulation des débits, la force des crues et l'importance de l'activité d'érosion des sols. [20]

$$Kc = 0.28p/\sqrt{s}$$

Avec :

P : périmètre du bassin versant (km).

A : surface du bassin versant (km²).

$$Kc = 1.8$$

$$K_c = 2,39$$

Kc = 1.8 > 1 alors le bassin versant est de forme allongée.

III.2.1.4. Rectangle équivalent :

Nous supposons que la quantité d'eau qui s'écoule à travers un bassin versant donné est la même que la quantité d'eau qui s'écoule à travers un parallélogramme donné avec le même indice de Gravelleuse, la même distribution hypsométrique, la distribution du sol et de la végétation et la densité de

drainage. La longueur " L_{eq} " et la largeur " l " du parallélogramme équivalent sont définies, respectivement, par les formules suivantes (1.1, 1.2) : [17]

$$L_{eq} = \left(\frac{Kc \cdot \sqrt{s}}{1.128} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{kc} \right)^2} \right) \right) \quad (1.1)$$

$$L_{eq} = 97.26 \text{ km}$$

$$l = \left(\frac{Kc \cdot \sqrt{s}}{1.128} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{kc} \right)^2} \right) \right) \quad (1.2)$$

$$l = 12.08 \text{ km}$$

III.3 Relief:

Comme de nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude et la morphologie du bassin, le relief a un impact remarquable sur les débits d'eau. De plus, la pente affecte le taux d'évaporation. Le relief est déterminé à l'aide de courbes et d'indices. Le relief de la zone d'étude est représenté sur la figure (III.2). [16]

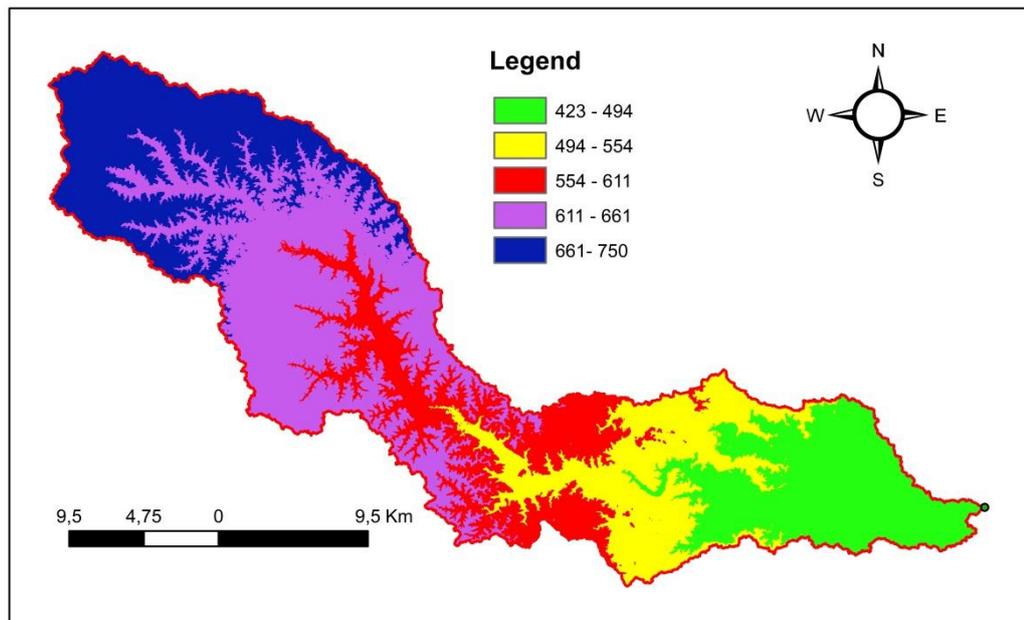


Figure III.2 : Courbes de niveau du bassin vasant (relief).

III.3.1 Répartitions et courbe hypsométrique :

L'un des facteurs les plus cruciaux dans l'étude du relief est la courbe hypsométrique ; il offre une vision globale de la pente. Elle est une représentation de la surface du bassin divisée selon son altitude. Elle comprend la superficie ou le pourcentage de la surface du bassin qui est au-dessus de l'altitude représentée par l'artillerie (tableau III.1). Elle décrit la superficie du bassin ou le pourcentage de surface au-dessus d'une certaine altitude. (TALATIZI.A.2014). [20]

a)-Résultats des surfaces partielles du bassin ventilées par tranche d'altitude :

Tableau III.1:surfaces partielles du bassin versant par tranche d'altitude.

Classes d'altitude	Dénivelé AH(m)	centre de classe Hi	surfaces partielles	Surfaces partielles (%)	Surfaces cumulé e (%)	Hi*Si (m*Km2)
423-450	27	78.666	23.29	15.71	100.00	10166.085
450-500	50	257.857	102.935	12.45	84.29	48894.125
500-550	50	332.849	81.609	12.75	71.84	42844.725
550-600	50	508.814	83.543	28.55	59.09	48037.225
600-650	50	767.199	187.11	22.52	30.54	116943.75
650-700	50	587.337	147.57	4.47	8.02	99609.75
700-750	50	201.051	29.288	3.55	3.55	21233.8
Somme			655.345	100		387729.46

b)-Le courbe hypsométrique a représentée par la figure suivant :

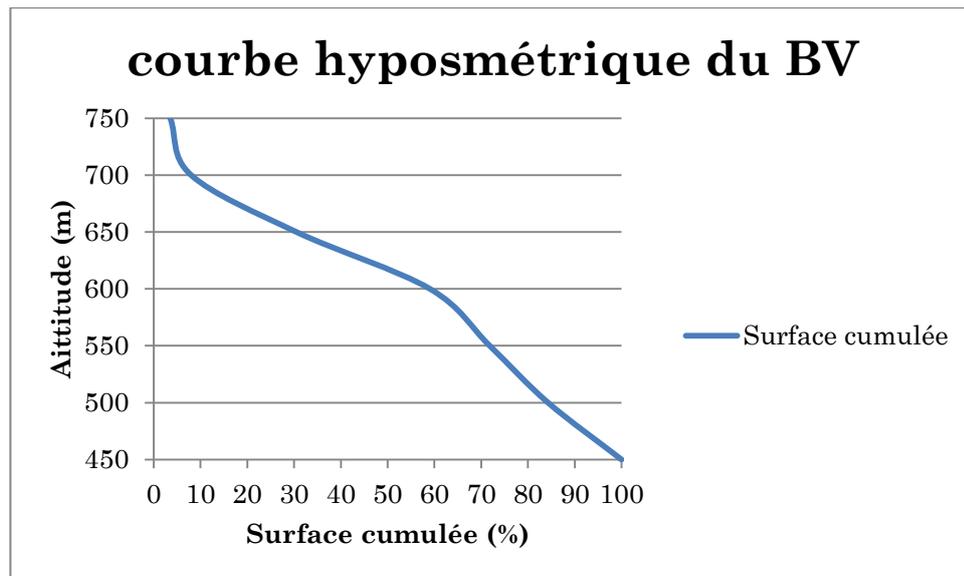


Figure III.3 : Courbe hypsométrique de bassin versant.

III.3.2 Caractéristiques des altitudes :

Ils sont obtenus directement du logiciel Arc GIS.

- L'altitude maximale du bassin est représentée par le point le plus haut, tandis que la position la plus basse, typiquement à la sortie, est représentée par l'altitude la plus basse.

-La taille médiane, ou H50%, est déterminée à l'aide d'une courbe hypsométrique.

-L'altitude moyenne la formule suivante est utilisée pour calculer le H_{moy} : [20]

$$H_{moy} = \frac{\sum H_i \cdot S_i}{S_t}$$

$$H_i = \frac{H_{i+n} + H_n}{2}$$

Avec :

- H_i : Altitude moyenne entre deux courbes de niveaux consécutives en m.

- S_i : surface partielle comprise entre deux courbes de niveaux consécutives en Km^2 .

- S : surface totale du bassin versant en Km^2 .

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.2: Caractéristiques des altitudes.

Les altitudes caractéristiques	Les valeurs correspondantes en m
Altitude maximale	750
Altitude minimale	423
Altitude médiane	615
Altitude moyenne	591.64

III.3.3 Indice de pente :

III.3.3.1 Indice de pente global I_g :

En se référant à la catégorisation de L'O.R.S.T.O.M (Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre - Mer), cet indice permet de déterminer le type de relief. Il est décrit comme étant le rapport de la hauteur comprise entre 5% et 95% de la surface du moïse sur la longueur du rectangle équivalent. Sur l'axe des abscisses, deux points sont choisis en S1 et S2, 95 % de la surface du bassin se situant entre ces deux valeurs et 5 % de la surface totale du bassin se situant en dessous de S1 et 5 % se situant au-dessus de S2 (Benin 2004). Les altitudes correspondantes sont affichées sur la courbe hypsométrique. La formule suivante donne l'indice global de pente :

$$I_g = D/L_{eq}$$

Avec :

- **D** : dénivelée entre H95% et H5% en (m)
- **L_{eq}** : longueur du rectangle équivalent en Km.

Les résultats du calcul sont dans le tableau III.3

Tableau III.3: Indice de pente global.

D(m)	L_{eq}(Km)	I_g (m/m)
327	324.31	0.025

Tableau: III.4 : classifications O.R.S.T.O.M. (Bénira 2004).

1	Relief très faible	$I_g < 0.002$
2	Relief faible	$0.002 < I_g < 0.005$
3	Relief assez faible	$0.005 < I_g < 0.01$
4	Relief modéré	$0.01 < I_g < 0.02$
5	Relief assez fort	$0.02 < I_g < 0.05$
6	Relief fort	$0.05 < I_g < 0.1$
7	Relief très fort	$0.1 < I_g$

III.3.3.2 : Pente moyenne du bassin versant :

Elle est calculée selon la formule suivante : [3]

$$P_{moy} = \Delta H \sum L_i / S$$

Avec :

- P_{moy} : Pente moyenne du bassin versant %.
- ΔH : Dénivelée entre deux courbes de niveau (m).
- L_i : Longueur de la courbe de niveau d'ordre 1, 2,3..., n (m).
- S : Surface totale du bassin versant.

Le tableau III.5 : résume les résultats obtenus

Tableau III.5 : Pente moyenne du bassin versant.

S (km ²)	ΔH (m)	L_i (km)	P_{moy} %
655.37	100	2800	4.27

III.3.3.3 : Dénivelée spécifique D_s :

Lorsque la surface s'élève, le coefficient penta global pour un bassin donné diminue. Cet inconvénient n'est pas présent chez les D_s spécifiques dénivelées (Bélina 2004). La formule suivante définit l'objectif spécifique : [20]

$$D_s = I_g \times \sqrt{s}$$

Avec :

- D_s : Dénivelée spécifique.

Chapitre VI : Etude Hydrologique

- S : superficie du bassin versant ;(km²)
- I_g : Indice de pente globale ; (m/m)

Tableau III.6: classifications O.R.S.T.O.M (Bénira 2004).

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

Cela implique juste le relief du bassin qui, selon l'O.R.S.T.O.M., est un fort relief de

100m< DS< 250m.

III.4 Caractéristiques hydrographiques du bassin versant :

L'ensemble des cours d'eau qui participent à l'évaporation, qu'ils soient artificiels ou naturels, constants ou temporaires, est appelé réseau hydrographique. L'une des caractéristiques les plus significatives du bassin est sans conteste son réseau hydrographique, qui peut prendre de nombreuses formes différentes. [19]

III.4.1 Hiérarchisation du réseau :

Chaque cours d'eau se voit attribuer une valeur numérique en fonction de son importance afin de calculer la ramification du réseau. Cette numérotation, appelée

« Ordre du cours d'eau », varie selon les auteurs. Nous suivons la classification de Strehler :

Un cours d'eau sans affluent est dit d'ordre 1 ; à la confluence de deux courants d'eau de même ordre n , le courant résultant est d'ordre $n+1$; et un cours d'eau recevant un affluent d'ordre inférieur maintient son ordre comme le montrent les formules $n + n = n+1$ et $n + m = \max (n.m)$ de la figure III.4 [21]

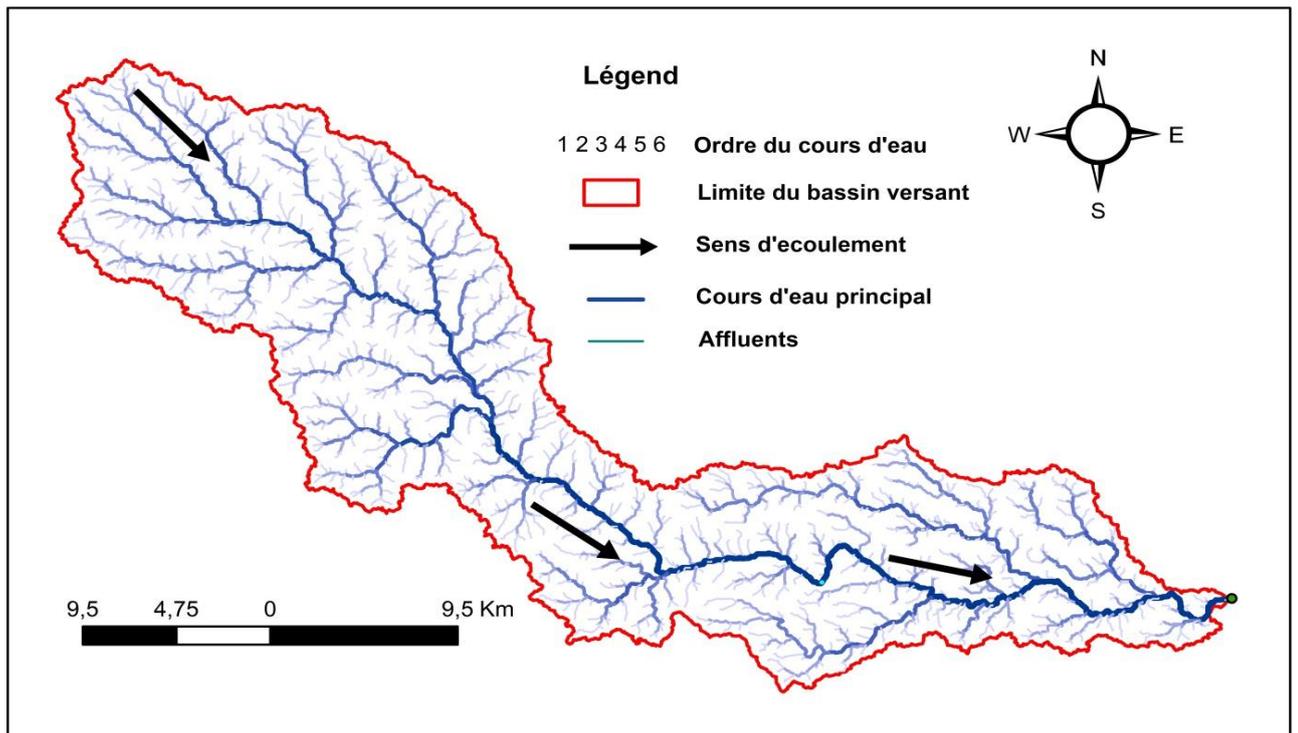


Figure III.4 : Hiérarchisation du réseau hydrographique.

Après hiérarchisation, on découvre que le réseau hydrographique est dans l'ordre 4.

III.4.2 La densité de drainage :

Le rapport de la longueur totale de tous les talwegs du bassin, L_i , à la superficie totale, S , est appelé densité de drainage. Elle reflète la dynamique du bassin, la stabilité de la dorsale hydrographique, et le type de ruissellement de surface. Elle est exprimée en Km/Km^2 . [21]

$$D_d = \frac{\sum L_i}{S}$$

$$D_d = 0,42 \text{ Km}^{-1}$$

Avec :

- D_d : densité de drainage [km/km^2];
- L_i : Somme des longueurs de tous les thalwegs y compris le thalweg principal [km];
- S : superficie du bassin versant [km^2];

III.4.3 La pente moyenne du cours d'eau principale :

Le temps de concentration est déterminé par le débit moyen de l'eau, qui détermine également la rapidité avec laquelle l'eau sort du bassin. Cet attribut influe sur le débit maximal observé. Une entrée douce ou inexistante laisse le temps à l'eau de s'infiltrer totalement ou partiellement dans le sol, alors qu'une entrée brutale favorise et accélère l'évaporation en surface. Le profil en long du cours d'eau principal et de ses effluents est utilisé pour calculer les débits moyens et partiels. La méthode la plus populaire pour déterminer la pente longitudinale d'un cours d'eau consiste à diviser la différence de hauteur entre les points extrêmes du profil par la longueur totale du cours d'eau. [21]

$$I_{moy} = \frac{D}{L}$$

$$I_{moy} = 0.0255 = 2.55\%$$

Avec :

- I_{moy} : Pente moyenne du cours d'eau principal %
- D : Dénivelée entre H max et H min (m).
- L : Longueur du cours d'eau principal (Km).

:Tableau III.7 : pente moyenne du cours d'eau principal

H max	H min	D (m)	L (km)	$I_{moy}(\%)$
750	423	327	128	2.55

III.4.4 Le temps de concentration :

Le temps de concentration t_c des eaux pour un bassin est défini comme le temps le plus long nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire du dernier. Il est composé de trois termes distincts :

Th : Le temps nécessaire à l'imbibition du sol par l'eau qui tombe avant qu'elle ne monte est appelé temps d'humectation.

Tr : Le temps de ruissellement ou d'évaporation est le temps mis par l'eau pour se déplacer de la surface ou des couches superficielles du sol vers un système de collecte (cours d'eau naturel, collecteur).

Ta : Le temps de réalisation est le temps accordé à l'eau pour se déplacer à travers le système de collecte jusqu'au tuyau d'échappement.

Le maximum de ces trois termes est donc égal au temps de mise au point, soit :

$$\mathbf{T_c} = \max [\Sigma (T_h + T_r + T_a)]$$

La durée entre la fin de la pluie légère et la fin du grondement est calculée comme t_c . En pratique, le temps de concentration peut être calculé à partir de mesures effectuées au sol ou estimé à l'aide de formules le plus souvent empiriques. [21]

- **Formule de GIANDOTTI :**

$$\mathbf{T_c} = \frac{1.5L + 4\sqrt{S}}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

- **S** : Surface du bassin versant en [Km²];
- **L** : longueur du talweg principal en [Km];
- **H_{max}, H_{min}** : respectivement la hauteur moyenne et minimale du B.V en [m];

- **Formule de CALIFORNIA:**

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

- **L** : longueur du talweg principal en [Km];
- **H_{max}, H_{min}** : respectivement la hauteur maximale et minimale du B.V en [m];

- **Formule de Témez :**

$$T_c = 0.3 \left[\frac{L}{I_r^{1/4}} \right]^{0.76}$$

- T_c : temps de concentration en heures.
- L : Longueur de talwegs principale. (Km)
- I_r : La pente moyenne de talwegs principale. (m/m)

Les résultats des différentes méthodes sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.8: Temps de concentration pour les différents auteurs.

Auteurs	Temps de concentration(h)
Formule de GIANDOTTI	28.33
Formule de CALIFORNIA	21.56
Formule de Témez	7.27

Nous choisissons le résultat de Témez parmi les résultats du tableau III.8 car c'est la formule qui prend en compte la majorité des paramètres géomantiques du bassin. ($T_c = 7.27h$).

III.4.5 Vitesse moyenne de ruissellement :

Cette vitesse est donnée par la formule : [22]

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

$$V_r = 4.51 \text{ Km/h}$$

- L : Longueur de talweg principal en [Km];
- T_c : temps de concentration en [heure] ;

Le tableau III.9 résume les caractéristiques du bassin versant et du cours d'eau

Tableau III.9 : Caractéristiques du bassin versant

Caractéristiques du bassin versant	
1. Morphométrie	
Surface (Km²)	655.37
Périmètre (Km)	218.7
Longueur du rectangle (km)	97.26
Largeur du rectangle (km)	12.08
Indice de Graveleuse	2.39
2. Relief	
Altitude maximale (m)	750
Altitude moyenne (m)	591.64
Altitude minimale (m)	423
Altitude médiane (m)	651
Indice de pente globale (%)	0,031
Dénivelé spécifique (m)	0.79
Pente moyenne du bassin versant	4.27
3. Réseau hydrographique	
Densité de drainage (Km⁻¹)	0,42
Temps de concentration (h)	7.25
Vitesse de ruissellement (Km/h)	4.51

III.5. Analyse des données pluviométriques :

L'analyse des données pluviométriques disponibles est typiquement la première étape de l'analyse d'un projet d'amélioration. Pour cela, il faut une série pluviométrique qui ait les précipitations les plus élevées possibles au niveau du journal pendant la plus longue période de temps. Avant de déterminer la quantité de précipitations dans le bassin aval, nous avons examiné les données

disponibles à la station pluviométrique de DOUCEN. La station disponible sur le site est donnée dans le tableau suivant : [23]

Tableau III.10 : Station pluviométrique de DOUCEN (coordonnées Lambert) (ANRH).

Code	Source	Coordonnée			Années	N	Pluie moyenne annuel (mm)
		X(Km)	Y(Km)	Z(Km)			
605660	ANRH	395391.5684	3782020.7739	566	1992-2022	30	16

III.5.1 Précipitation maximales journalières :

L'étude consiste à appliquer une loi théorique à une série de données sur les précipitations journalières maximales du tableau III.11 pour ajuster les données afin de déterminer la durée et la période de retour d'une intensité de pluie donnée. [22]

Tableau III.11 : Séries des Pluies Maximales Journalière (1992-2022) à la station de DOUCEN (ANRH).

Années	$P_{max.j}$	Années	$P_{max.j}$
1992	12,6	2008	23
1993	11,9	2009	19,5
1994	54,8	2010	8,6
1995	30	2011	50
1996	12	2012	7,11
1997	23	2013	10
1998	3,5	2014	14,99
1999	26	2015	7
2000	18	2016	3
2001	18	2017	7,8
2002	24	2018	7,11
2003	33	2019	14
2004	46	2020	6
2005	7	2021	11
2006	16,2	2022	3
2007	10		

Les étapes de notre étude sont les suivantes :

- Déterminer la fréquence expérimentale.

Chapitre VI : Etude Hydrologique

- Classer les séries de précipitations par ordre croissant.
- effectuer l'analyse.
- Calculer les caractéristiques empiriques de la série de données donnée.
- Ajustez les graphismes de la loi choisie.

Les caractéristiques empiriques de la série de donnée ont été obtenues par le logiciel HYFRAN et sont représentées dans le tableau III.12 suivant

Tableau III.12 : Les caractéristiques empiriques

Caractéristique	Valeurs
Années d'observation	30
Minimum	3
Maximum	54.8
Moyenne	17,5
Ecart-type	13,26
Médiane	13.0
Coefficient de variation (C_v)	0.781
Coefficient d'asymétrie (C_s)	1.41
Coefficient d'aplatissement (C_{SK})	3.81
L'exposant climatique (e)	0.3

La représentation des observations sur papier ordinaire et leur histogramme sont présentés respectivement aux figures III.5 et III.6 :

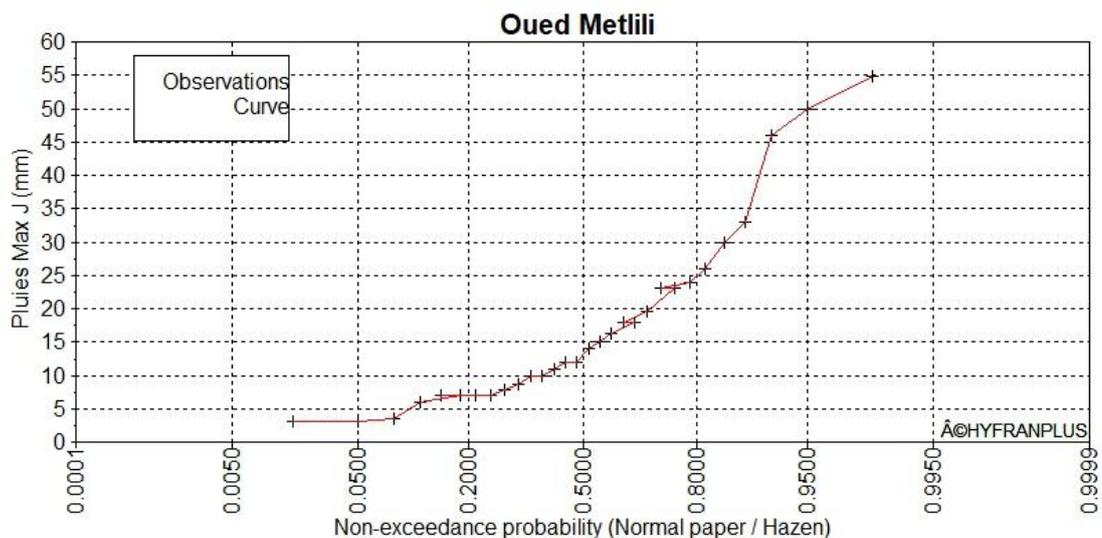


Figure III.5 : Représentation des observations sur papier normale.

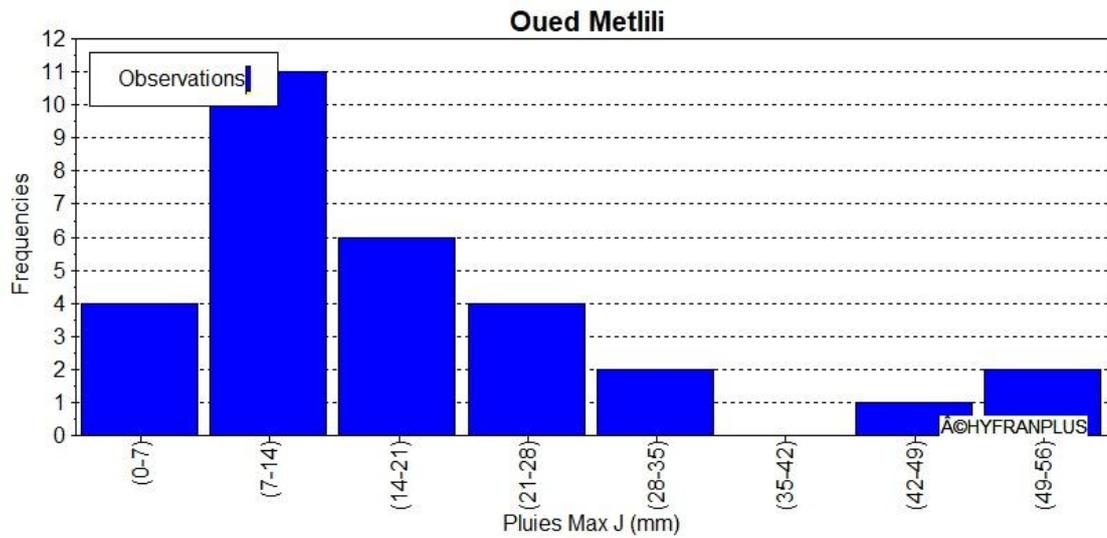


Figure III.6 : Histogramme des observations.

III.5.2.Choix de la loi d'ajustement :

Puisqu'il existe de nombreuses façons d'ajuster les séries pluviométriques, l'efficacité d'une méthode d'estimation dépend de la loi de probabilité, de la taille de l'échantillon et de quelques autres facteurs. Cependant, de nombreuses études empiriques et théoriques ont été menées pour déterminer les conditions dans lesquelles une loi donnée peut être estimée avec la plus grande efficacité. [22]

Dans notre étude, les deux lois suivantes seront appliquées :

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

L'ajustement des pluies maximales journalières sera fait par logiciel «HYFRAN ».

III.5.2.1.Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL

Cette loi a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule Suivante : [23]

$$F(x) = f(y) = e^{-e^{-y}}$$

Ou : $y = \frac{1}{\alpha} (x - x_0)$ variable réduite de Gumel

Avec :

F(x) : Fréquence au dépassement de valeur de x,

α , x_0 : Coefficient d'ajustement (méthode des moindres carrés) ;

x_0 : Paramètre de position (mode) ;

α : Paramètre d'échelle différent de zéro et positif appelé aussi « grade x »

$1/\alpha$: Pente de la droite de régression ;

x : Variable étudiée ; la précipitation maximale journalière « $P_{max,j}$ » ;

L'équation de probabilité de Gumbel sur papier est cette variable x, exprimée en fonction de la variable réduite y.

$$X = \frac{1}{\alpha} + y x_0, \text{ Soit } P_{max,p\%} = \left(\frac{1}{\alpha}\right) y + x_0$$

Avant de procéder au réglage, les étapes suivantes doivent être suivies :

- Attribuer un rang de 1, 2, 3 ou n en classant les valeurs de précipitations par ordre croissant.
- Calculer la fréquence expérimentale pour chaque valeur de précipitation à l'aide de la formule de Hazan.

$$F(x) = \frac{Ni - 0.5}{n}$$

Avec :

- **Ni** : numéro d'ordre ;
- **n** : la taille de l'échantillon. (n = 30) ;
- Calculer la variable réduite de GUMBEL donnée par la formule suivante :

$$y_i = (-\ln(-\ln(F(x_i))))$$

Calculer les paramètres d'ajustement « a » et « x0 ».

- Représenter graphiquement les couples (xi, yi) sur Papier GUMBEL.

❖ **Gumel (Méthode des moments) :**

Nombre d'observations : 30

- Paramètre :

Mu = 11.358, alpha = 10,669

-Quantiles :

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

$T = 1 / (1-q)$

Les résultats d'ajustement obtenus par la loi de GUMBEL sont représentées dans le tableau III.13 suivant :

Tableau III .13 : Résultats de l'ajustement à la loi de GUMBEL.

Période de retour T (ans)	Fréquence au non dépassement(Q)	Valeurs théoriques XT (mm)	Ecart-type	Intervalle de confiance
1000	0.999	85.1	14.4	56.7-113
100	0.990	60.4	9.80	41.2-79.7
50	0.980	53.0	8.42	36.5-69.5
20	0.950	43.0	6.59	30.1-56.0
10	0.900	35.4	5.22	25.1-45.6
5	0.800	27.4	3.86	19.8-34.9
2	0.500	15.3	2.29	10.8-19.8

➤ **Test d'homogénéité :**

Test d'adéquation du Khi carré.

➤ **Hypothèses :**

H0 : L'échantillon provient d'une loi Gumel ;

H1 : L'échantillon ne provient pas d'une loi Gumel.

Résultats :

Résultat de la statistique : **X2 = 3.13**

P-value : $P = 0.5358$

Degrés de liberté : **4**

Nombre de classes : **7**

➤ **Conclusion** :

Nous pouvons accepter H_0 à un niveau de signification de 5 %. L'ajustement de la série pluviométrique à la loi GUMBEL (Méthode des Moments) est représenté sur la Figure III.6.

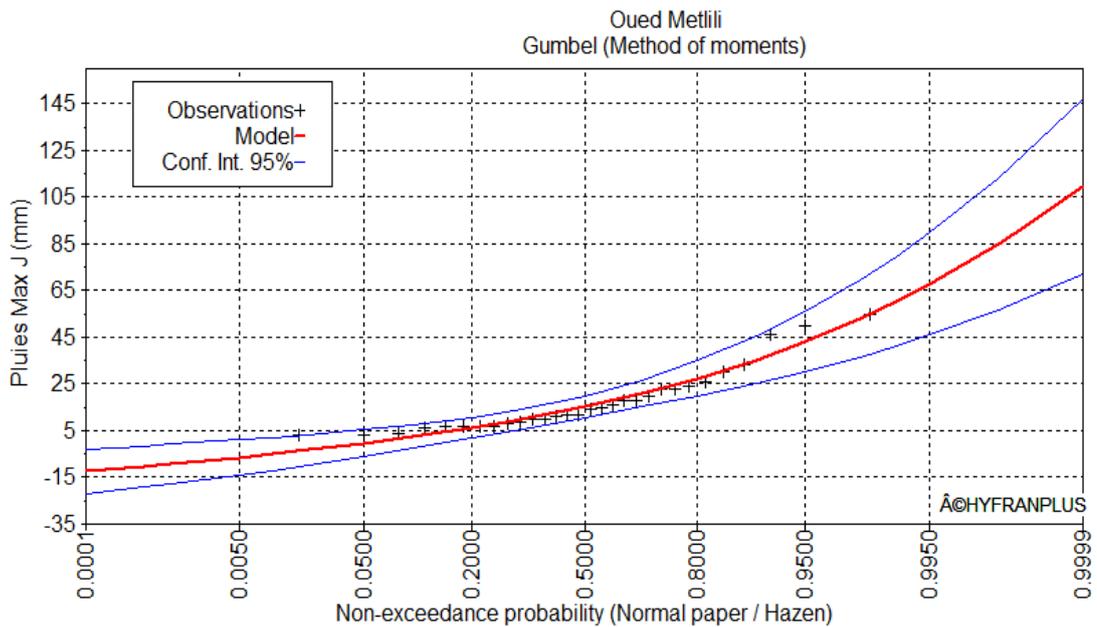


Figure III.7 : Ajustement à la loi de GUMBE.

III.5.2.2. Ajustement de la série pluviométrique par la loi Log Normal ou loi de Galton :

Lorsqu' $Y = \ln X$ est Normal, une variable alphanumérique X a une distribution log-normale. La loi de Galton est le résultat de la loi normale qui a été rendue dissymétrique par un changement des variables. Sa fonction de division est assurée par : [24]

$$F(x) = n \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\mu}^{\infty} e^{-\frac{1}{2}\mu^2}$$

$$u = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \text{ (variable réduite de GAUSS)}$$

L'équation de la droite de **GALTON** est donnée par la relation suivante :

$$\log x_{p\%} = \log \bar{x} + \sigma \log \mu(p\%)$$

Avec :

$\log \bar{x}$: La moyenne de la série $\log xi$;

σ : Ecart type de la série $\log xi$;

u : variable réduite de Gauss;

$$\log \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{30} \log \bar{X}_i}{n}$$

GALTON (log-Normale) (Maximum des vrais semblances) :

Nombre d'observations : 30

- Paramètre :

Mu = 2.58196, Sigma = 0.781772

-Quantiles :

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

T = 1/ (1-q)

Les résultats d'ajustement obtenus par la loi de GALTON sont représentées dans le

Tableau III.14 suivant :

Tableau III .14: Résultats de l'ajustement à la loi de GALTON

Chapitre VI : Etude Hydrologique

Période de retour T(ans)	Fréquence au non dépassement(Q)	Valeurs théoriques XT (mm)	Ecart-type	Intervalle de confiance
1000	0.999	148	51.5	47.1-249
100	0.990	81.5	22.7	37.1-126
50	0.980	65.9	16.8	33.0-98.8
20	0.950	74.9	10.6	27.1-68.6
10	0.900	36.0	6.99	23.3-49.7
5	0.800	25.5	4.26	17.2-33.9
2	0.500	13.2	1.89	9.52-16.9

➤ **Test d'homogénéité :**

Test d'adéquation du Khi carré.

➤ **Hypothèses :**

H0 : l'échantillon provient d'une loi -log normale ;

H1 : l'échantillon ne provient pas d'une loi-log normale.

➤ **Résultats :**

Résultat de la statistique : **SW** = 0.79

P-value : P = 0.9270

➤ **Conclusion :**

Nous pouvons accepter H0 à un niveau de signification de 5 %. La figure III.7 montre comment ajuster une série pluviométrique à la loi Galton (Log normal).

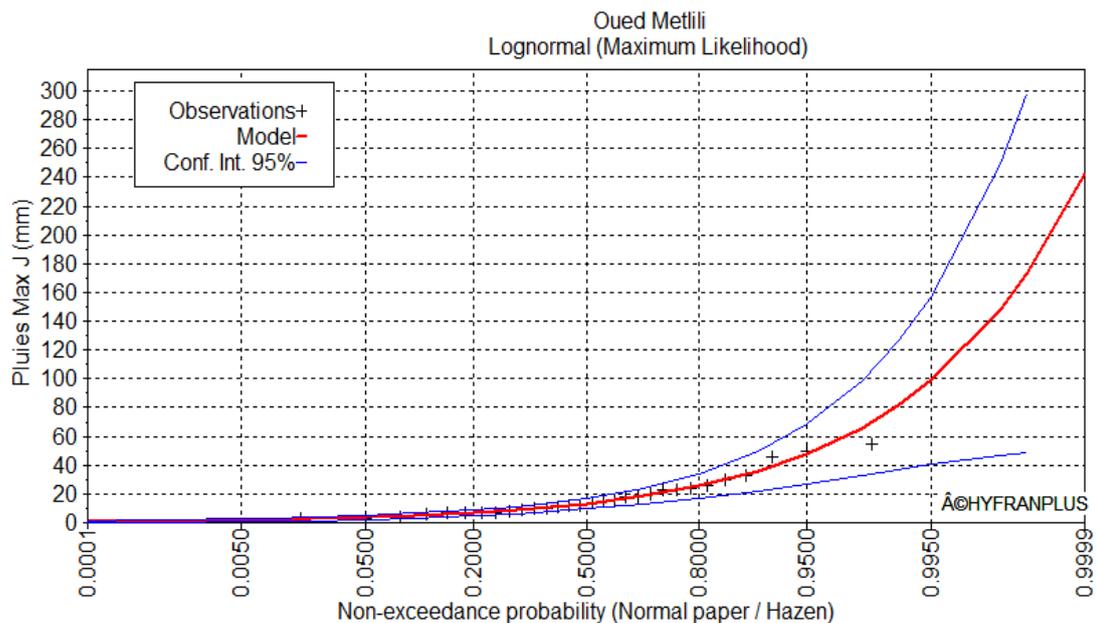


Figure III.8 : Ajustement à la loi de GALTON.

❖ Résultat d'ajustement :

D'après ces deux lois, celle de Gumbel et celle de Log-normale, on remarquera que l'ajustement de Gumbel établi par HYFRAN est le meilleur ; au point où les positions des données expérimentales sont les plus proches des positions théoriques, et pour le dimensionnement de notre travail, nous travaillons avec un orage d'intensité "I" pour une période de retour de 100 ans. Le tableau montre les précipitations du journal pour les périodes de retour (2, 5, 10, 25, 50, 100 et 1000 ans). (III.15).

Tableau III.15 : Pluies maximales journalières fréquentielles.

Période de retour	Fréquence au non dépassement	Pluie journalière maximale fréquentielle (mm)
(an)	(%)	Oued Metlili
2	0.500	15.3
5	0.800	27.4
10	0.900	35,4
20	0.950	43.0
50	0.980	53.0
100	0.990	60.4
1000	0.999	85.1

III.5.3 Pluie de courte durée et leurs intensités à différentes Fréquences :

Selon la relation de MONTANARI, les précipitations exceptionnelles de courte durée (P_{ct}) sont liées aux précipitations fréquentes au niveau du journal (P_{max}). [24]

$$P_{ct} = P_{maxj} \left(\frac{t}{24} \right)^b$$

Avec :

- P_{ct} : La pluie de courte durée de fréquence égale a celle de $P_{max,j}$ en (mm) ;
- $P_{max,j}$: La pluie maximale journalière pour différentes fréquences ;
- t : la durée en heures ;
- b : L'exposant climatique ($b=0.38$ donné par l'ANRH).

II.5.3.1 Intensités maximales à différentes Fréquences :

Les intensités maximales pour différentes périodes de retour sont déterminées à l'aide de la formule suivante : [24]

$$I_{max} = \frac{p_{maxj}(mm)}{t(h)}$$

Avec :

I_{max} : Intensité maximale (mm/h)

Le tableau suivant répertorie les différentes valeurs de précipitations de courte durée et leurs intensités à différentes fréquences.

Chapitre VI : Etude Hydrologique

Tableau III.16 : Pluie de courte durée et leurs intensités à différentes fréquences.

Période de retour T (ans)	1000 ans		100ans		50ans		20ans		10ans		5ans		2ans	
	P_{ct}	I_{max}												
0.5	19.55	170.20	13.87	120.80	12.17	106.00	9.88	86.00	8.13	70.80	6.29	54.80	3.51	30.60
1	25.44	85.10	18.05	60.40	15.84	53.00	12.85	43.00	10.58	35.40	8.19	27.40	4.57	15.30
2	33.10	42.55	23.49	30.20	20.62	26.50	16.73	21.50	13.77	17.70	10.66	13.70	5.95	7.65
3	38.61	28.37	27.41	20.13	24.05	17.67	19.51	14.33	16.06	11.80	12.43	9.13	6.94	5.10
4	43.08	21.28	30.57	15.10	26.83	13.25	21.77	10.75	17.92	8.85	13.87	6.85	7.74	3.83
5	46.89	17.02	33.28	12.08	29.20	10.60	23.69	8.60	19.50	7.08	15.10	5.48	8.43	3.06
6	50.25	14.18	35.67	10.07	31.30	8.83	25.39	7.17	20.90	5.90	16.18	4.57	9.03	2.55
7	53.28	12.16	37.82	8.63	33.18	7.57	26.92	6.14	22.16	5.06	17.16	3.91	9.58	2.19
8	56.06	10.64	39.79	7.55	34.91	6.63	28.32	5.38	23.32	4.43	18.05	3.43	10.08	1.91
9	58.62	9.46	41.61	6.71	36.51	5.89	29.62	4.78	24.39	3.93	18.87	3.04	10.54	1.70
10	61.02	8.51	43.31	6.04	38.00	5.30	30.83	4.30	25.38	3.54	19.65	2.74	10.97	1.53
11	63.27	7.74	44.90	5.49	39.40	4.82	31.97	3.91	26.32	3.22	20.37	2.49	11.37	1.39
12	65.39	7.09	46.41	5.03	40.73	4.42	33.04	3.58	27.20	2.95	21.06	2.28	11.76	1.28
13	67.41	6.55	47.85	4.65	41.98	4.08	34.06	3.31	28.04	2.72	21.71	2.11	12.12	1.18
14	69.34	6.08	49.21	4.31	43.18	3.79	35.04	3.07	28.84	2.53	22.33	1.96	12.47	1.09
15	71.18	5.67	50.52	4.03	44.33	3.53	35.97	2.87	29.61	2.36	22.92	1.83	12.80	1.02
16	72.95	5.32	51.78	3.78	45.43	3.31	36.86	2.69	30.35	2.21	23.49	1.71	13.12	0.96
17	74.65	5.01	52.98	3.55	46.49	3.12	37.72	2.53	31.05	2.08	24.03	1.61	13.42	0.90
18	76.29	4.73	54.15	3.36	47.51	2.94	38.55	2.39	31.73	1.97	24.56	1.52	13.72	0.85
19	77.87	4.48	55.27	3.18	48.50	2.79	39.35	2.26	32.39	1.86	25.07	1.44	14.00	0.81
20	79.40	4.26	56.36	3.02	49.45	2.65	40.12	2.15	33.03	1.77	25.57	1.37	14.28	0.77
21	80.89	4.05	57.41	2.88	50.38	2.52	40.87	2.05	33.65	1.69	26.04	1.30	14.54	0.73
22	82.33	3.87	58.44	2.75	51.28	2.41	41.60	1.95	34.25	1.61	26.51	1.25	14.80	0.70
23	83.73	3.70	59.43	2.63	52.15	2.30	42.31	1.87	34.83	1.54	26.96	1.19	15.05	0.67
24	85.10	3.55	60.40	2.52	53.00	2.21	43.00	1.79	35.40	1.48	27.40	1.14	15.30	0.64

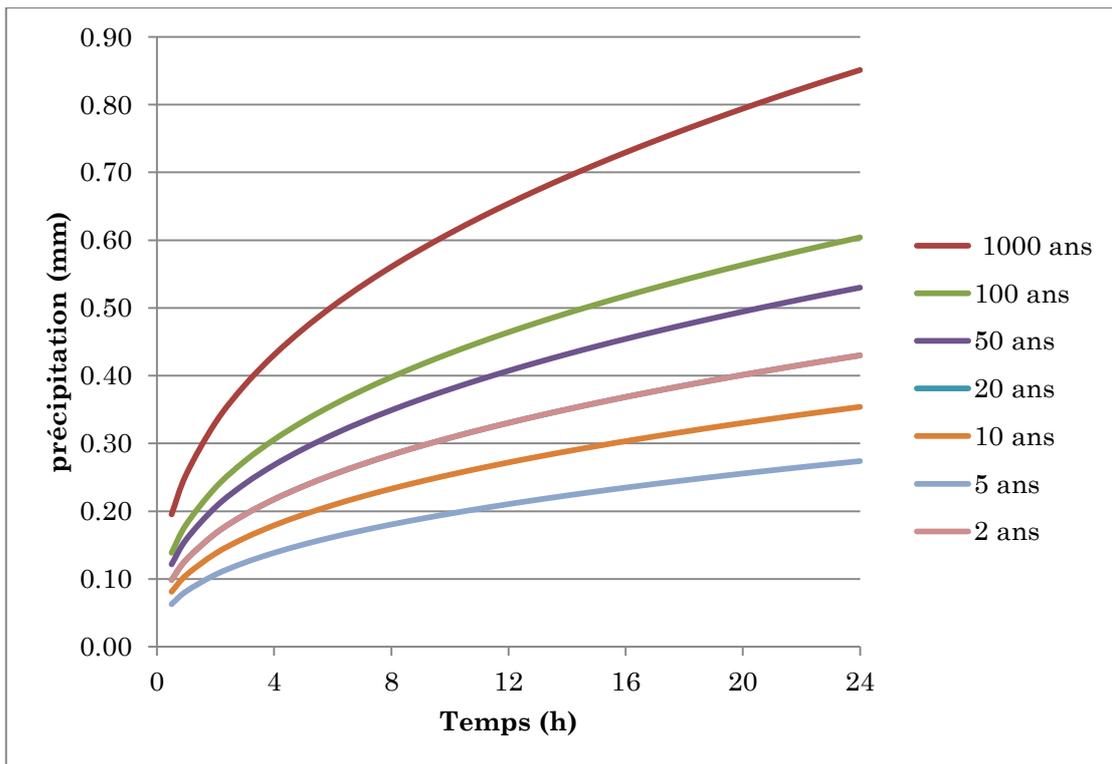


Figure III.9 : Courbe des pluies de courte durée fréquentiel.

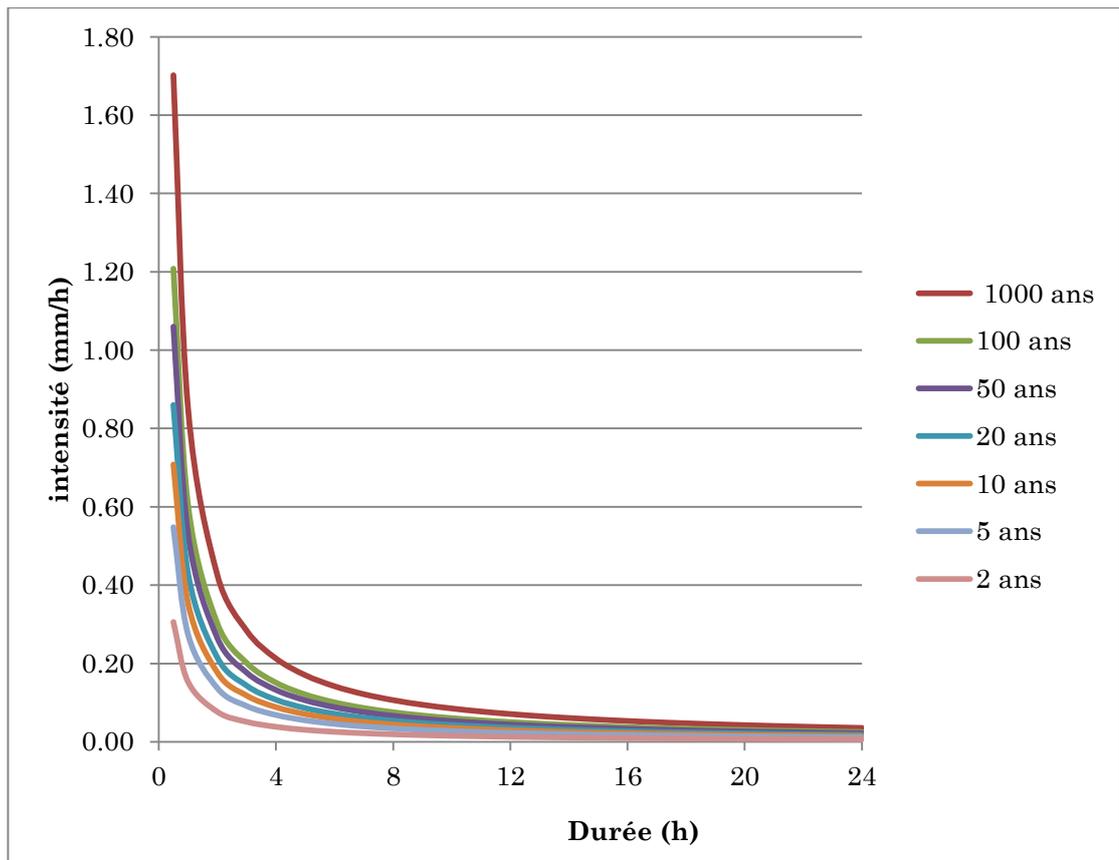


Figure III.10 : Courbe Intensité-Durée-Fréquence.

III.6 Evaluation des apports :

III.6.1 Apports liquides :

De nombreuses formules empiriques d'estimation des cotisations existent en Algérie, dont certaines sont utilisées pour se rapprocher davantage de la valeur de la cotisation annuelle moyenne (Bénira 2004).

a) Formule de SAMIE 2 :

$$L_e = 0.784(P_{moy}-0.232)^2 \quad (III.24)$$

$$A = L_e \times S \quad (III.25)$$

- P_{moy} : Pluie moyenne annuelle [mm] ;
- S : Superficie du bassin [Km²] ;

b) Formule de SAMIE

$$L_e = P_{moy}^2 (293 - 2,2\sqrt{S})$$

$$A = L_e \times S$$

- P_{moy} : Pluie moyenne annuelle en [mm] ;
- S : Surface du bassin en [km²] ;
- L_e : Lamme d'eau écoulée en [mm] ;

c) Formule de MEDINGER :

$$A = L_e \cdot S \text{ (III.27)}$$

$$L_e = 1.024(P_{moy} - 0.26)^2 \text{ (III.28)}$$

- P_{moy} : Pluie moyenne annuelle en [mm] ;
- S : Surface du bassin en [km²] ;
- L_e : Lamme d'eau écoulée en [mm]

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.17 : Apports moyens interannuels.

Formules	Résultats	
	L_e	$A(\text{Hm}^3)$
Formule de samie 2	19.49	1.27
Formule de SAMIE	60.58	3.9
Formule de MEDINGER	25.36	1.66

Il est préférable de garder la moyenne de ces résultats car cela donne :

$$A_{moy} = 2.27 \text{ Hm}$$

III.6.2 Apports solides :

Nous sommes obligés d'utiliser l'empirisme et d'accepter des résultats d'un ordre de grandeur raisonnable car il n'y a pas de données solides de mesure de transport disponibles.

✓ Formule de TIXERONT:

C'est la formule la plus fréquemment utilisée en Algérie pour estimer les apports solides.

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

$$E_s = 123.31 \text{ t/km}^2/\text{an.}$$

Avec :

- **E_s** : Taux d'érosion (t/Km²/an).

- **L_e** : Lamme d'eau écoulée (27.53 mm).

- **a** : Coefficient empirique qui varie en fonction de la perméabilité du terrain.

$$a = 75$$

(Perméabilité moyenne) (Bénis, 2004).

Compte tenu du poids moyen des sédiments ($\gamma=1,4 \text{ T/m}^3$), on peut : [23]

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

$$V_s = 57724.05 \text{ m}^3/\text{an}$$

- **V_s** : Apport solide (Km³/an).

Les résultats des contributions de déviation du bassin des notes liquides et solides sont résumés dans le tableau III.17.

Tableau III.18 : Récapitulatif des apports liquides et solides du bassin versant.

Taux d'érosion (t/Km²/an)	123.31
apport liquide (m³/an)	2270000
apport solide (m³/an)	57724.053
Apport total (m³/an)	2327847.36

III.7 Etude des crues :

La mesure des ouvrages hydrauliques a toujours été une considération importante pour l'évaluation des crues. De nombreuses méthodes ont été établies afin d'atteindre avec précision les estimations. En raison des conditions

changeantes, des problèmes survenus lors de l'estimation et de la charge de l'étude, il existe de nombreuses méthodes de calcul des crues. Les méthodes utilisées pour déterminer les crues dépendent principalement des informations disponibles. Les problèmes qui se posent deviennent moins importants à mesure que la disponibilité augmente [16]

Les différentes méthodes de calcul des crues :

➤ **Méthodes déterministes :**

- Méthode historique
- Méthodes empiriques
- Courbes enveloppes

➤ **Méthodes de probabilité :**

Pour notre étude, nous utiliserons la méthode empirique, et les principales lois que nous utiliserons sont les formules de MALLET-GAUTHIER, GIANDOTTI, TURAZZA et SOKOLOVSKI.

III.7.1 Application sur les bassins versants :

III.7.1.1 Formule de Turazza :

Cette formule utilise une intensité maximale moyenne des précipitations déterminée sur un intervalle de référence égal au temps de concentration vers l'avant du bassin. [24]

$$Q_{max.p\%} = \frac{C . I_{tc} . S}{3.6}$$

-**A** : Surface du bassin ;

-**I_{tc}** : Intensité maximale des précipitations pendant une durée égal au temps de concentration en mm/h. Ce paramètre est calculé dans le tableau n° (III.19) ;

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

Tableau III.19 : valeur de coefficient de ruissellement C.

Fréquence%	0.1	1	2	5	10	20	50
Période de Retour	1000	100	50	20	10	5	2
C	0.9	0.85	0.8	0.75	0.7	0.65	0.6

III.7.1.2. Formule de Giandootti :

La formule suivante fournit le débit le plus probable : [24]

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

Avec

-C : coefficient topographique varie de 66 à 166 et on prend C = 125.

-S : Surface du sous bassin en Km² ;

-L : Longueur du talweg principal en Km ;

-H_{moy} : Altitude moyenne en m ;

-H_{min} : Altitude minimale en m ;

-P_{tc} : pluie fréquentielle de courte durée, correspondant au temps de concentration

Tableau III.20: Pluies de courte durée et intensité pour bassin.

Période de retour T (ans)	1000 ans	100ans	50ans	20ans	10ans	5ans	2ans
P _{MAXJ} (mm)	85.1	60.4	53.0	43.0	35.4	27.4	15.3
Temps de concentration	40.63	40.63	40.63	40.63	40.63	40.63	40.63
P _{ct}	35.89	25.48	22.35	18.14	14.93	11.56	6.45
I _{max}	18.66	13.24	11.62	9.43	7.76	6.01	3.35

III.7.1.3 Formule de Sokolovski :

La formule suivante fournit le débit le plus probable : [24]

$$Q_{\max p\%} = \frac{0.28 . P_{ct} . \alpha . F . S}{T_c}$$

Avec :

- **S** : Surface du bassin versant en Km² ;
- **f** : Coefficient de forme de l'hydro gramme (0,95 ÷ 1,2);
- **Tc** : Temps de concentration du sous bassin en h ;
- **P_{ct} %** : précipitation en mm, de probabilité p% correspondant à un temps t_c.
- **α**: Coefficient de ruissellement pour la crue probable.

Les tableaux ci-dessous présentent les dépôts des crues de bassin selon différentes formules.

Tableau III.21 : Les débits de crues de bassins par les Différentes formules.

Fréquence%		0.1	1	2	5	10	20	50
T (an)		1000	100	50	20	10	5	2
A		0.8	0.7	0.65	0.6	0.55	0.5	0.45
C		0.9	0.85	0.8	0.75	0.7	0.65	0.6
Q _{max, p%}	Formule de Turraza	581.64	389.94	321.85	244.39	188.60	134.89	69.90
Q _{max, p%}	Formule de Giandootti	933.33	625.80	516.64	393.11	301.98	217.11	111.82
Q _{max, p%}	Formule de Sokolovski	141.34	87.80	71.51	53.57	40.42	28.45	14.28
Q _{max, p%}	Moyen	552.10	367.85	303.33	230.36	177.00	126.82	65.33

Les valeurs du débit calculées selon la formule de Turraza, Giandootti et Sokolovski Quant aux différentes périodes de retour, elles sont très proches. Donc, pour des raisons de sécurité, nous utiliserons la moyenne des valeurs obtenues à l'aide de la formule de Turraza, Giandootti et Sokolovski.

III.8 Hydro-gramme de crue :

La forme de l'hydro gramme est déterminée par la méthode SOKOLOVSKY qui compare l'hydro gramme à deux équations paraboliques dont la première exprime la montée de l'hydro gramme comme suit : [25]

- **La montée de la crue :**

$$Q_m(t) = Q_{max.p} \left(\frac{t}{t_m} \right)^3$$

- **La décrue :**

$$Q_d(t) = Q_{max.p} \left[\frac{(t_b - t)}{td} \right]^2$$

Avec :

- $Q_{max, p}$: Débit maximum de crue (de pointe) (m³/s).
- $Q_m(t)$: Débit instantané au moment de la montée (m/s).
- $Q_d(t)$: Débit instantané au moment de la descente (m/s).
- t_m : Temps de montée (h).
- td : temps de descente (h).
- t_b : Temps de base (h).

On a : $t_m = t_c$; $td = t_m * \gamma$ et $t_b = t_m + td$

γ : dépend de la capacité de régulation du bassin, $\gamma = 2.5$. **Donc :**

$t_m = t_c = 7.27$ h.

$$t_d = 2.5 * t_m = 18.27 \text{ h.}$$

$$t_b = t_m + t_d = 25.44 \text{ h.}$$

Le tableau III.22 suivant présente les gisements de pétrole brut à différentes périodes du flux inverse du puits.

Tableau III.22 : Débits de crues pour différentes périodes de retour.

Débits de crues (m3/s) pour différentes périodes de retour							
t(h)	Q0.1%	Q1%	Q2%	Q5%	Q10%	Q25%	Q50%
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	11.49	7.66	6.32	4.80	3.69	2.64	1.36
4	91.96	61.27	50.52	38.37	29.48	21.12	10.88
6	310.36	206.78	170.52	129.49	99.50	71.29	36.73
7.27	552.10	367.85	303.33	230.36	177.00	126.82	65.33
10	394.31	262.71	216.64	164.52	126.41	90.57	46.66
13	255.97	170.54	140.63	106.80	82.06	58.79	30.29
16	147.40	98.21	80.98	61.50	47.25	33.86	17.44
19	68.60	45.70	37.69	28.62	21.99	15.76	8.12
22	19.57	13.04	10.75	8.17	6.27	4.50	2.32
25.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

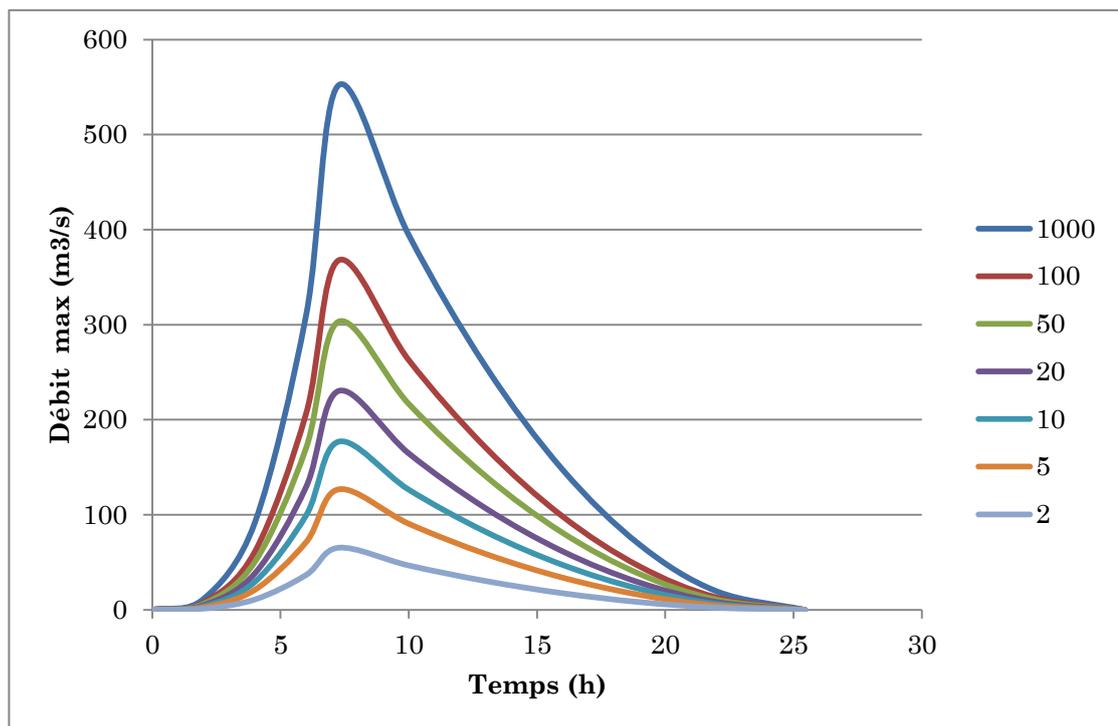


Figure III.11 : Hydro gramme de crue.

III.9 Conclusion :

Le montage de ce chapitre a pour but de calculer les caractéristiques du bassin en pente qui influent sur l'écoulement de l'eau ainsi que d'estimer le débit de crue idéal afin de réaliser un aménagement adapté à la localisation de l'Oued.

Les calculs effectués dans les résultats de ce chapitre sont les suivants :

La série pluviométrique respecte la loi de Gumbel. Le débit brut optimal est estimé à 376 m³/s pour une période de retour de 100 ans.

CHAPITRE IV

Protection et
simulation contre
Les inondations

IV.protection contre Les inondations :

Une inondation est le phénomène sporadique qui peut entraîner la disparition de grandes portions d'une plaine ou d'un plan d'eau important après un débit de crue et de niveau d'eau très important. Plus concrètement, on dit qu'une rivière est en difficulté lorsqu'elle dépasse les limites de son petit lit. C'est un phénomène naturel régulier qui ne devient exceptionnel que lorsque les débits dépassent son module ; à ce moment-là, on parle de «crue critique», qui a le potentiel de provoquer des inondations dans les zones fluviales. Bien que la distinction traditionnelle entre lit majeur et lit mineur soit souvent exagérée, il est encore possible d'affiner l'idée de lit fluvial et de faire des distinctions successives.

Une fois la condition de risque décrite, il est possible de prévoir une large gamme d'ajustements qui contribueront de manière proactive à atténuer les effets des écoulements qui provoquent des inondations. Ces modifications peuvent être envisagées pour le berceau face à l'avant, les réseaux primaires et le lit du cours d'eau majeur. 2014 (Hachemi).

VI.3. Information digitales et modèles numériques :

Le besoin de données spatiales a augmenté ces dernières années, car il est maintenant entendu que la compréhension des processus qui contribuent à la génération de l'évaporation nécessite une connaissance de la propagation spatiale de la réponse hydrologique. De plus, l'utilisation de cartes de risques pour comprendre les processus d'érosion, de salinisation, de sédimentation et de pollution nécessite une représentation précise du paysage et une compréhension de ses caractéristiques. Le développement des méthodes modernes d'acquisition et de diffusion de l'information a permis de représenter à la fois la topographie de l'environnement à l'aide de modèles numériques de terrain et d'altitude (MNA et MNT), ainsi que la représentation de l'occupation humaine de la terre à l'aide de photographies ou de données aériennes satellitaires. Ces détails sont également utiles pour décrire les caractéristiques physiques des bassins flottants et pour créer une carte numérique de leur surface. [3]

VI.3.1. Généralité sur les MNT et MNA :

Il est possible de créer une spatialisation de l'environnement (MNA) qui conduit à la création de modèles numériques de terrain à partir de la densité locale des courbes de niveau ou du traitement stéréographique des images satellites (MNT).

Ce MNT est une représentation numérique de la topographie, soit en matrices, soit en vecteurs. Les fichiers qui composent le modèle en plus des altitudes (MNA) sont l'éclairage simulé, l'orientation et les pentagrammes.

IV.3.2.Présentation du logiciel "Système d'Information Géographique" Arc GIS :

Les hydrologues s'intéressent depuis longtemps à l'utilisation de la modélisation pour étudier le comportement hydrologique des bassins allongés. Nous utiliserons dans nos recherches le logiciel arc GIS "Géographique Information System" qui a été créé par la société américaine ESRI (Environnemental Systems Research Institute).

Arc GIS comprend des outils puissants pour automatiser les processus de modélisation et de prédiction du comportement hydrologique, tels que la délimitation automatisée du bassin d'érosion et les calculs de paramètres géométriques....

Concernant notre MNA :

A l'aide du logiciel Global Mapper v16, notre MNA a été téléchargé depuis internet sous un fichier DEM (Digital Elévation Model).



Figure V.01: Photo du logiciel ArcGIS sur le MNA (Modèle Numérique d'Altitude) de la zone étude

Chapitre IV : protection et simulation contre les inondation

Arc GIS peut délimiter automatiquement le bassin d'érosion à l'aide de données numériques de terrain (MNA : Modèle Numérique d'Altitude). La surface, la pente, l'altitude moyenne et la longueur du talweg principal sont toutes fournies par Arc GIS dans le cadre du processus de délimitation.

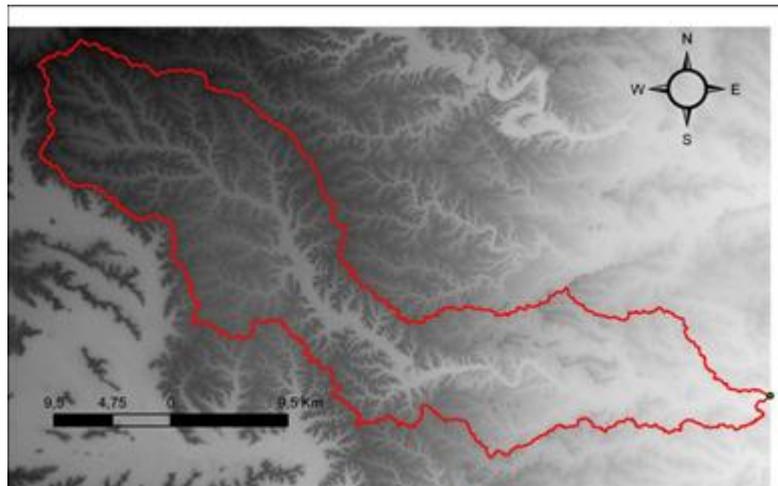


Figure IV.02 : Photo du logiciel Arc GIS pour le Réseau hydrographique de la zone étude.

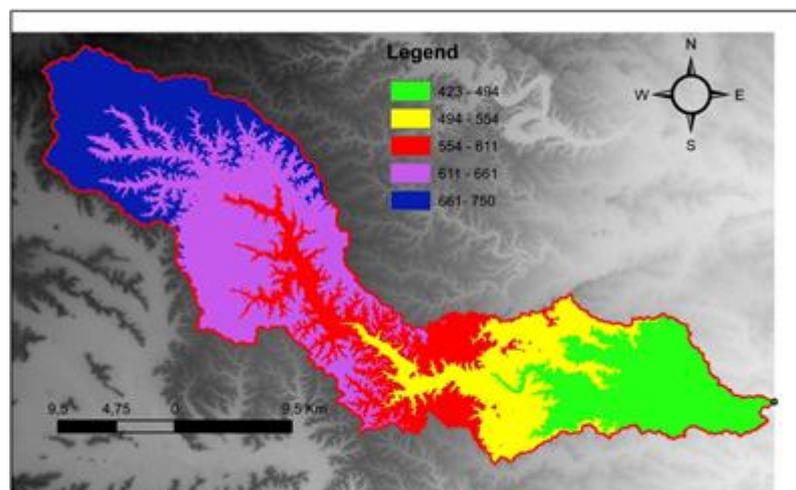


Figure IV.03 : Photo du logiciel Arc GIS pour délimitation de Bassin Versant de la zone étude.

IV.4 : Les principales raisons des inondations à Ghardaïa :

IV.4.1 : Facteurs climatiques :

Les précipitations importantes dans un climat aride et semi-aride sont une des principales causes de crues soudaines et inondations. D'autres facteurs tels que le vent et les tempêtes de sable peuvent également contribuer à l'intensité des inondations.

IV.4.2 : Facteurs humains :

Le développement urbain non réglementé peut restreindre la capacité des cours d'eau à écouler l'eau, augmentant ainsi les risques d'inondations. D'autres activités humaines, telles que l'agriculture irriguée et le pompage excessif de l'eau souterraine, peuvent également contribuer à la détérioration des sols et à l'augmentation du risque d'inondation.

IV.4.3 : Facteurs géographiques :

La topographie de Ghardaïa est un facteur important dans l'augmentation de la vulnérabilité aux inondations, avec des zones de basse altitude sujettes à un risque plus élevé d'inondation. Les caractéristiques du sol, qui peuvent affecter la perméabilité et le coefficient de ruissellement, sont également un contributeur important.

IV.5. Solutions Proposées:

➤ Élargissement de l'Oued

Une proposition clé de l'aménagement hydraulique implique l'élargissement de l'oued et le nettoyage du lit de la rivière pour améliorer l'écoulement de l'eau.

➤ Construction de Barrages

La construction de barrages est une autre solution proposée pour aider à contrôler les inondations de l'oued Metlili.

➤ Renforcement des Dunes

Le renforcement des dunes existantes et la construction de dunes supplémentaires sont des solutions proposées pour aider à prévenir la formation d'inondations et à protéger les populations locales.

Simulation de la crue :

L'inondation d'octobre 2008, à causé des dégâts colossaux, sur le double plan humain et matériel. La crue a atteint de grandes hauteurs dans le lit mineur, et a envahi une très grande partie du lit majeur dans la commune de Ghardaïa et la commune de Metlili avec des hauteurs d'eau importantes dans certains quartiers. La photo satellite suivante montre l'étendu de la crue d'octobre 2008 dans la région du Metlili, Pour cela, nous prenons les propriétés de cette inondation notamment les sommets qui atteint les eaux sur le bord des zones que nous voulons étudier.

L'étude de l'inondable de la commune de Ghardaïa et la commune de Metlili se fait à l'aide de simulations des crues. De ce fait, la première tâche consiste à reproduire l'inondation d'octobre 2008.

Et voici quelques photos représentent les dégâts colossaux sur les deux sites d'études :

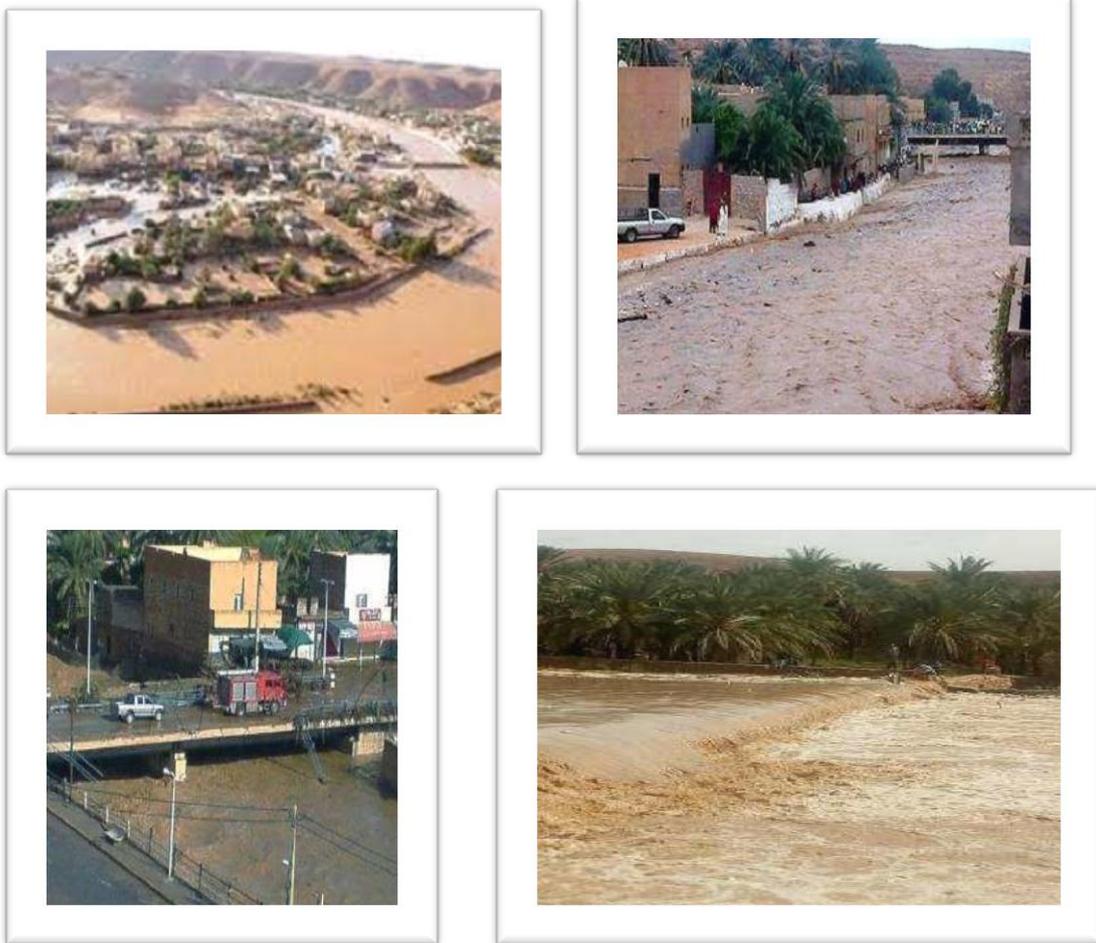


Figure IV.4: Quelques dégâts matériels Ghardaïa (Metlili)

IV .1 Simulation numérique de la crue des Oueds :

Dans le cadre du cours Ressources hydriques, le laminage hydrologique a précédemment été utilisé pour étudier la propagation du débit dans un cours d'eau. Toutefois, les niveaux d'eau sont parfois un élément primordial pour la prévision des inondations, la gestion des cours d'eau et des plaines inondables, ainsi que pour la conception de certains ouvrages en milieu hydrique. L'approche hydraulique, dont la théorie est présentée au ce chapitre des notes de cours, devient alors nécessaire afin de calculer la hauteur d'eau atteinte par l'écoulement dans des conditions spécifiques (Guide de laboratoire pour (HEC-RAS).

Après avoir tracé les zones et les sections d'études sur Google Earth, nous avons utilisé le logiciel HEC-RAS pour faire la simulation numérique de la crue de ces Oueds. Le logiciel HEC-RAS est un logiciel de simulation de l'hydraulique dans les rivières et canaux. Il permet d'évaluer les débits et hauteurs d'eau sur l'ensemble des sections d'une rivière (Modéliser une rivière avec HEC-RAS.). Ce logiciel a été utilisé dans l'étude des zones arides et sahariennes,

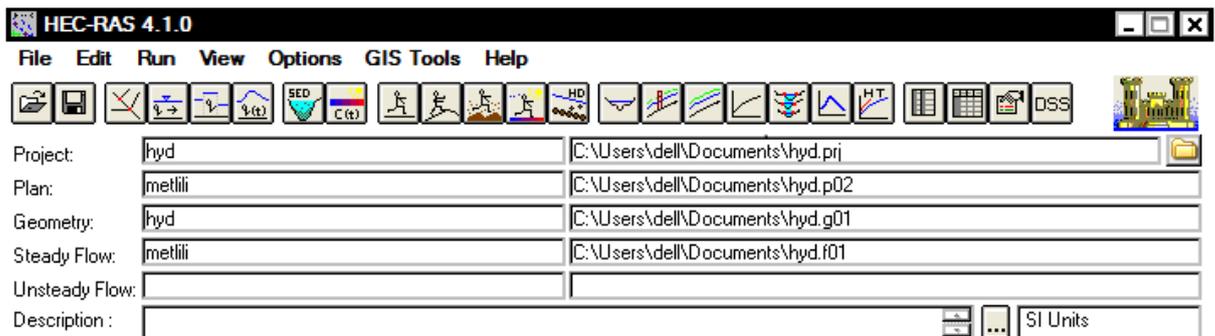


Figure IV.5 : Fenêtre principale de HEC-RAS

IV.6.1 Étapes de la modélisation :

Après la création du projet et Avant d'entrer les informations reliées à la géométrie et aux débits, il faut spécifier le système d'unités utilisé Dans le menu Options, allez à Units System et choisissez System International (Metric System).

IV.6.1 Géométrie des sections :

Après avoir défini les principaux paramètres du projet, la deuxième étape est de définir les caractéristiques géométriques du système modélisé. En Sélectionnons Edit / Geometric Data... et la fenêtre Base Geometry Data apparaît. Les autres caractéristiques géométriques nécessaires à cette étape sont les sections transversales à différents endroits de la rivière. Les sections transversales sont représentées au moyen de points représentant des coordonnées X-Y, où X est la distance par rapport à un point de référence arbitraire placé sur la rive et Y est l'élévation du fond de la rivière.

Les altitudes par rapport les distances cumulées des sections réalisées sur les deux zones d'études sont obtenu par les levées topographiques de ces deux zones .Dans la figure suivantes (page suivante), on donne l'exemple de la zone :

IV.6.2 Application sur la zone pont centre-ville (vallée du Metlili) :

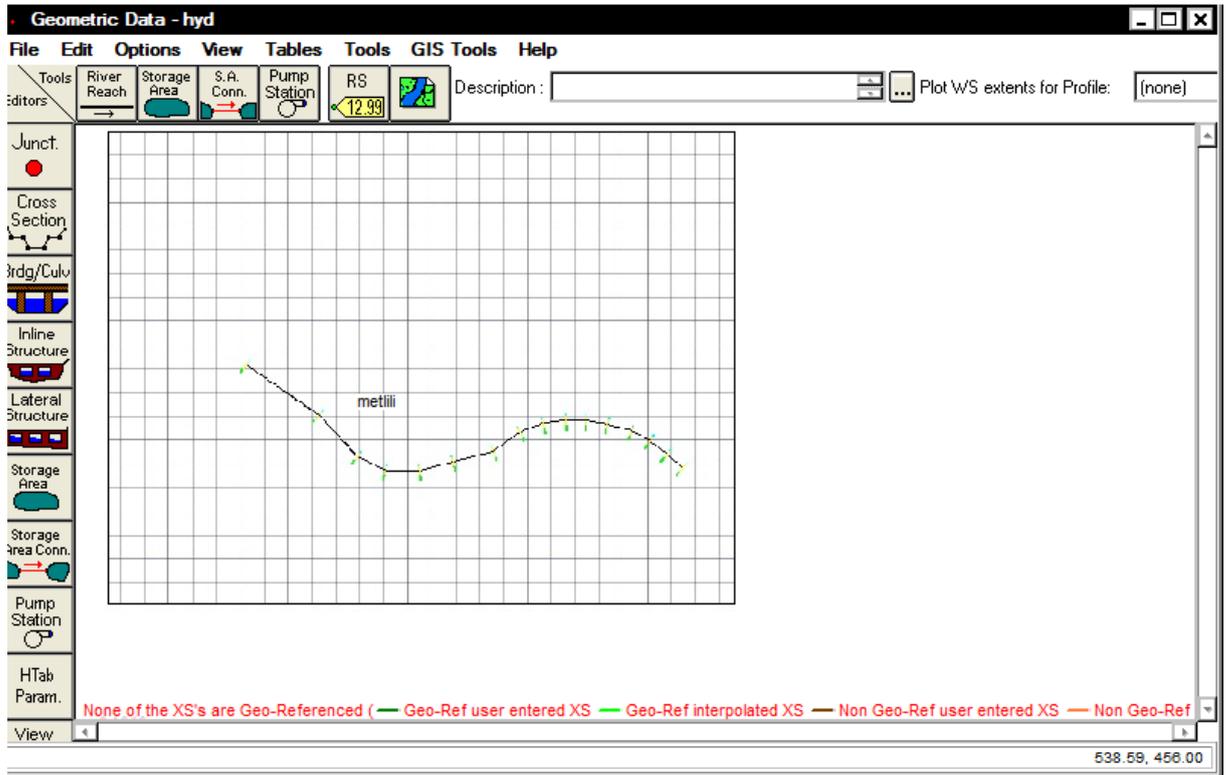


Figure IV.6 : Fenêtre Base Geometry Data - la zone Pont Cv Metlili

Chapitre IV : protection et simulation contre les inondation

Les sections transversales sont représentées dans la figure suivante :

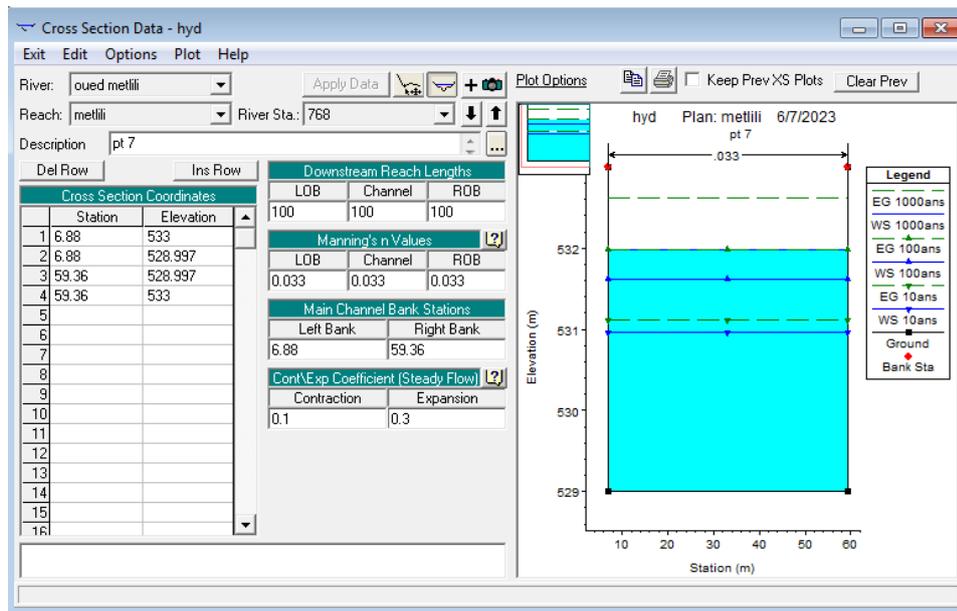
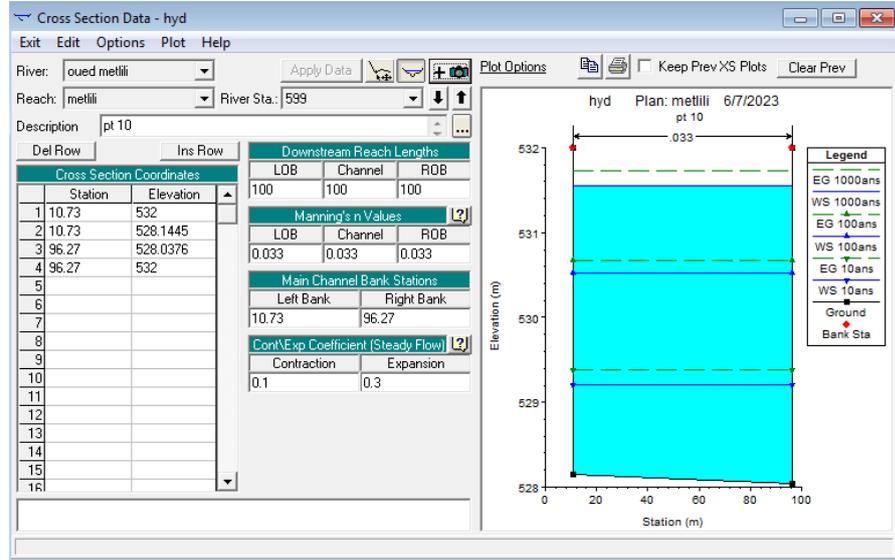


Figure IV.7: Les différents sections transversales - la zone Pont Cv Metlili

IV.6.3 Débits et conditions limites :

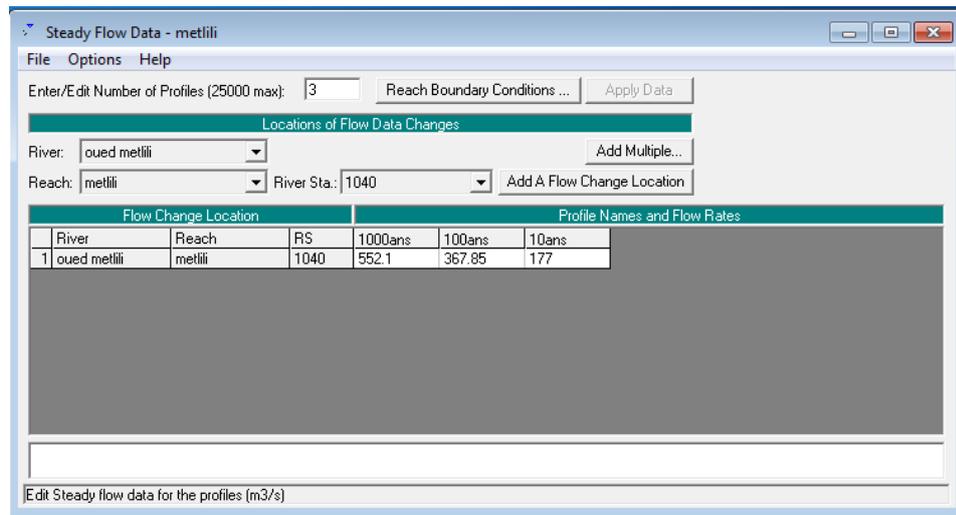


Figure IV.8: Fenêtre Steady Flow Data - la zone Pont Cv Metlili

IV.6.3 Simulation hydraulique :

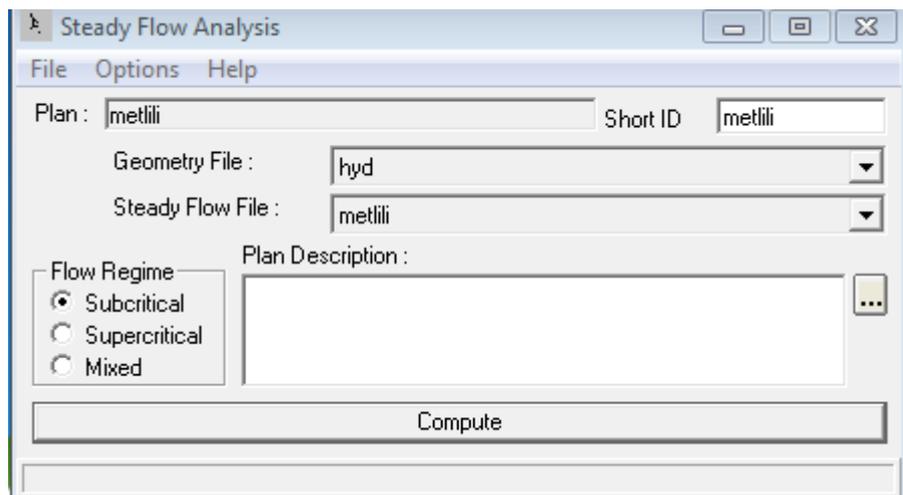


figure IV.9: Fenêtre Steady Flow Analysis - la zone Pont Cv Metlili

IV.6.4 Visualisation des résultats :

via le bouton View 2D multiple cross section plot. Les sections transversales de début et de fin peuvent être modifiées pour n'afficher qu'une partie du tronçon à l'étude. Rotation et Azimuth permettent quant à eux de modifier l'angle de vue. Pour ne voir qu'une seule section, il est préférable d'utiliser le bouton View Cross Sections qui a été utilisé précédemment. Vous retrouvez à nouveau le menu Options dans la fenêtre Cross Sections, même s'il diffère légèrement du précédent.

Les résultats de simulation sont illustré dans la figure suivante :

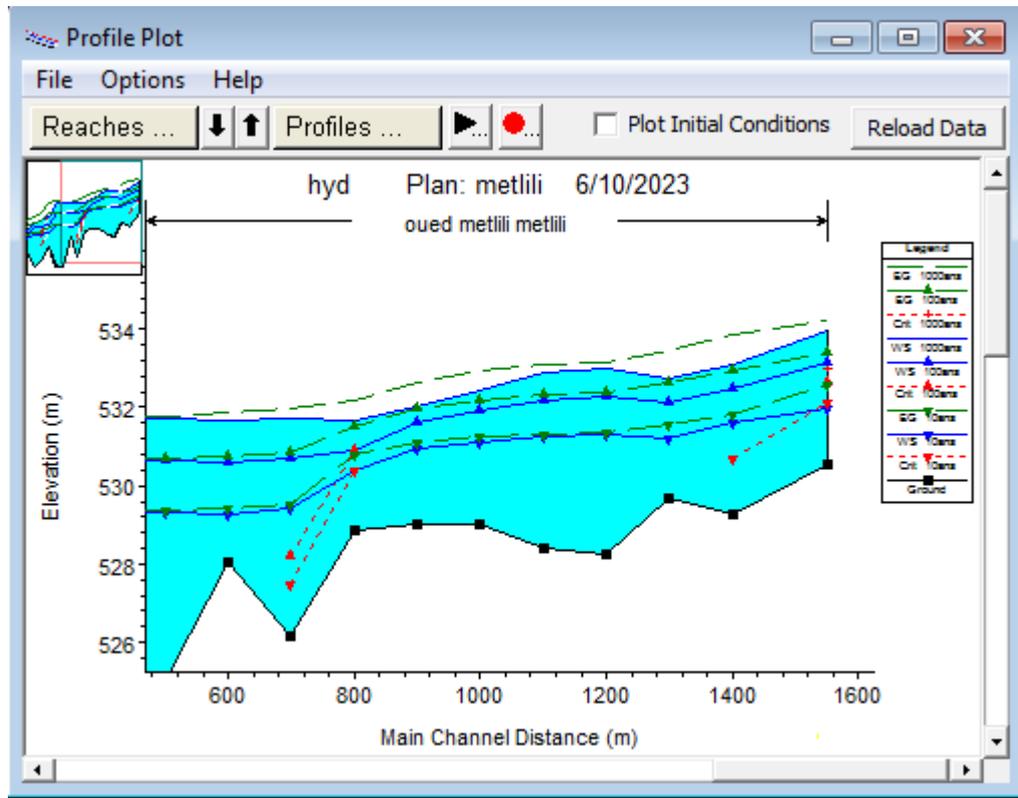


Figure IV.10 : Simulation de crue sur la zone Pont Centre-ville (vallée du Metlili)

IV.7 Finalisation de la carte

La dernière étape de la réalisation de la carte de vulnérabilité aux inondations passe par l'utilisation d'un logiciel dessinateur. Pour avoir la carte finale, nous avons utilisé la carte de Plan de ville du Ghardaïa 1/5000 et le Plan de plateau du Metlili (AUTOCAD), puis en callant les levées topographiques sur les plans, au celle déjà obtenue

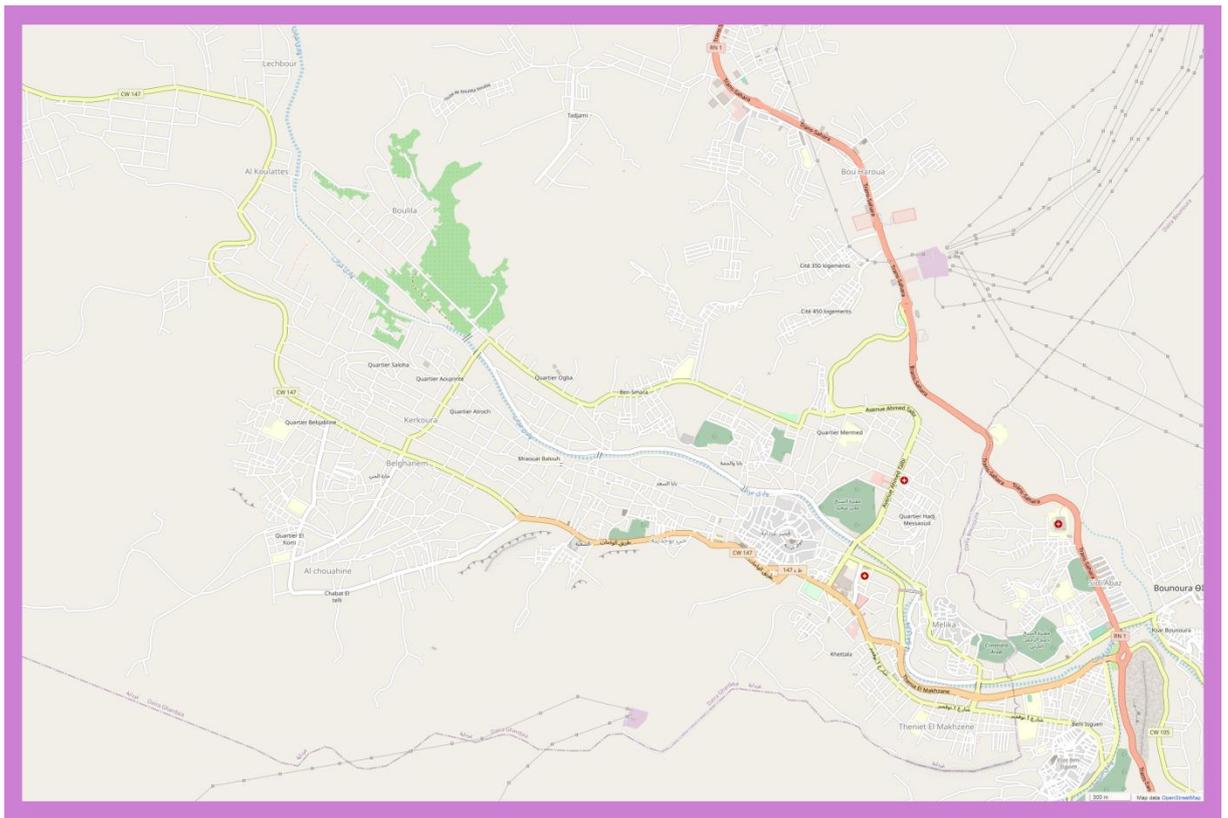


Figure IV.11: Extrait de la carte de plan du Ghardaïa avec les courbes de niveau (GLOBALE MAPPER)

Conclusion :

Améliorer les mesures de protection

Pour protéger efficacement la population de Ghardaïa contre les inondations, il est important d'améliorer les mesures de protection déjà en place et de continuer à explorer de nouvelles méthodes.

Soutenir le développement des infrastructures

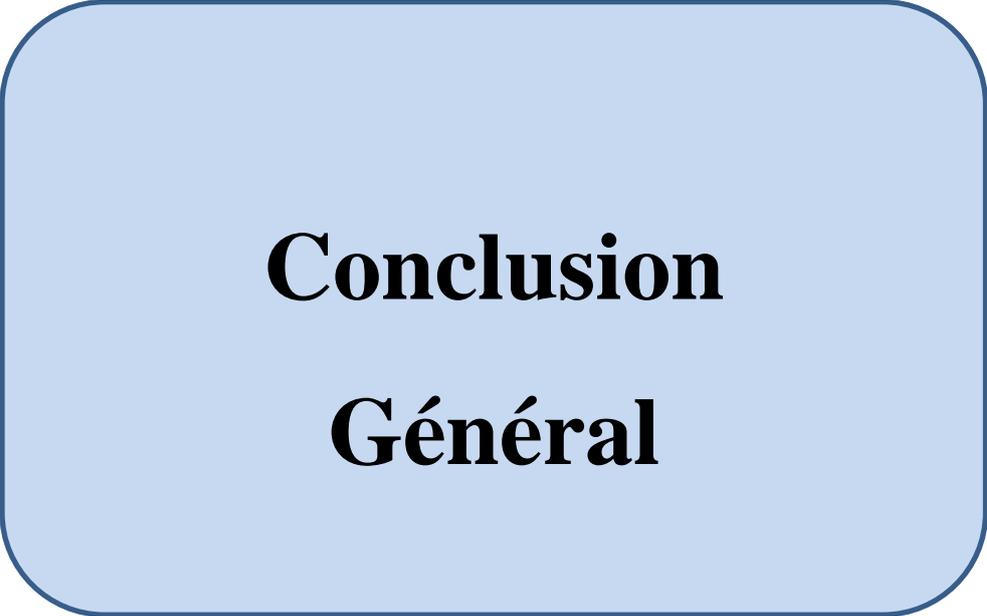
Le développement des infrastructures à Ghardaïa peut aider à réduire les risques d'inondations en améliorant la gestion des eaux de pluie et en protégeant les habitations et les infrastructures.

Soutenir le développement des infrastructures

Le développement des infrastructures à Ghardaïa peut aider à réduire les risques d'inondations en améliorant la gestion des eaux de pluie et en protégeant les habitations et les infrastructures.

Perspectives et développements futurs :

Les modèles hydrologiques continuent d'évoluer pour améliorer leur précision et leur résolution spatiale et temporelle. De nouvelles données telles que les données satellitaires et les données LiDAR peuvent également contribuer à améliorer les résultats des simulations de crues.



**Conclusion
Général**

Conclusion Général

A travers ce mémoire, nous avons essayé d'abord d'expliquer la notion du risque d'inondation en montrant qu'il est un concept binomial ; combinant en plus de l'aléa (le phénomène physique), la vulnérabilité qui est les conséquences dommageables de cet aléa sur les enjeux. Nous nous sommes efforcés tout d'abord de caractériser les principaux facteurs physico-géographiques agissant sur l'écoulement, phase primordiale pour la connaissance d'un système hydrologique.

L'aménagement du bassin versant de la ville de Ghardaïa n'était pas un but en lui-même, on s'est contracté à un exemple simple d'aménagement afin de concrétiser la méthodologie de l'impact des interventions sur la réduction de risque, et de présenter les résultats de façon simple permettant aux différents acteurs de l'utiliser pour comparer les différents projets susceptibles d'être réalisés, cette méthodologie peut aussi présenter un outil de conviction au profit des projeteurs pour convaincre les décideur.

L'aménagement hydraulique de l'oued Metlili est d'une grande importance pour la protection de la wilaya contre les inondations qui peuvent causer des ravages importants pour les populations et les infrastructures. Les travaux de protection peuvent également améliorer l'agriculture et permettre le développement économique de la région.

Une protection fiable passe certainement par une étude des causes d'inondation puis par une proposition des solutions convenables.

En discutant les modes de protection on s'est amené à la conjugaison de plusieurs mesures dans le but d'assurer le plus de sécurité.

- Au niveau du chevelu hydrographique :

L'oued Metlili draine un bassin versant qui a nécessité une étude morpho métrique Permettant de mettre au point tous les paramètres d'influence du bassin versant et sa réponse vis-à-vis des précipitations.

Ce bassin versant de forme ramassée ($KC = 2.39$) possède un relief fort ($I_g=0.025$), un temps de concentration moyen ($T_c=7.27$ h) induisant de forts débits instantanés. La valeur de la densité de

Conclusion Général

drainage ($Dd = 0.42$) témoigne de fortes capacités de drainage de l'oued Metlili avec un caractère torrentiel des écoulements.

- Au niveau des zones drainantes des eaux pluviales :

Pour cette zone les intensités de précipitations ont fait l'objet également d'analyse par l'étude des averses de courtes durées et l'établissement des courbes durées – intensités – Fréquences. Toutes ces investigations multiples ont été consolidées par l'utilisation des différents documents topographiques permettant la projection des ouvrages de protection. le profil en long de l'oued a été analysé pour la définition de ses pentes et pour le choix des sections de contrôle.

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.

Bibliographie

- [1] **LEDOUX, Bruno.** « La gestion du risque inondation », 11 rue Lavoisier-Paris, Edition TEC et DOC, 2006.
- [2] : **ANDRE, Mui.** « Hydrologie général », Bucarest, édition HGA, 1998.
- [3] **BAHLOULI (2001)** : «Les risques majeurs et l'aménagement du territoire», Colloque international, 15 et 16 2004- Alger
- [4] **BARROCA Bruno (2006)** : « Risque et vulnérabilités territoriales : les Inondations en milieu urbain », Thèse de Doctorat de l'Université de Marne-La-Vallée.
- [5] **CHACHOUA, 2010**, Gestion de crue dans un bassin versant-Etude hydrologique, hydraulique et aménagement, Mémoire de Magister, Université de Tlemcen.
- [6] **BARTHÉLÉMY Jacques (2006)** : « Plan de prévention des risques d'inondation; notice de présentation »,
- [7] **Giard, O et Geudreau, N.** Inondabilité : une méthode de prévention raisonnable du risque d'inondation pour une gestion mieux intégrée des bassins versant. Revue des sciences de l'eau, 429-444 P.3 (1998).
- [8]
- [9] **N'GAHANE, pierre.** « Service Interministériel de Défense et de Protection Civiles de la Préfecture des Alpes de Haute-Provence », Marseille, juillet 2009.
- [10] **BENMANSOUR Nadir (2009)** : « Etude de crues et localisation des zones inondables », Mémoire de Magister, Ecole Nationale Supérieure Agronomique El Harrach-Alger.
- [10] **GUETIBE F Toxicité comparaisse de Bacillus thuringiensis, et une huile essentillr de Citrus vis-à-vis des pucerons en culture sous serres, Mémoire De Master, université De Ghardaïa, Page 18, Annes 2014.**
- [11] (DPAT, 2021)

Bibliographie

[12] : Ouledmire, 2000

[13] ACHOUR M : étude hydrogéologique de la nappe phréatique de la vallée de metlili (ghardaïa), page 36, Annes 2003.

[14] OZENDA.P: Flore du Sahara. (3ème édition, mise à jour et augmentée). Paris, Editions du C.N.R.S, page 622, Annes 1991.

[15] : Dubief, 1959

[16] A.N.R.H, 2007. Inventaires et enquête sur les débits extrais de la wilaya de Ghardaïa .Ed. A.N.R.H, page 18, Annes 2007.

[17] ONM Ghardaïa, 2020.Données climatiques de la région de Ghardaïa. Ed. Office national de Météo, Ghardaïa, 3 p. OSS, (2003). "Système aquifère du Sahara septentrional - gestion commune d'un bassin transfrontière"

[18] HIMEX, 2014. Note de synthèse Etude de protection contre les crues des différents quartiers de Metlili.

[19] (DGPC), Direction Général de protection Civil, Algérie, 2007.

[20] BLIN Pierrick (2001) : « Développement d'une nouvelle méthode de cartographie du risque unitaire d'inondation (crue) pour des résidences », Thèse de Grande de Maître Université du Québec.

[21] TALATIZI.A ; Etude des infiltrations à travers une digue de barrage en terr, cas d'une le logiciel HEC-RAC, Mémoire de Magister, Université de M'silla.

[23] BENINA, 2004, Canada, Hydraulique et hydrologie 2ème édition.

[24] BARROCA B, 2005 Analyse et évaluation de la vunérabilité aux inondations du bassin de l'orage Aval, Septièmes Rencontres de Théo Quant, janvier

[24] BENMIA K, 2004, Evaluation de la performance des barrages de protection

[26] KERKAR.ME Protection de la ville de MEFTAH (Blida) contre les inondations

Bibliographie

par aménagement de l'oued KHADRA, Projet de fin d'étude, Ingéniorat, ENSH,

Blida, Algérie 2011.