

Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL ET HYDRAULIQUE



MEMOIRE

Pour obtenir le Diplôme de Master

Option: hydraulique

Spécialité : ressource hydrique

Thème:

**Analyse et cartographie du risque
d'inondation dans la ville de Ghardaïa**

présenté par:

1) ...ZINAI OUALID

2) ...NESRAT DEYA EDDINE

Soutenu publiquement le :02/06/2018

Devant le jury composé de:

BENLARBI . D	MAB	U.K.M.O	Présidente
EL FERGOUGUI . M	MAB	U.K.M.O	Examinatrice
DERDOUS . Oussama	MAB	U.K.M.O	Encadreur

l'Année universitaire: 2017/2018

Dédicaces

J'ai le grand honneur de dédier ce travail à :

Ma très chère mère

Mon très cher père

Mes chères grands-mères

Mes très chères soeurs

Toute ma famille

A tous mes camarades de groupe :

Ressource hydrique

A tous mes amis que j'ai connus dans ma vie mohammed ali, abd el

adime et ...

Zinai Oualid



Dédicaces

J'ai le grand honneur de dédier ce travail à :

Ma très chère mère

Mon très cher père

Mes chères grands-mères

Mes très chères soeurs

A tous les membres de ma famille, petits et grands

A tous mes amis de proches

A tous mes camarades de groupe :

Ressource hydrique

A tous les enseignantes de Génie électrique

Nesrat deya Eddine



Remerciements

Nous remercions, en premier lieu, ^{الله} le tout puissant de nous avoir
donnés La volonté et la patience pour mener à bien ce modeste
travail.

Nous tenons aussi à exprimer notre profonde gratitude à notre encadreur
Mr. Derqous Oussama pour le temps qu'il nous a consacrés et
l'aide qui nous a apportés malgré ses occupations.

Je tiens à remercier Mme. Benlarbi pour l'honneur qu'il m'a fait
en acceptant de présider le jury de cette thèse.

Je présente également ma profonde reconnaissance à Mme.

El fergouqui qui a accepté d'examiner mon travail.

Nous adressons nos chaleureux remerciements à l'ensemble des
enseignants du département génie électrique qui ont contribué à notre
formation.

Enfin, tous nos remerciements vont à nos familles.

Oualid et deya Eddine



Liste des figures

CHAPITRE I: Généralités sur les inondations

Figures I.1: Images d'inondations de plaines.....	1
Figures I.2: Remontées de nappe à Ouargla.	2
Figures I.3: Images présentant les crues torrentielles	2
Figures I.4: Inondation induite par une rupture de barrage.....	3
Figures I.5: Ruissellement pluvial dans une zone urbaine.....	3
Figures I.6: Des images impressionnantes de submersions marines	4
Figures I.7: Les inondations en Algérie entre (1988 à 2008)	5
Figures I.8: Photos des inondations de Ghardaïa	6

CHAPITRE II: Présentation la zone d'étude

Figure II.1: photo de la ville de Ghardaïa	8
Figure II.2: Schéma de localisation de la wilaya de Ghardaïa.....	9
Figure II.3: photo de réseau hydrographique de Ghardaïa.....	10
Figure II.4: Carte d'occupation dans la vallée du M'Zab	11
Figure II.5: moyenne mensuelle de température de c° 1997-2017	12
Figure II.6: Evaporation mensuelle en mm 1997-2017	13
Figure II.7: Moyenne Mensuelle de précipitations 1997-2017.....	13
Figure II.8: Diagramme ombro-thermique de la région de Ghardaïa	14
Figure II.9: Emplacement des ouvrages de protection de la ville de Ghardaïa	15
Figure II.10: photo du Barrage El Haimeur	16
Figure II.11: Photo du Barrage Bou Brik.....	17
Figure II.12: Photo du Barrage El Abiod.....	18

CHAPITRE III: Etude hydrologique

Figure III.1: Interface de logicielle de WMS	19
Figure III.2: choix de la projection	20
Figure III.3: modèle numérique de terrain des BV	21
Figure III.4: génération du réseau hydrographique.....	21

Figure III.5: définition des exutoires	22
Figure III.6: Limites des bassins versants	22
Figure III.7: Caractéristiques des bassins versants	23
Figure III.8:Fréquence des lames précipitées annuelles maximales ajustées Station de Ghardaïa (Période d'observation: 1990 – 2015)	26
Figure III.9: Représentation des courbes Intensités-Durées-Fréquences (IDF).....	28
Figure III.10: Représentation des courbes IDF avec la formule de Montana	29
figure III.11: les courbes Représentation Hauteurs-Durées-Fréquences HDF	31
Figure III.12: Fenêtre de saisie entrées de modèle (SCS Curve Nember)	32
Figure III.13: choix de la méthode SCS pour le calcul de ruissèlement directe	33
Figure III.14: Fenêtres des saisie les entrées de modèle SCS (Hydro-gramme Unitaire) des ouvrage d'El Haimeur, Bou brique et El Abiod par ordre.....	33
Figure III.15:choix des paramètres et de saisis la sériee pluviométrique	34
figure III.16:courbe de crue du bassin El Haimeur	34
figure III.17:courbe de crue du bassin Bou brique	40
figure III.18: courbe de crue du bassin El Abiod	42
CHAPITRE IV: Simulation des inondations	
Figure IV.1: Volume de contrôle élémentaire pour la dérivation de l'équation de continuité et de moment.....	48
Figure IV.2: Illustration des membres reliés à la définition des forces de la pression	50
Figure IV.3: modélisation hydraulique avec HEC-RAS.....	55
Figure IV.4: Image montrant la forme de la vallée avant la construction des barrages.....	56
Figure IV.5: Image montrant la forme de la vallée après la construction de barrages.....	57

liste des tableaux

CHAPITRE II: Présentation la zone d'étude

Tableau II.1: les caractéristiques de ouvrage El Haimeur.	15
Tableau II.2: les caractéristiques de ouvrage Bou BriK.....	16
Tableau II.3: les caractéristiques de ouvrage El Abiod.	17

CHAPITRE III: Etude hydrologique

Tableau III.1: Les différents paramètres des bassins versants	24
Tableau III.2:Tableau résumé les résultats du temps de concentration de différentes façons:	26
Tableau III.3:résultats du Test de Kolmogorov-Smirnov	27
Tableau III.4:Paramètres caractéristique de la pluie de projet avec des périodes de retour.	28
Tableau III.5: Estimation des lames précipitées	30
Tableau III.6: présentation les simulation hydrologique du bassin El Haimeur	35
Tableau III.7: présentation les simulation hydrologique du bassin Bou brique	40
Tableau III.8: présentation les simulation hydrologique du bassin El Abiod	42

Abréviations:

n

HEC-RAS: Hydrologique Engineering Centres River Analysais System (Système d'analyse des rivières du centre d'ingénierie hydrologique)

ONM: Office National de la Métrologie

nAGEP: Agence nationale de l'Eau Potable et Industrielle et de l'Assainissement

ANRH: agence nationale de ressource hydrique

WMS: Water shed Modeling System

nMNT: modèle numérique de terrain

BV: bassin versant

IDF: Intensités-Durées-Fréquences

HDF: Hauteurs-Durées-Fréquences

SOMMAIRE

Liste des figures

liste des tableaux

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I : Généralités sur les inondations

Introduction:.....	1
I.1.Définition des inondations:.....	1
I.2.Types d'inondations:.....	1
I.2.1. Inondations de plaines:.....	1
I.2.2. Remontées de nappe:.....	2
I.2.3. Crues torrentielles:.....	2
I.2.4. Rupture de barrage:.....	3
I.2.5. Ruissellement pluvial:.....	3
I.2.6. Submersion marines:.....	4
I.3. Mesures de protection:.....	4
I.4. Les inondations en Algérie:.....	4
I.5.Inondation de Ghardaïa:.....	6
Conclusion:.....	6

CHAPITRE II: Présentation la zone d'étude

Introduction:.....	7
II.1.Situation géographique:.....	7
II.2.Géologie:.....	8
II.3.Réseau hydrographique:.....	9
II.4.Description et l'architecture de la vallée de M'Zab:.....	9
II.5.Les activités dans la vallée du M'Zab:.....	10
II.6. Occupation des sols:.....	10
II.7.Le climat:.....	11

II.7.2.Température:	11
II.7.3.Evaporation:	11
II.7.4.Précipitations:	12
II.7.5.Diagramme Ombro-Thermique:	12
II.8. Ouvrages de protection contre les crues de la vallée de l'oued M'Zab:	13
II.8.1. Les caractéristiques des ouvrages:	14
II.8.1.1.Barrage El Haimeur:	14
II.8.1.2.Barrage Bou Brik:	15
II.8.1.3.Barrage El Abiod:	16
Conclusion:	17

CHAPITRE III: Etude hydrologique

Introduction:	18
III.1. L'analyse des bassins versants:	18
III.2. Introduction à WMS (Watershed Modeling System):	18
III.3. Procédé de la délimitation:	19
III.3.1. Définir la Projection:	19
III.3.2. Ouvrir le modèle numérique de terrain (MNT) dans le programme:	19
III.3.3. génération du réseau hydrographique:	20
III.4. Définition des exutoires:	20
III.5. Caractéristiques des bassins versants de la zone d'étude:	21
III.6. Temps de concentration:	23
III.7. Étude fréquentielle des pluies maximales journalières:	24
III.7.1.Ajustement statistique:	24
III.7.2.Test d'adéquation:	25
III.7.3.La pluie de projet:	26
III.7.4. Étude fréquentielle des crues (modèle SCS)	29
III.8. Les résultats:	32
III.8.1. Bassin d'El Haimeur:	32
III.8.2.Bassin de Bou brik:	37

III.8.3.Bassin d'Abiod:	39
Conclusion:.....	44
CHAPITRE IV : Simulation des inondations	
Introduction:.....	45
IV.1. HEC-RAS:	45
IV.2. Equations fondamentales dans HEC-RAS	45
IV.2.1. Equation de continuité:	45
IV.2.2. Equation de moment:	47
IV.2.3. Force de la pression	47
IV.2.4. Force gravitationnelle	49
IV.2.5. Force de frottement.....	49
IV.2.6. L'équation de Chézy.....	50
IV.2.7. Flux du moment.....	50
IV.3. Construction modèle:.....	52
IV.4. Données géométriques et hydrauliques	52
IV.4.1.Conditions initiales	52
IV.4.2.Conditions aux limites	53
IV.4.3.Données de la rugosité.....	53
IV.5. Résultats de la simulation	53
IV.5.1. Résultats de la simulation avant la construction des ouvrages de protection	53
IV.5.2. Résultats de la simulation après construction des ouvrages du protection	54
Conclusion:	54

INTRODUCTION GENERAL

Avec les changements climatiques, les risques d'inondation ont considérablement augmenté, alors que leur prévision devient de plus en plus difficile. Il est donc obligatoire de réaliser des aménagements adaptés au climat et aux spécificités de chaque zone. La ville de Ghardaïa inscrit eau patrimoine national 1971, de l'Humanité par l'UNESCO depuis 1982a connu, depuis les années 70, un mouvement très fort et accéléré d'urbanisation sous l'effet de la croissance démographique et des activités économiques et industrielles. [1]

L'augmentation de la population incontrôlée a causé l'étroitesse de la vallée et aussi l'extension dans les zones inondables, ce qui a augmenté le risque d'inondations. [2]

Les rares crues qui ont traversé l'oued M'Zab qui traverse la ville au cours de son histoire ont eu des conséquences bénéfiques sur l'agriculture et sur l'écosystème, mais la crue exceptionnelle du 01 Octobre 2008 a eu en revanche des suites émouvantes en termes de pertes humaines et de dégâts matériels. [3]

Les autorités ont déployé, des efforts considérables visant à réduire les risques d'inondations dans la vallée du M'Zab, portant sur la réalisation de nombreux ouvrages hydrauliques, notamment des barrages des crues dans la partie amont du bassinnet dont la hauteur sur terrain naturel est respectivement de 15 m, 17 m et 9 m pour les sites d'El Abiod, El Haimeur et Bou Brik. [1]

Le but de ce mémoire est d'évaluer le risque d'inondation à la suite de ces mesures à travers une simulation hydrologique en utilisant le modèle HEC-HMS et une simulation hydraulique d'une éventuelle crue en utilisant le modèle HEC-RAS.

CHAPITRE I :**Introduction:**

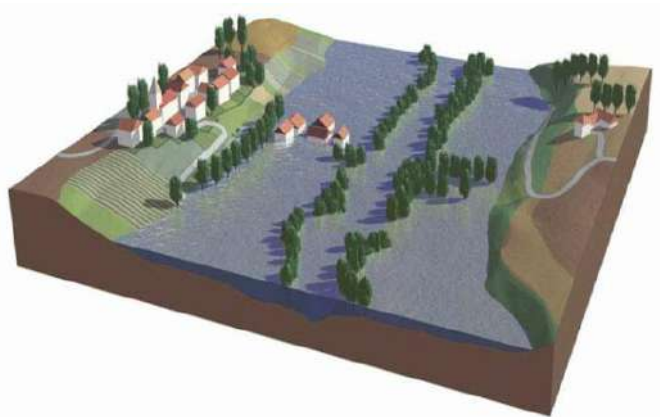
Les phénomènes et les catastrophes naturelles sont divers et se produisent dans de nombreuses parties du monde et pouvant engendrer des conséquences catastrophiques en termes de perte de vies humaines et économiques. [4]

I.1.Définition des inondations:

L'inondation est une submersion temporaire par l'eau de terres qui ne sont pas submergées en temps normal, quelle qu'en soit l'origine. C'est la catastrophe la plus fréquente, la moitié des catastrophes naturelles mondiales sont des inondations. [5]

I.2.Types d'inondations:**I.2.1. Inondations de plaines:**

Les inondations de plaine se produisent à la suite d'événements pluvieux océaniques prolongés mais d'intensités modérée, tombant sur des bassins versants moyens à grands (supérieur à 500 km²) où le ruissellement est long à déclencher. Le cours d'eau sort lentement de son lit mineur pour occuper le lit majeur et inonder la plaine. Ce type d'inondation peut durer plusieurs semaines [5]



Figures I.1:Images d'inondations de plaines

I.2.2. Remontées de nappe phréatique:

Ce phénomène se manifeste à la suite de l'affleurement sur surface d'une nappe phréatique et/ou par l'intrusion dans les différents réseaux d'assainissement. Phénomène qui est difficile à prévoir,

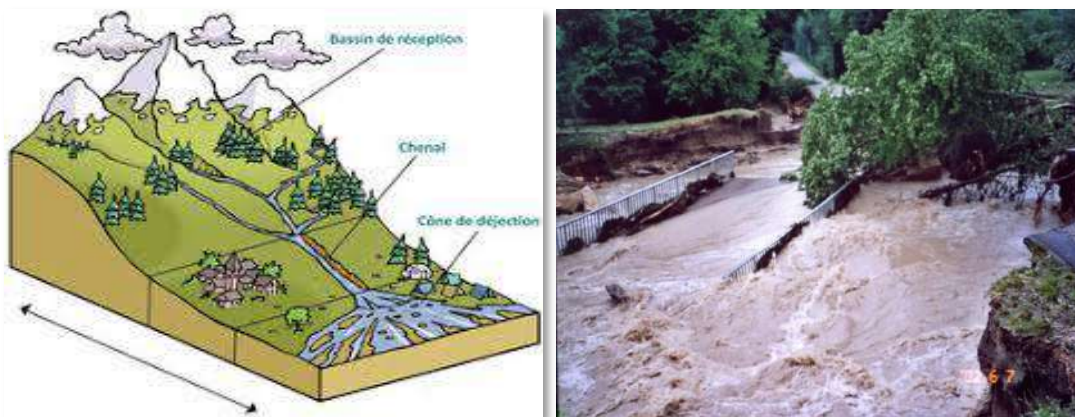
peut provoquer des remontées sous bâtisses, l'ennoyage des ouvrages souterrains, la déstabilisation des remblais, des glissements de terrain... etc. [6]



Figures I.2: Remontées de nappe phréatique à Ouargla.

I.2.3. Crues torrentielles:

Les crues torrentielles sont des phénomènes soudains et violents causés par des pluies intenses et tombant sur des bassins versants à forte pente. Ce type d'inondation est caractérisé par une montée rapide des eaux donc des débits et des vitesses importants, une durée de submersion courte, et le potentiel de causer des dommages majeurs dus à la violence du courant couplée avec les éléments solides transportés par les eaux. [7]



Figures I.3: Images présentant les crues torrentielles

I.2.4. Rupture de barrage:

La rupture de barrage correspond à une destruction partielle ou totale de l'ouvrage, elle entraîne la formation d'une onde de submersion se traduisant par une élévation brutale du niveau de l'eau à l'aval, voire un gigantesque torrent. L'eau envahit rapidement le val protégé, détruisant les constructions et creusant le sol derrière la brèche (Conditions d'écoulement à l'aval d'un barrage en cas de rupture de la digue-Application aux cas Algériens . [8]



Figures I.4:Inondation induite par une rupture de barrage

I.2.5. Ruissellement pluvial:

Le ruissellement urbain se manifeste lorsque le réseau d'évacuation pluvial est saturé et que l'eau reflue dans les rues. Le courant emporte des véhicules et divers objets qui forment des embâcles.

Les points bas sont submergés, l'eau boueuse envahit le rez-de-chaussée des bâtiments où elle provoque des dégâts et parfois des victimes. [7]



Figures I.5:Ruissellement pluvial dans une zone urbaine

I.2.6. Submersion marines:

Une submersion marine est une inondation temporaire et éventuellement épisodique de zone côtière, générée par la mer, avec de l'eau salée ou saumâtre, lors d'événements météorologiques (tempête, cyclone, forte dépression) ou océanographiques (houle, marée, tsunami) d'ampleur très inhabituelle. [7]



Figures I.6: Des images impressionnantes de submersions marines

I.3. Mesures de protection:

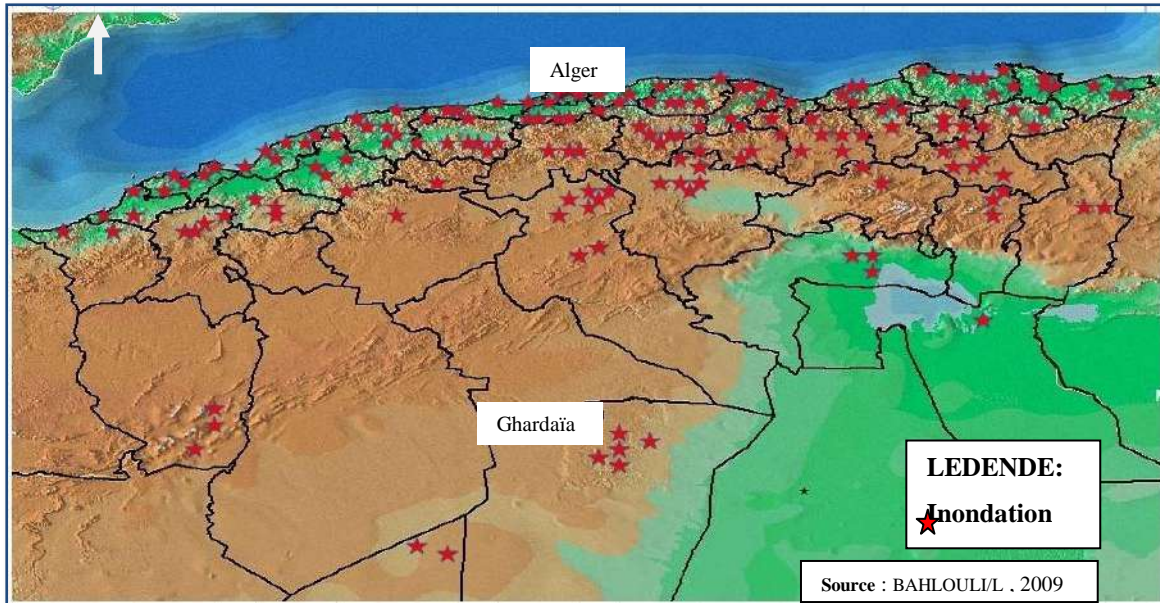
L'espace réservé au cours peut être agrandi, dans un objectif d'augmentation de la capacité hydraulique, bien sûr en tenant en compte les autres utilisations du sol. [9]

Parmi les solutions alternatives à un élargissement, le rehaussement des murs de rives ou l'approfondissement du lit du cours d'eau ne permettent souvent pas d'augmenter suffisamment la capacité hydraulique. Cela ne peut se faire que dans une proportion limitée, principalement pour des questions d'intégration paysagère. [9]

Les solutions de rétention des eaux ou de dérivation à l'amont de l'agglomération. Ces interventions ont l'inconvénient d'être très coûteuses. [9]

I.4. Les inondations en Algérie:

Les inondations qui ont eu lieu dans tout le pays ont montré qu'il n'y a pas de zones protégées contre ce danger et que ces événements sont imprévisibles dans le temps et dans l'espace. Parfois atteindre l'ampleur de la catastrophe nationale. [10]



Figures I .7:Les inondations en Algérie entre (1988 à 2008) [10]

Nous avons été en mesure d'obtenir des données pour certaines inondations [11] [12]:

- Le 20 octobre 1993 (ouest algérien) : 22 décès et 14 blessés à QUEDRHIOU (à Chleff) avec 1000mm
- En octobre 1994, des inondations ont eu lieu dans de nombreuses régions du pays, entraînant la mort de 60 personnes pendant 10 jours d'inondation.
- Le 22 octobre 2000 des inondations à l'ouest algérien, plus de 24 décès avec (1000-2000mm).
- les 10 et 11 novembre 2001: a Bab El Oued (Alger), de fortes pluies ont provoqué des inondations et la mort de 733 victimes et 30 000 sans-abris, des destructions et d'importantes pertes matérielles a pluie de 104 mm.
- Le 09 octobre 2008 dans la wilaya D'AÏN-DEFLA, les intempéries ont causé six décès et huit autres blessées parmi la population, suite à une inondation qui a surpris la région du pluie de 534 mm.
- Le 12 octobre 2008, la pluie est tombée de 20 heures 45 minutes à 23 heures et 35 minutes et des pluies ont été enregistrées à Khmis Miliana et à Sidi Lakhdar, où la boue et le gravier ont été inondés. Les inondations d'argile provenant des collines surplombant Khmis Miliana ont envahi la plupart des quartiers. Donc le rail en 250 et 350 mm.
- En octobre 2008, des inondations se sont produites à Batna (450 km au sud-est d'Alger), où les vallées inondables ont lavé deux personnes. et Bahar, une région typiquement désertique et

sèche à plus de 1 000 km au sud-ouest d'Alger, au moins huit personnes ont été tuées dans les inondations mercredi et jeudi 15 et 16 octobre 2008 à pluie de 900 mm.

I.5. Inondation de Ghardaïa:

1 et 2 octobre 2008: pluies exceptionnellement de 500 mm fortes de plus de 48 heures sur la région de Ghardaïa, causant la destruction du barrage qui protégeait la zone, entraînant l'inondation des divers cours d'eau de l'oued M'Zab provoquant des inondations qui causèrent au moins 34 morts. Des dizaines de blessés, des centaines de maisons et de routes détruites. Les pertes matérielles ont été estimées à 2500 millions de dinars, dont 2000 millions de dinars pour les infrastructures. [13]



Figures I.8:Photos des 'inondations de Ghardaïa [10]

Conclusion:

Dans cette section, nous avons présenté les types, causes et conséquences des inondations accompagnées d'images qui reflètent et reflètent les types d'inondations et leurs conséquences, quelques exemples des inondations qui ont eu lieu en Algérie et les inondations dans la zone d'étude (Ghardaïa).

CHAPITRE II:

Introduction:

La wilaya de Ghardaïa sous climat saharien ; territoire en pleine développement, a fait l'objet de ce mémoire, vu sa vulnérabilité aux inondations, son importance socio-économique tant cultural que touristique.

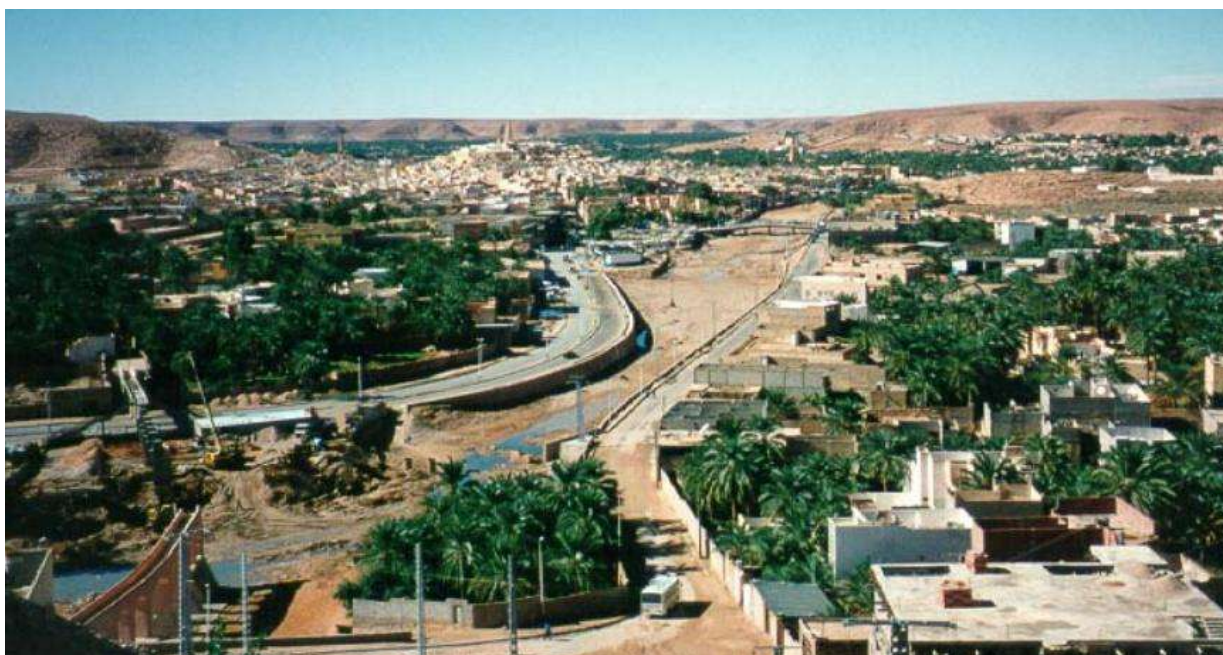


Figure II.1:photo de la ville de Ghardaïa [14]

II.1.Situation géographique:

La wilaya de Ghardaïa est située au centre de Sahara septentrional Algérien à 632 km au sud d'Alger, elle occupe une superficie totale de 86560km².

Géographiquement la wilaya de Ghardaïa Les est limitée:

- Au nord par la wilaya de Laghouat et Djelfa.
- A l'est par la wilaya de Ouargla.
- A l'ouest par la wilaya d'El-Bayad
- Au sud par wilaya de Tamanrasset et Adrar.

La wilaya de Ghardaïa est composée des daïras de Ghardaïa, Metlili et El-Meniaa superficies total de 84.660,12Km². Les communes de la wilaya sont ; Ghardaïa 306,47Km² El-Ménéa 23.920,68Km² Daya 2.234,94 Km² Berriane 2.609,80Km² Metlili 5.010,12Km² Guerrara 3.382,27Km² El-Atteuf 717,01Km² Zelfana 1.946,23Km² Sebseb 4.366,82Km² Bounoura 778,92Km² Hassi-El-F'hel 6.875,39 Km² Hassi-El-Gara 27.698,92Km² Mansoura 4.812,55Km². [15]



Figure II.2: Schéma de localisation de la wilaya de Ghardaïa. [NESRAT.D ; ZINAIO , 2018]

II.2.Géologie:

La géologie de Ghardaïa est située dans la formation calcaires massifs du turonien. Les principales formations lithologiques de la région d'étude sont:[14]

- Les argiles du céno manien.
- Les calcaires du turonien.
- Les alluvions grossières, souvent cimentées avec un aspect conglomératique.
- Les alluvions sablo-limoneuses

II.3. Description et l'architecture de la vallée de M'Zab:

La Vallée du M'Zab a été considérée comme patrimoine mondial de l'UNESCO depuis 1982. Les monuments et sites ayant permis le classement de la vallée du M'Zab au Patrimoine Mondial de l'Unesco sont les ksour, les maisons traditionnelles, les mosquées, les minarets, les aires de prières et mausolées, les remparts, les tours, les systèmes de partage des eaux, les barrages, les jardins de la palmeraie, et les puits traditionnels.

L'Unesco décrit le M'Zab en ces termes « Le paysage de la vallée du M'Zab, créé au X^{ème} siècle par les Ibadites autour de leurs cinq ksour, ou villages fortifiés, semble être resté intact. Simple, fonctionnelle et parfaitement adaptée à l'environnement, l'architecture du M'Zab a été conçue pour la vie en communauté, tout en respectant les structures familiales. C'est une source d'inspiration pour les urbanistes d'aujourd'hui. » .[16] .[17] .[18]

II.4. Réseau hydrographique:

La ville est parcourue par l'Oued M'ZAB, qui résulte de la confluence de trois affluents principales ; oued El Abiod d'une longueur de 64.225 km, oued El Haimour d'une longueur de 45.244 km, et oued Boubrik d'une longueur de 9.832 km.

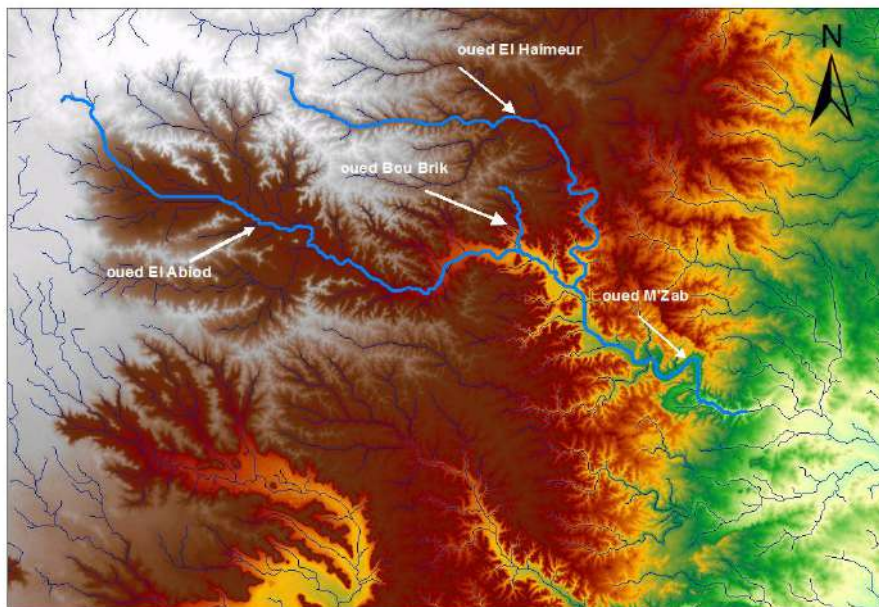


Figure II.3: photo de réseau hydrographique de Ghardaïa. [NESRAT.D ; ZINALO , 2018]

II.5. Les activités dans la vallée du M'Zab:

L'agriculture dans les oasis est l'activité principale des habitants de la Wilaya notamment la culture des palmiers dattiers. Et dans une moindre mesure la culture des arbres fruitiers et la culture des maraichères des fourrages en intercalaires.

Le système d'irrigation est fait par des techniques traditionnelles, rare sont ceux qui pratiquent des méthodes modernes tel que l'aspersion et la goutte à goutte.

D'autres activités s'ajoutent à la principale portant notamment sur le commerce, l'artisanat des tapis, ainsi que des petites et moyennes industries (verres, textiles, agroalimentaires, cosmétiques...etc) .[16] .[17] .[18]

II .6. Occupation des sols:

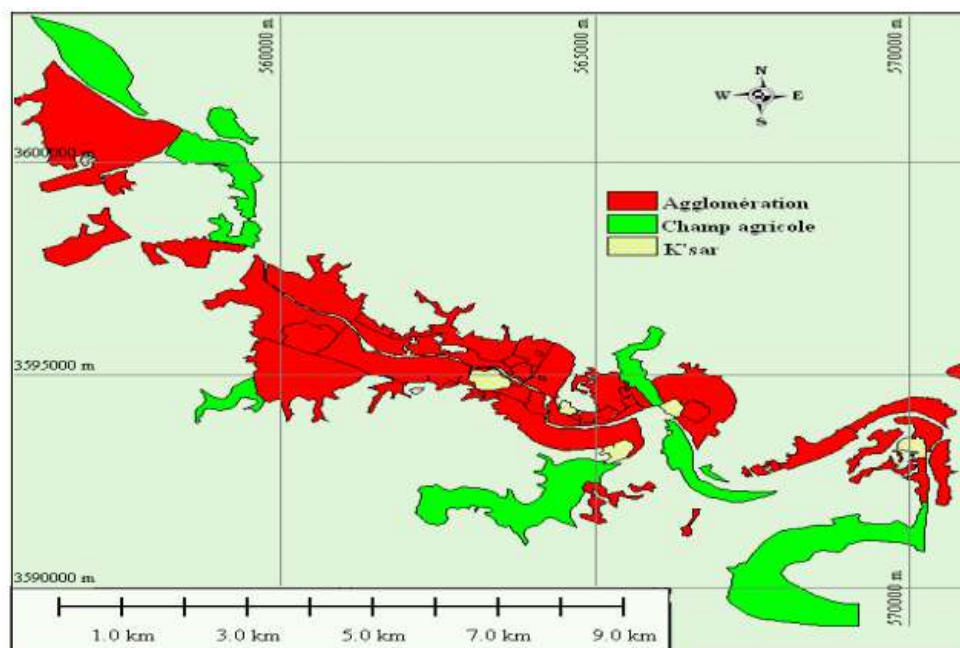


Figure II.4: Carte d'occupation des sols dans la vallée du M'Zab [16]

D'après la carte d'occupation des sols dans la vallée du M'Zab élaborée par Achour 2011 pour une surface totale de 3261.88 hectares; 67% est occupée par l'urbanisation, soit 2179.33 hectares, tandis que les zones agricoles ne représentent que 33% des surface totale, soit 1082.55 hectares.[16]

II.7.Le climat:

II.7.1.Température:

- Analyse des données:

D'après les températures moyennes mensuelles dans la région d'étude entre 1997 et 2017 montre que les valeurs moyennes dépassent les 25 °C pendant cinq mois dans l'année de Mai à Septembre, le mois de juillet est le plus chaud avec une moyenne de 32.4 °C, températures diminuent dans les mois suivants jusqu'à 11.4 °C en janvier.

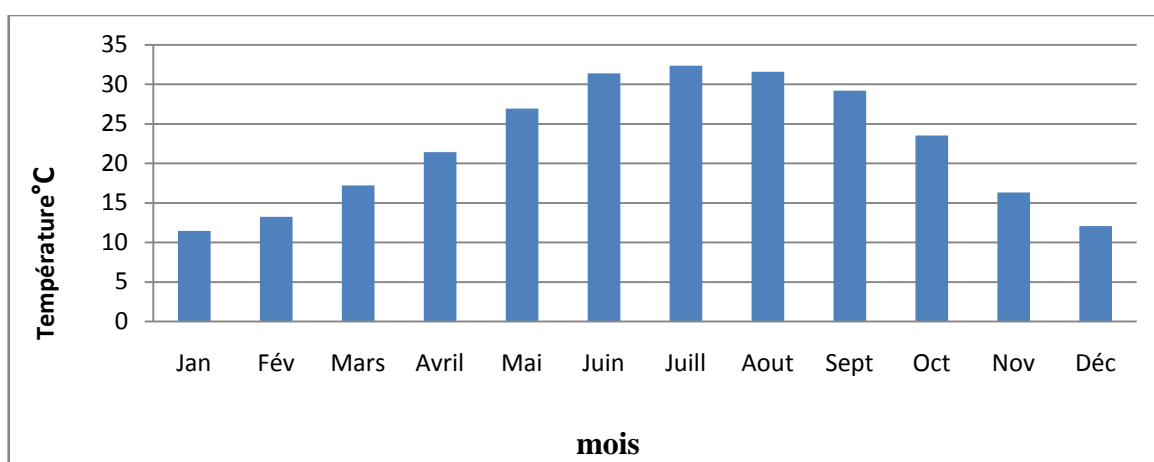


Figure II.5: Température moyenne mensuelle en c° 1997-2017[ONM]

II.7.2.Evaporation:

- Analyse des données:

Selon la figure II.6, on observe des valeurs d'évaporation très importantes dans la région. les valeurs les plus élevées dépassant les 350 mm sont enregistrées pendant les mois de juin, juillet et aout et coïncident avec la saison de hautes températures (saison d'été).

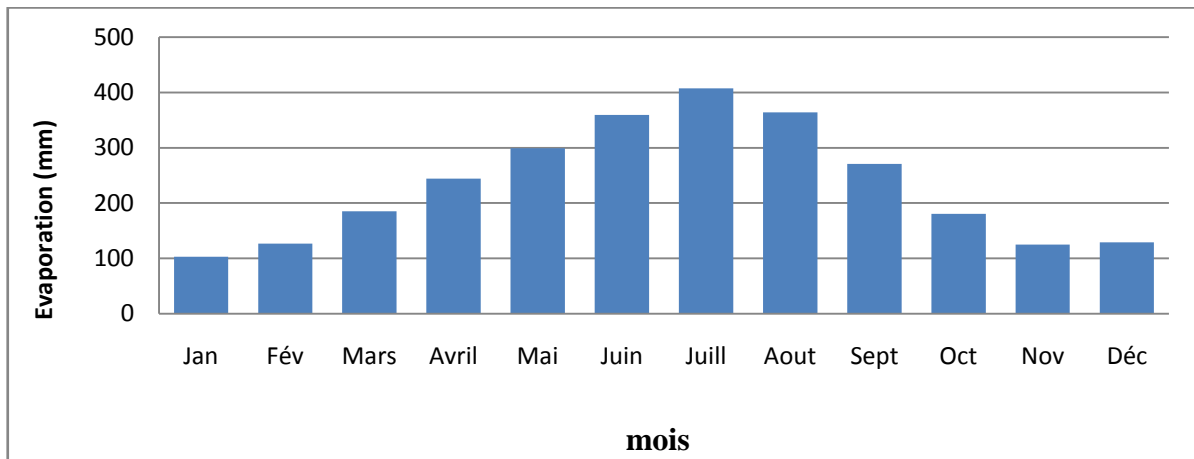


Figure II.6:Evaporation moyenne mensuelle en mm 1997-2017[ONM]

II .7.3.Précipitations:

- Analyse des données:

Les hauteurs de précipitation sont faibles et caractéristiques du climat de la région. La pluviométrie maximale est de l'ordre de 25.91 mm qui atteinte dans le mois de septembre, alors que la pluviométrie la plus faible est de l'ordre de 1.52 mm enregistrée en mois de mai.

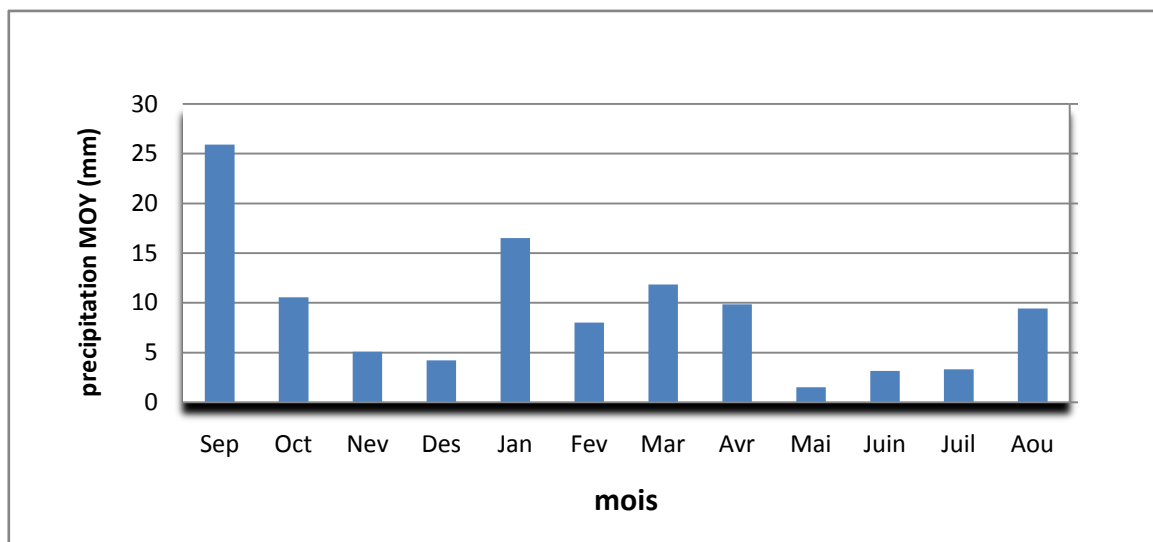


Figure II.7: Précipitations moyenne mensuelle de 1997-2017[ANRH]

II.7.4. Diagramme Ombrothermique:

Le diagramme Ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS est une méthode graphique qui permet de définir les périodes sèche et humide de l'année à partir de deux paramètres climatiques à savoir la température (T) et précipitation (P), avec $P=2T$.

- Analyse des résultats:

Le Diagramme Ombrothermique de la région de Ghardaïa montre que la période sèche s'étale pratiquement sur le long de l'année, et que le mois le plus humide est le mois de septembre.

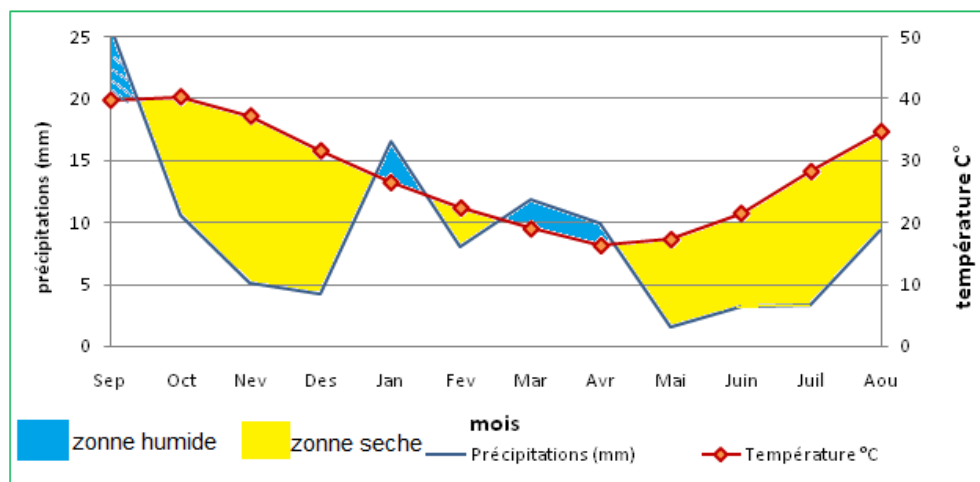


Figure II.8: Diagramme ombrothermique de la région de Ghardaïa

II.8. Ouvrages de protection contre les crues de la vallée de l'oued M'Zab:

Après la catastrophe de Octobre 2008, trois barrages de rétention temporaire (El Abiod, El Haimeur et Bou Brik) ont été construits à l'amont de la ville de Ghardaïa pour réduire les conséquences négatives des crues de l'oued M'Zab.

Ces trois barrages devront pouvoir écrêter une crue de fréquence centennale, en relâchant un débit maximum fixé, compatible avec les apports des bassins versants intermédiaires et les aménagements aval ; ce rôle devra être assuré pendant une période de 50 ans sans dévasement des retenues.

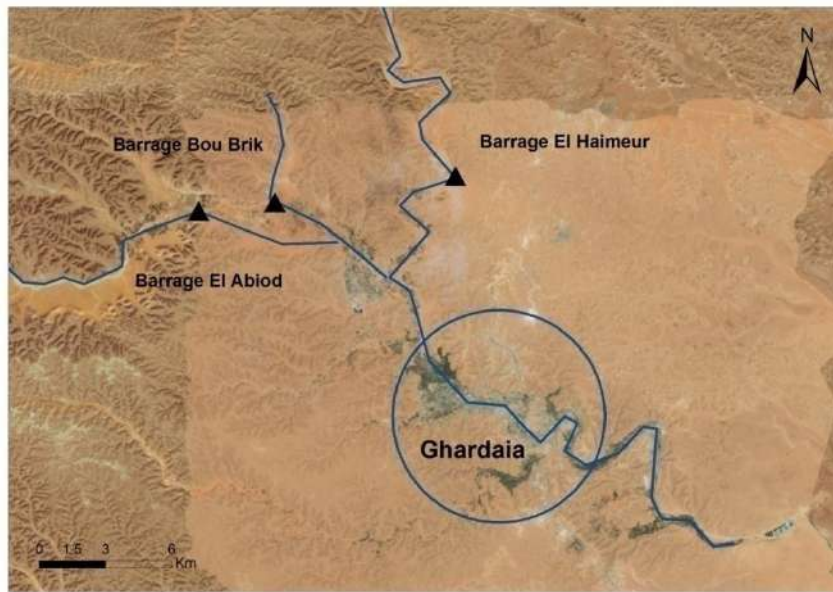


Figure II.9: Emplacement des barrages de la ville de Ghardaïa [NESRAT.D ; ZINALO ,2018]

II.8.1. Les caractéristiques des ouvrages:

II.8.1.1. Barrage El Haimeur:

Les caractéristiques principales de l'ouvrage sont présentées dans le tableau suivant:

Tableau II.1: les caractéristiques de ouvrage El Haimeur.[14]

Caractéristiques du barrage	
Coordonnée X (m)	561,138
Coordonnée Y (m)	3605,862
Coordonnée Z (m)	556.9
Volume de retenue (Hqm ³)	7,2
Largeur de déversoir (m)	100
Seuil du déversoir	555.76
Capacité de déversoir (m ³ /s)	20
Hauteur de barrage Hb (m)	16 m
Cote de fond Cf (m)	544
Type de barrage	Digue alluvions



Figure II.10: photo du Barrage El Haimeur

II.8.1.2. Barrage Bou Brik:

Les caractéristiques du barrage Bou Brik sont présentées dans le tableau suivant:

Tableau II.2: les caractéristiques de l'ouvrage Bou BriK.[14]

Caractéristiques du barrage	
Coordonnée X (m)	552,800
Coordonnée Y (m)	3604,600
Coordonnée Z (m)	554.4
Volume de retenue (Hqm ³)	1,2
Largeur de déversoir (m)	80
Seuil du déversoir	553.50
Capacité de déversoir (m ³ /s)	5
Hauteur de barrage Hb (m)	8 m
Cote de fond Cf (m)	548
Type de barrage	Digue alluvions à masque amont



Figure II.11:Photo du Barrage Bou Brik [NESRAT.D ; ZINALO ,2018]

II.8.1.3.Barrage El Abiod:

Les caractéristiques du barrage sont présentées dans le tableau suivant:

Tableau II.3: les caractéristiques de ouvrage El Abiod.[14]

Caractéristiques du barrage	
Coordonnée X (m)	549,533
Coordonnée Y (m)	3604,085
Coordonnée Z (m)	566.2
Volume de retenue (Hqm ³)	12,1
Largeur de déversoir (m)	125m
Seuil du déversoir	565.15
Capacité de déversoir (m ³ /s)	20
Hauteur de barrage Hb (m)	16
Cote de fond Cf (m)	554
Type de barrage	Digue alluvions



Figure II.12:Photo du Barrage El Abiod[NESRAT.D ; ZINAIO ,2018]

Conclusion:

Après la catastrophe d'octobre 2008, les autorités ont pris des mesures de protection contre les inondations: trois barrages provisoire ont été construites près de la ville de Ghardaïa afin de réduire les effets négatifs des inondations de oued M'Zab (El Abiod-El Haimeur-Bou brik).

Dans cette section, les caractéristiques de la zone d'étude ont été présentées à partir de l'emplacement géographique, de la géologie de la terre et du climat de la région, ainsi que des caractéristiques de la vallée et des caractéristiques des trois barrages.

CHAPITRE III:

Introduction:

L'hydrologie est l'étude du cycle de l'eau en termes de précipitations, de ruissèlement, d'infiltration et d'évaporation.

L'étude hydrologique est composée de trois principales phases, à savoir l'analyse des bassins versant, l'analyse fréquentielle des pluies journalières maximales et le calcul des débits de pointe pour chaque fréquence.

III.1. L'analyse des bassins versants:

La première étape de cette analyse est la délimitation des B.V qui a pour but la détermination des caractéristiques géométriques et topographiques. La délimitation des bassins versant en notre étude est effectuée avec le modèle WMS.[19]

III.2. Introduction à WMS (Watershed Modeling System):

WMS est un environnement complet pour l'analyse hydrologique. Il a été développé à l'origine par le laboratoire de recherche en modélisation environnementale de l'université Brigham Young en coopération avec le corps des ingénieurs de l'armée américaine, actuellement WMS est développé par Aquaveo LLC.[20]

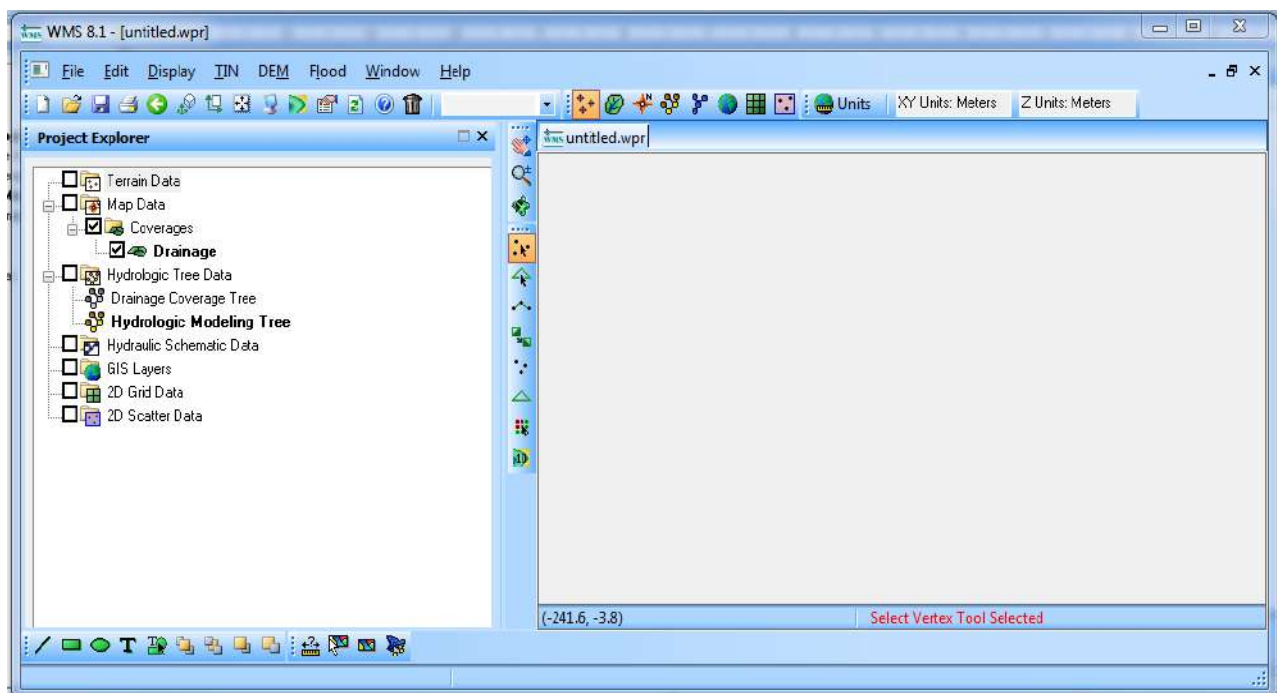


Figure III.1: Interface de logicielle de WMS[NESRAT.D;ZINALO ,2018]

WMS propose des outils de pointe pour effectuer la délimitation automatique des bassins et calculer leurs paramètres tels que la surface, la pente... etc. Il sert également d'interface graphique pour le montage de plusieurs modèles hydrauliques et hydrologiques. Le programme fournit également de nombreux outils d'affichage pour visualiser les surfaces du terrain et exporter des images pour les rapports et les présentations. WMS est aussi capable d'afficher et de superposer des données en coordonnées réelles.[20]

III.3. Procédé de la délimitation:

III.3.1. Définir la Projection:

Le système de coordonnées choisie dans notre étude est une projection Mercator -système Géodésique WGS84.

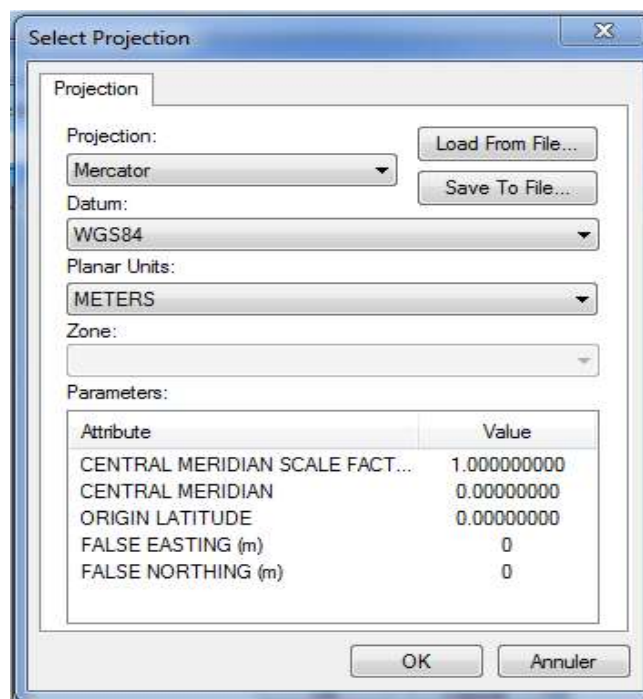


Figure III.2: choix de la projection [NESRAT.D ; ZINALO ,2018]

III.3.2. Ouvrir le modèle numérique de terrain (MNT) dans le programme:

Un modèle numérique de terrain (MNT), en anglais, (digital elevation model ou DEM) est une représentation de la topographie (altimétrie et/ou bathymétrie) d'une zone terrestre (ou d'une planète tellurique) sous une forme adaptée à son utilisation par un ordinateur numérique (ordinateur).[21]

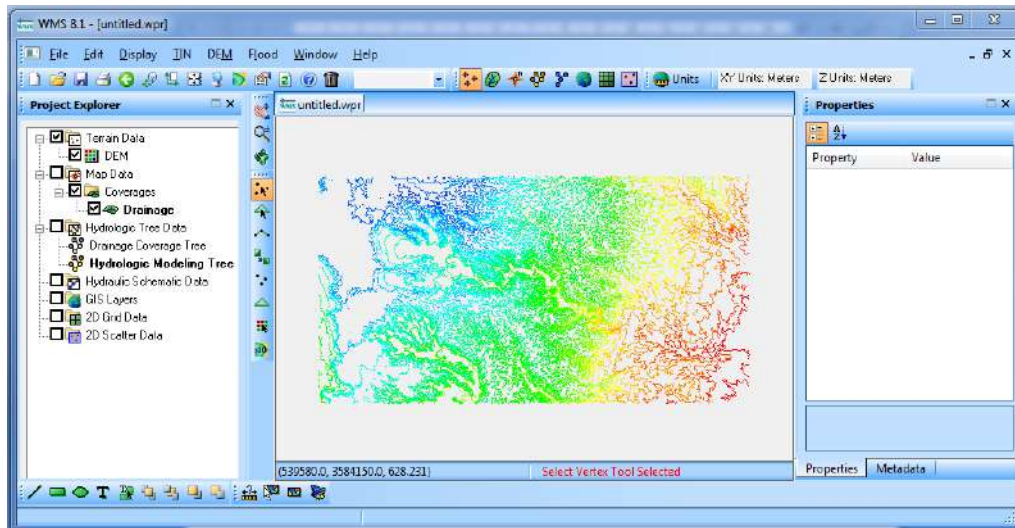



Figure III.3: modèle numérique de terrain des B.V [NESRAT.D ; ZINALO ,2018]

III.3.3. génération du réseau hydrographique:

Pour délimiter les bassins dans WMS, il faut d'abord générer le réseau hydrographique, pour ce faire, on passe au module de drainage  ensuite on sélectionne Computer TOPAZ Flow Data dans le volet DEM.[22]

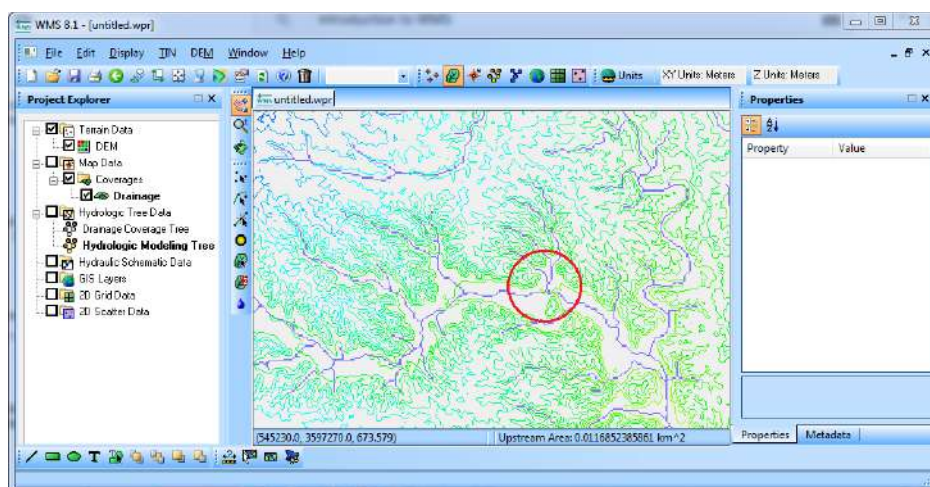


Figure III.4: génération du réseau hydrographique [NESRAT.D ; ZINALO ,2018]

III.4. Définition des exutoires:

La définition des exutoires des bassins versant peut être réalisée de deux façons soit manuellement ou bien en spécifiant les coordonnées des exutoires dans la fenêtre propriétés.

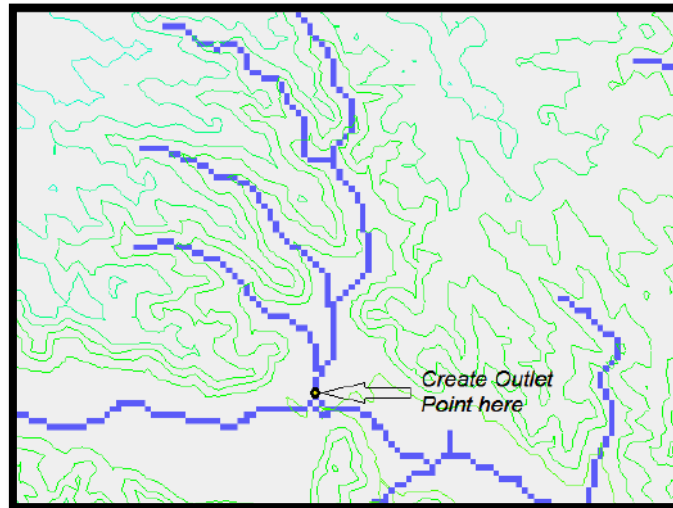


Figure III.5: définition des exutoires [NESRAT.D ; ZINA.I.O ,2018]

Lorsque vous sélectionnez Délimiter le bassin versant, WMS convertit le MNT en arcs, définit les limites du bassin et calcule les données relatives au bassins, notamment la superficie, la pente moyenne du bassin, l'altitude moyenne du bassin et le temps de concentration.

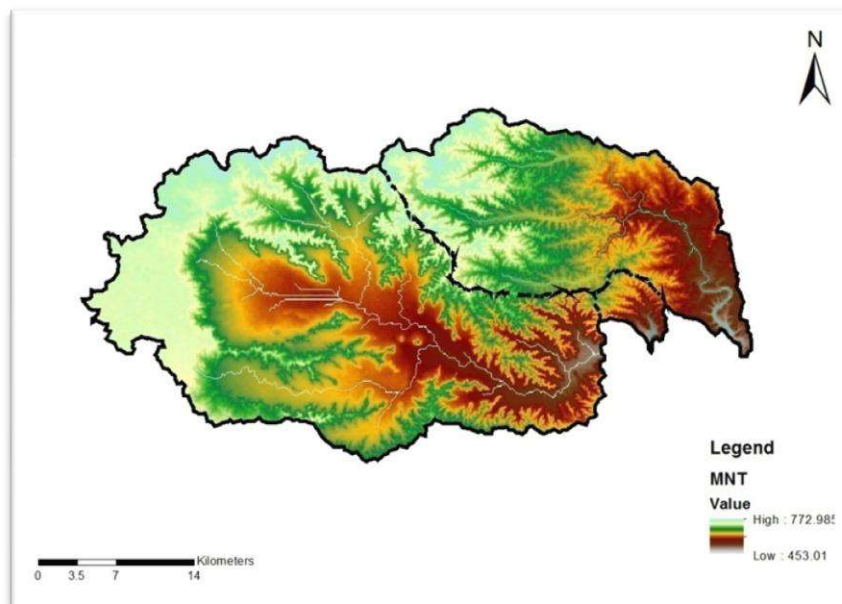


Figure III.6: Limites des bassins versants [NESRAT.D;ZINA.I.O ,2018]

III.5. Caractéristiques des bassins versants de la zone d'étude:

Après la délimitation des bassins versants, WMS calcule les paramètres physiques des bassins tel que montré dans la figure III.7.[19]

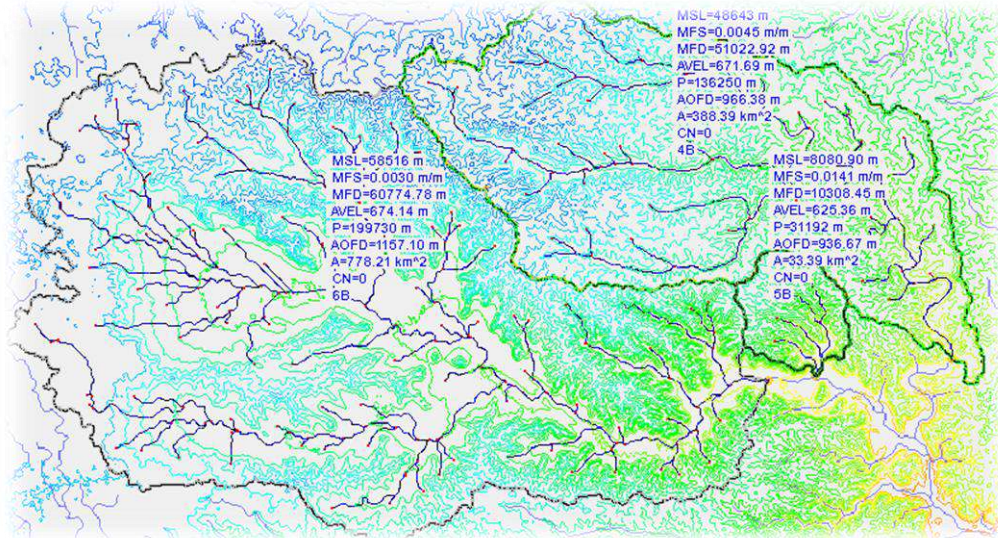


Figure III.7: Caractéristiques des B.V [NESRAT.D;ZINAI.O ,2018]

Les principales caractéristiques d'un bassin versant sont composées:

- La superficie, La pente, Le périmètre, La longueur
- Indice de pente Globale: Il sert à classifier le relief (faible, modéré, fort...) Il est calculé par la

formule suivante:

$$I_g = \frac{H5\% - H95\%}{L} \quad \text{(III.1)} \quad \text{Ou:}$$

I_g: indice de pente globale en m/km

H5%: Hauteur du bassin versant 5%

H95%: Hauteur du bassin versant 95%

Dénivelée spécifique D_s:

La différence de hauteur dépend des mesures (D = H5% -H95%), de la forme pelvienne (I/ L) et de la dilution qui est la composante critique de la réaction pelvienne.

$$D_s = I_g \times \sqrt{A} = \frac{D}{L} \times \sqrt{L \times I} = D \times \sqrt{\frac{I}{L}} \quad \text{(III.2)}$$

Indice de compacité de Gravelouse KG:

C'est un indice qui détermine la forme du bassin. Il est calculé par la formule est la suivante:

$$KG = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (\text{III.3}) \quad \text{Ou:}$$

KG: Indice de Gravelouse sans dimensions

P: Périmètre du bassin versant en Km

A: Superficie du bassin versant en Km²

Tableau III.1: Les différents paramètres des bassins versants

Caractéristiques des sous bassins	El Haimeur	Bou Brik	El Abiod
Surface (km2)	388.39	33.39	778.21
Pente moyenne	0.004	0.012	0.003
Périmètre (km)	136.250	31.192	199.730
Longueur (km)	45.244	9.832	64.225
Indice de pente global Ig	0.012	0.001	0.013
Dénivelée spécifique m	194.03	132.46	187.24
Indice de compacité de Gravelouse KG	1.9358	1.5114	2.0047

D'après la classification établie par l'Orstom sur la base des indices de pente globale les reliefs dans les bassins étudiés sont des reliefs très faibles à modérés. Les indices de compacité largement supérieurs à 1 indiquent que les bassins sont de forme étalée.

III.6. Temps de concentration:

Les paramètres des bassins versants nous permettent de calculer le temps de concentration. Le temps de concentration est défini comme étant le temps que met une particule d'eau provenant de point hydrauliquement le plus éloigné du bassin pour arriver à l'exutoire.

Pour sa détermination, on a utilisé les formules suivantes:

Formule de Kirpich:
$$T_c = \frac{1}{52 \left(\frac{L^{1.155}}{D^{0.385}} \right)} \quad (\text{III.4})$$

L (Km) ,D (m)

Formule de Sokolovski:
$$T_c = \frac{L}{3.6V} \quad \text{(III.5)}$$

L (km) , **V** (m/s).

Formule de Giandotti:
$$T_c = \frac{1,5L+4\sqrt{A}}{0,8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \quad \text{(III.6)}$$

L(Km) , **H_{moy}** et **H_{min}** (m)

Formule de L'FFA:
$$T_c = \frac{3.26 (1.1-C) \sqrt{L}}{I^{1/3}} \quad \text{(III.7)}$$

C: coefficient de ruissellement (méthode rationnelle)

L (m) , **I** (%)

Formule de SCS:
$$T_c = \frac{KL^{0.8} \left(\frac{1000}{CN} * 9 \right)^{0.7}}{\sqrt{SB}} \quad \text{(III.8)}$$

L (m) , **CN:** Paramètre SCS du ruissellement **SB** (%)

K= 0.1362 en Système international

Avec:

L: longueur de Thalweg principal (Km)

D: dénivelée (m)

V: la vitesse de ruissellement (m/s). Elle varie de 0.5 à 2.5 m/s selon la longueur du cours d'eau et le relief.

H_{moy}, H_{min}: altitudes (m)

S: superficie du bassin versant (Km²)

I: la pente représentative de la surface (%)

SB: pente représentative du bassin (%)

Tableau III.2:Tableau résumé les résultats du temps de concentration de différentes façons:

Bassin versant	Temps de concentration					
	Kirpich	Sokol.	Giandotti	FFA	SCS	Tc moy (h)
	Tc (h)	Tc (h)	Tc (h)	Tc (h) C=0,60	Tc (h) CN=0.6	
El haimeur	9.91	12.57	17.16	0.77	0.04	8.09
Boubrique	1.98	2.73	5.36	0.12	5.48	3.13
El abiod	15.04	17.84	24.77	0.49	48.58	21.34

III.7. Étude fréquentielle des pluies maximales journalières:

III.7.1.Ajustement statistique:

Les pluies journalières maximales de Ghardaïa ont fait l'objet d'un ajustement statistique par la méthode de Gumbel:

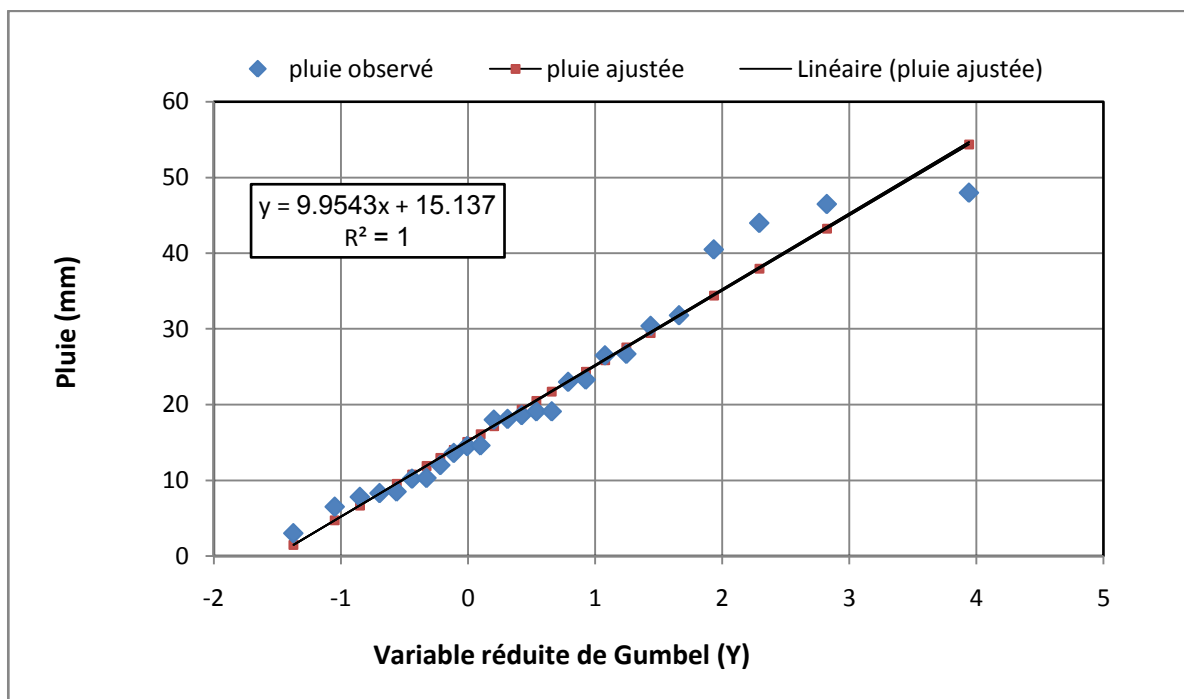


Figure III.8:Fréquence des lames précipitées annuelles maximales ajustées Station de Ghardaïa (Période d'observation: 1990 – 2015)

III.7.2. Test d'adéquation:

Afin de vérifier l'adéquation de la loi de distribution de probabilité de Gumbel employée pour l'ajustement des pluies journalières maximales, on a fait appel au test d'adéquation dit de KOLMOGOROV-SMIRNOV. Le test d'adéquation consiste à comparer avec un tableau les valeurs seuils, l'écart maximal entre la probabilité de non-dépassement empirique et la valeur calculée par la loi. Les résultats de ce test renvoyés par le logiciel STATGRAPHICS sont illustrés dans ce tableau :

Tableau III.3: résultats du Test de Kolmogorov-Smirnov

<i>Exponential (2-Parameter)</i>	
0.075554	DPLUS
0.166741	DMINUS
0.166741	DN
0.448126	P-Value

Puisque la plus faible P-value est supérieure ou égale à 0,05, nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse que la série des pluies journalières maximales s'ajuste à une distribution de Gumbel avec un niveau de confiance de 95%.

III.7.3. La pluie de projet:

Pour calculer les intensités Montana suggère une formulation très simple :

$$i = a.t^{-b} \quad \text{(III.9)}$$

Où:

i : intensité maximale de la pluie [mm/h].

t : durée de la pluie [minutes ou heures].

T : intervalle de récurrence (ou temps de retour) [années].

a, b : constantes locales d'ajustement.

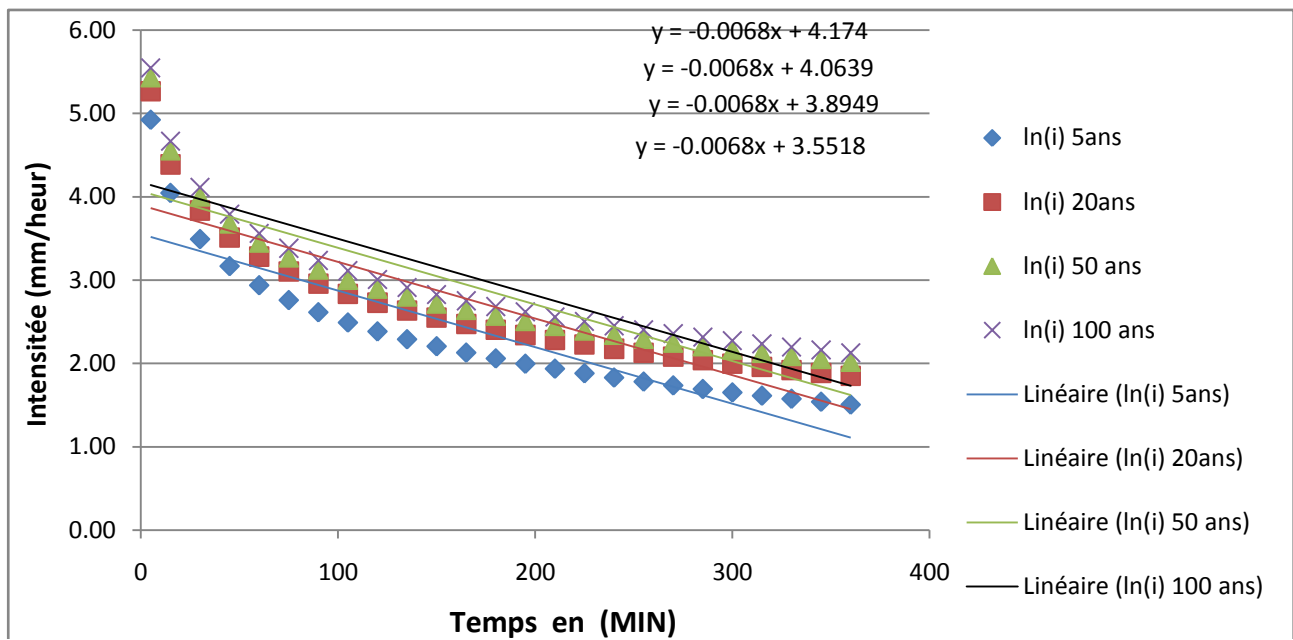


Figure III.9: Représentation des courbes Intensités-Durées-Fréquences (IDF)

Le calcul des paramètres de la droite de régression passant par les couples $(\ln(t), \ln(iT(t)))$. On peut utiliser la technique des moindres carrés pour l'estimation des paramètres « pente » (ou paramètre - b de Montana) et l'ordonnée à l'origine $\ln(a)$.

Tableau III.4: Paramètres caractéristique de la pluie de projet avec des périodes de retour.

période de retour (ans)	5	20	50	100	1000
pente de la droite (b)	2.937228814	3.280349807	3.449303323	3.559492512	3.85570549
ordonnée à l'origine $(\ln(a)) =$	-0.7988	-0.7988	-0.7988	-0.7988	-0.7988
b montana	0.798	0.798	0.798	0.798	0.798
a montana	18.86349954	26.58507071	31.47845435	35.14535679	47.26194799
Durée (h)	Intensités (mm/heure) (formule Montana)				
0.25	57.02511095	80.36772836	95.16062214	106.2458143	142.8747525
0.5	32.79776142	46.22317321	54.7312461	61.10684947	82.17383477
0.75	23.73140099	33.4455954	39.60176218	44.21494289	59.45833311
1	18.86349954	26.58507071	31.47845435	35.14535679	47.26194799
1.25	15.78658075	22.24864823	26.34384784	29.41262366	39.5528177
1.5	13.64901909	19.23609863	22.776793	25.43004518	34.19721928
1.75	12.06918385	17.00957478	20.14044383	22.4865896	30.23898817
2	10.8492653	15.29029566	18.10470543	20.2137095	27.18251782
2.25	9.875989428	13.91861975	16.48055186	18.40035945	24.7440035
2.5	9.079587931	12.79621985	15.1515573	16.91655128	22.74864278

2.75	8.414625191	11.85906174	14.0419011	15.67763203	21.08259802
3	7.850178004	11.06356415	13.09998017	14.62598741	19.66839206
3.25	7.364433481	10.37898532	12.28939427	13.72097694	18.45137332
3.5	6.941542171	9.782987992	11.58369463	12.93307086	17.39183148
3.75	6.569696609	9.258931438	10.96317756	12.2402702	16.46018327
4	6.239910962	8.794151574	10.41284794	11.62583309	15.63391494
4.25	5.945219583	8.37883144	9.921081868	11.07678154	14.89557429
4.5	5.680135289	8.005237734	9.4787226	10.58289216	14.23141332
4.75	5.440273897	7.667191655	9.078454037	10.1359966	13.6304476
5	5.222088196	7.359693978	8.714356769	9.729485901	13.08378969
5.25	5.022675744	7.078654178	8.381587351	9.357952414	12.5841676
5.5	4.839637571	6.820691292	8.076142502	9.016926515	12.1255708

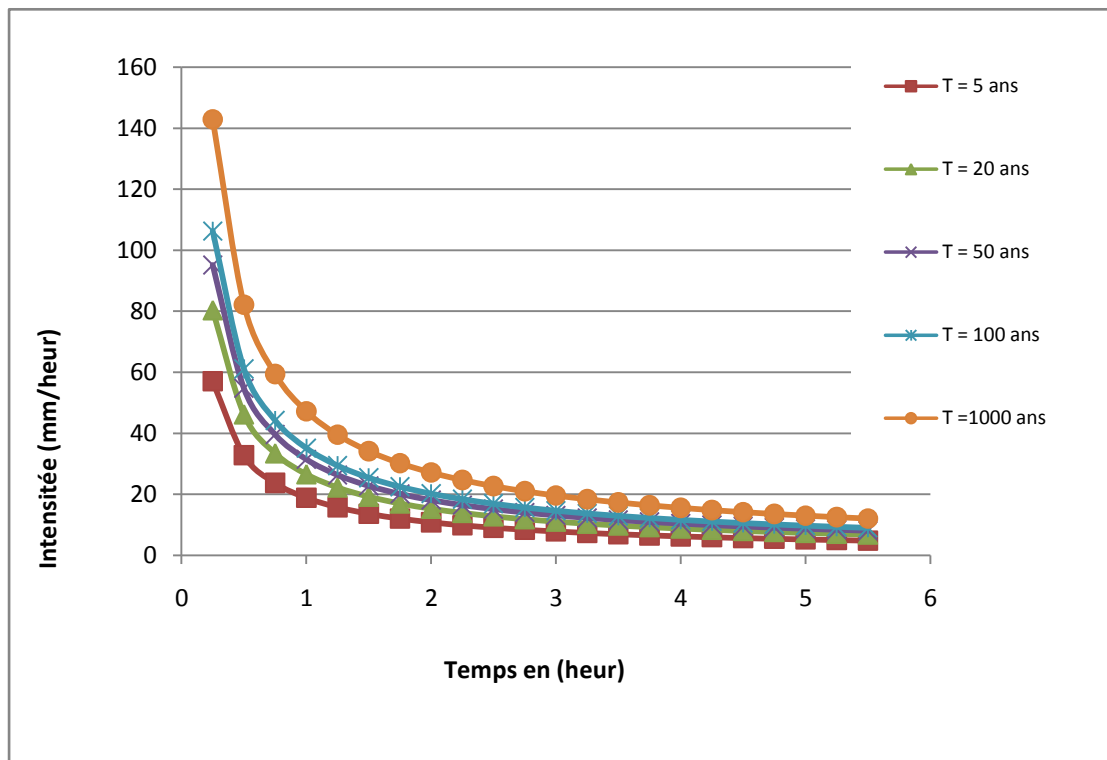


Figure III.10: Représentation des courbes IDF avec la formule de Montana

Tableau III.5: Estimation des lames précipitées

période de retour en(ans)	5	20	50	100
FND	0.800	0.950	0.980	0.990
Y	1.50	2.97	3.90	4.60
Pluie simulée (mm)	35.8	50.4	59.7	66.6
Durée (min)	Estimation Les hauteurs Précipitées(mm)			
5	11.44	16.13	19.09	21.32
15	14.27	20.11	23.82	26.59
30	16.41	23.12	27.38	30.57
45	17.80	25.09	29.71	33.17
60	18.86	26.59	31.48	35.15
75	19.73	27.81	32.92	36.76
90	20.47	28.84	34.15	38.13
105	21.11	29.75	35.23	39.33
120	21.69	30.56	36.19	40.41
135	22.21	31.30	37.06	41.37
150	22.68	31.97	37.85	42.26
165	23.12	32.59	38.58	43.08
180	23.53	33.16	39.27	43.84
195	23.91	33.70	39.90	44.55
210	24.27	34.21	40.50	45.22
225	24.61	34.68	41.07	45.85
240	24.93	35.14	41.61	46.45
255	25.24	35.57	42.12	47.02
270	25.53	35.98	42.60	47.57
285	25.81	36.37	43.07	48.09
300	26.08	36.75	43.52	48.58
315	26.33	37.11	43.94	49.06
330	26.58	37.46	44.36	49.53
345	26.82	37.80	44.76	49.97
360	27.05	38.12	45.14	50.40

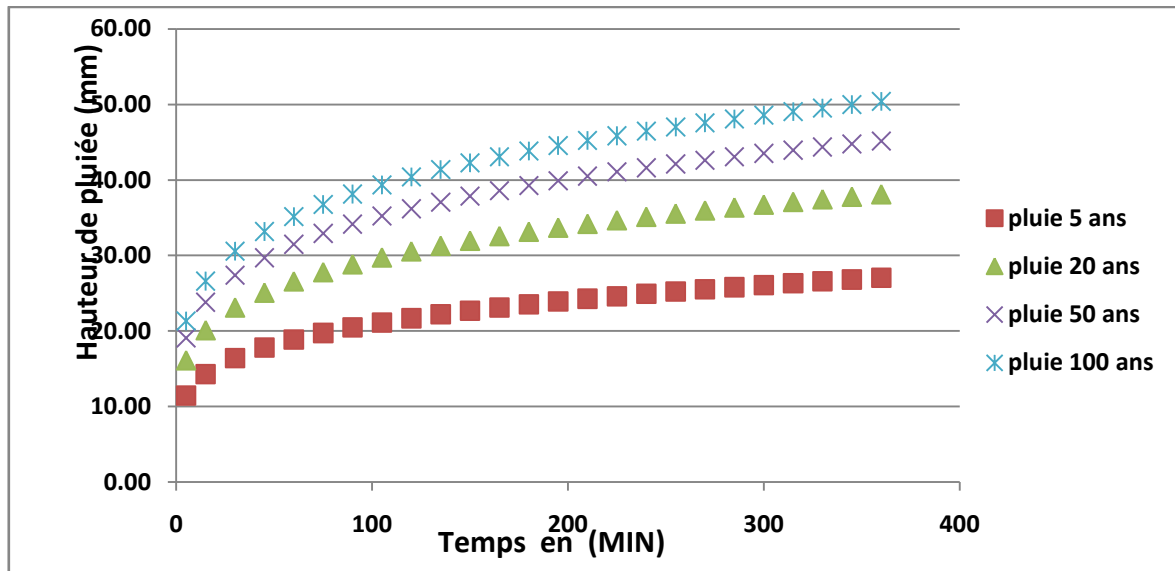


figure III.11: Représentation des courbes Hauteurs-Durées-Fréquences HDF

III.7.4. Étude fréquentielle des crues:

- Méthode SCS:

La méthode du SCS-CN est utilisée pour estimer le volume de ruissellement à l'exutoire d'un bassin versant. Le SCS-CN est un modèle conceptuel développé dans les années 1950 qui repose sur une caractérisation empirique de la relation pluie-débit. Les seules données nécessaires sont le type de sol et l'occupation du sol. Cette méthode est intégrée dans de nombreux modèles hydrologiques et d'érosion tels que SWAT, HEC-HMS, AFFDEF. La méthode du SCS-CN est basée sur des données de pluies et de ruissellement mesurées sur plus d'une centaine de bassins versants aux Etats-Unis. La méthode est applicable sur des bassins versants allant de 0.25 ha à 100 km². Le volume de ruissellement est calculé à partir de la pluie cumulée depuis le début de l'épisode de pluie, l'absorption initiale et l'absorption potentielle au sein du bassin versant [23] :

$$\sum Pe = \frac{(\sum P - I_a)^2}{\sum P - I_a + S} \quad \text{(III.10)} \quad \text{Ou:}$$

$\sum Pe$: Pluie efficace cumulée (Inch);

$\sum P$: Pluie précipitée cumulée (Inch);

I_a : Absorption initial (Inch);

S : absorption potential (Inch).

Le paramètre I_a correspond à la perte en eau initiale via les phénomènes d'interception, d'infiltration et de stockage de surface (micro-dépression). Celui-ci est obtenu directement à partir de l'absorption potentielle et d'un paramètre empirique ajusté par défaut à 0.2 (SCS, 1971).

S désigne la capacité maximale d'infiltration du sol (Inch) et est directement relié au Curve Number :

$$I_a = 0.2 \times S \tag{III.11}$$

avec:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \tag{III.12}$$

Où:

CN: Curve Number (sans unité): Ce dernier varie entre 0 et 100.

Plus le Curve Number est élevé, plus le ruissellement est important. Il est déterminé par croisement de l'occupation du sol et des caractéristiques pédologiques du sol (groupe hydrologique des sols) selon des tables établies par l'USDA (United States Département of Agriculture, 1986). Tous les sols sont classés selon leur capacité à drainer l'eau verticalement. Les classes évoluent de A à D, du plus drainant au plus imperméable.

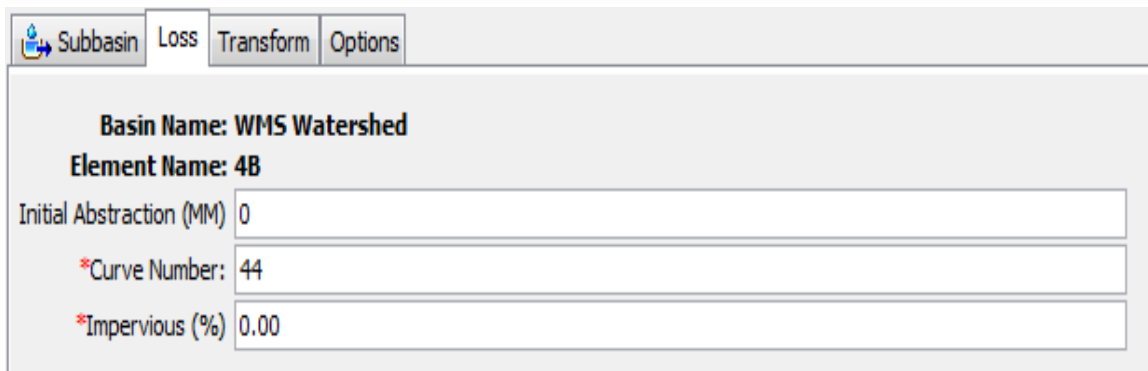


Figure III.12: Fenêtre de saisie des entrées du modèle SCS [NESRAT.D ; ZINA.I.O ,2018]

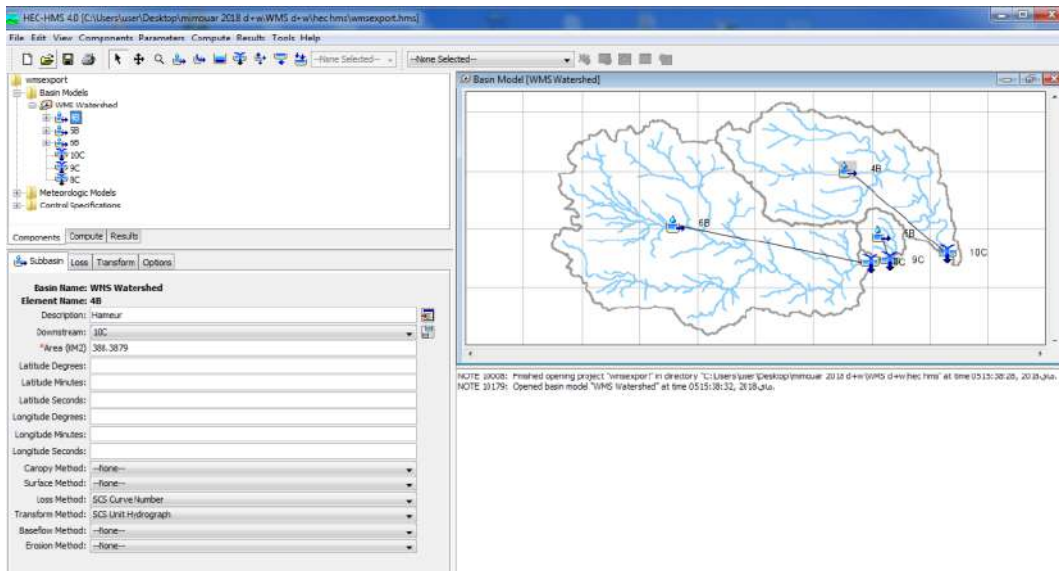


Figure III.13: choix de la méthode SCS pour le calcul du ruissèlement direct [NESRAT.D ; ZINALO ,2018]

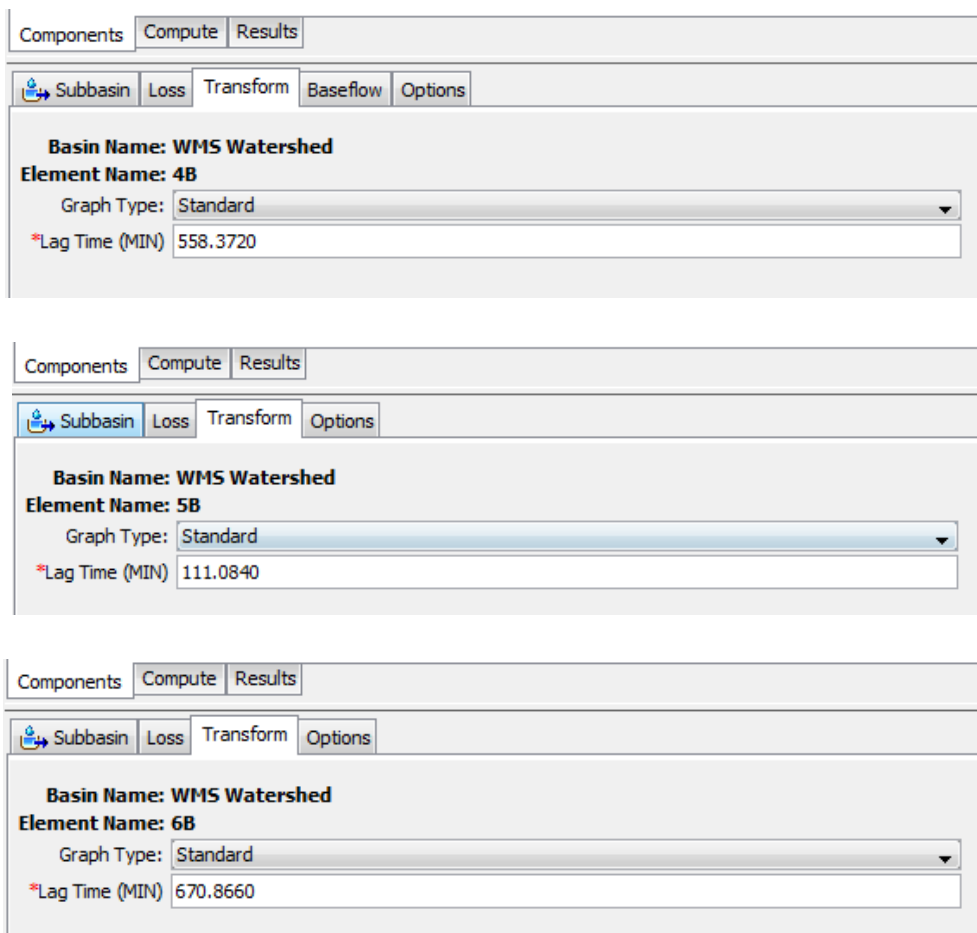


Figure III.14: Fenêtres des saisie des entrées du modèle SCS (Hydro-gramme Unitaire)des ouvrage d'El Haimeur, Bou BriK et El Abiod par ordre. [NESRAT.D ; ZINALO ,2018]

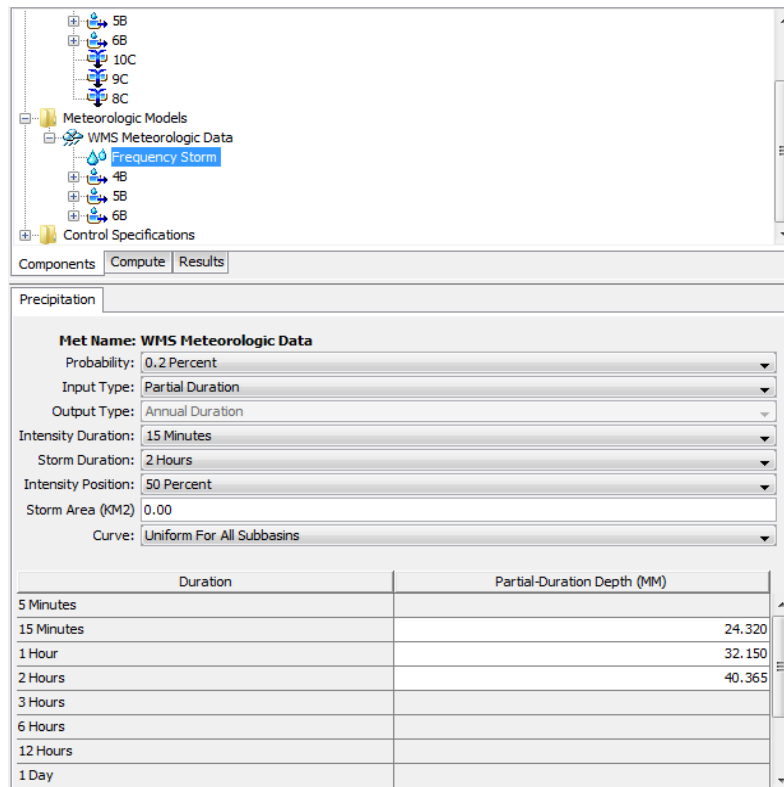


Figure III.15: Choix des paramètres des données pluviométriques [NESRAT.D ; ZINAIO ,2018]

III.8. Les résultats:

III.8.1. Bassin El Haimeur:

Le débit de pointe de la crue centennale à l'exutoire du bassin versant EL Haimeur est 23.1m³

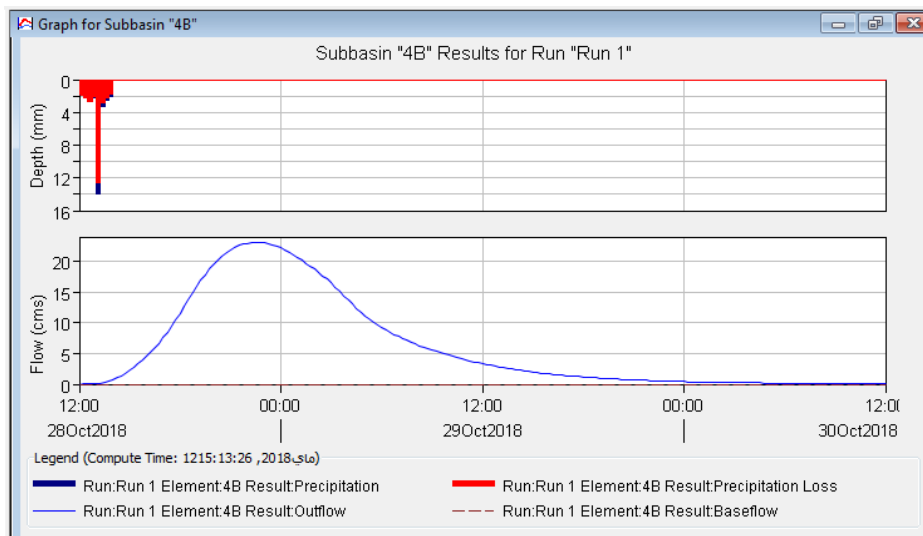


figure III.16: Hydrogramme de crue du bassin El Haimeur [NESRAT.D ; ZINAIO ,2018]

Tableau III.6: présentation de la simulation hydrologique du bassin El Hameur

date	Time	precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct flow (m3/s)	Base flow (m3/s)	Total flow(m3/s)
28oct 2018	12:00	0	0	0	0	0	0
28oct 2018	12:15	1.95	1.93	0.01	0	0	0
28oct 2018	12:30	2.28	2.24	0.04	0	0	0
28oct 2018	12:45	2.73	2.64	0.09	0	0	0
28oct 2018	13:00	2.19	2.08	0.11	0	0	0
28oct 2018	13:15	13.88	12.6	1.28	0.1	0	0.1
28oct 2018	13:30	3.29	2.84	0.45	0.3	0	0.3
28oct 2018	13:45	2.53	2.15	0.38	0.5	0	0.5
28oct 2018	14:00	2.09	1.75	0.34	0.7	0	0.7
28oct 2018	14:15	0	0	0	1	0	1
28oct 2018	14:30	0	0	0	1.4	0	1.4
28oct 2018	14:45	0	0	0	1.8	0	1.8
28oct 2018	15:00	0	0	0	2.3	0	2.3
28oct 2018	15:15	0	0	0	2.8	0	2.8
28oct 2018	15:30	0	0	0	3.3	0	3.3
28oct 2018	15:45	0	0	0	3.9	0	3.9
28oct 2018	16:00	0	0	0	4.5	0	4.5
28oct 2018	16:15	0	0	0	5.2	0	5.2
28oct 2018	16:30	0	0	0	5.9	0	5.9
28oct 2018	16:45	0	0	0	6.7	0	6.7
28oct 2018	17:00	0	0	0	7.5	0	7.5
28oct 2018	17:15	0	0	0	8.4	0	8.4
28oct 2018	17:30	0	0	0	9.4	0	9.4
28oct 2018	17:45	0	0	0	10.4	0	10.4
28oct 2018	18:00	0	0	0	11.5	0	11.5
28oct 2018	18:15	0	0	0	12.6	0	12.6
28oct 2018	18:30	0	0	0	13.7	0	13.7
28oct 2018	18:45	0	0	0	14.9	0	14.9
28oct 2018	19:00	0	0	0	15.9	0	15.9
28oct 2018	19:15	0	0	0	16.9	0	16.9
28oct 2018	19:30	0	0	0	17.9	0	17.9
28oct 2018	19:45	0	0	0	18.8	0	18.8
28oct 2018	20:00	0	0	0	19.5	0	19.5
28oct 2018	20:15	0	0	0	20.2	0	20.2
28oct 2018	20:30	0	0	0	20.9	0	20.9
28oct 2018	20:45	0	0	0	21.4	0	21.4
28oct 2018	21:00	0	0	0	21.9	0	21.9
28oct 2018	21:15	0	0	0	22.3	0	22.3
28oct 2018	21:30	0	0	0	22.6	0	22.6

date	Time	precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct flow (m3/s)	Base flow (m3/s)	Total flow(m3/s)
28oct 2018	21:45	0	0	0	22.8	0	22.8
28oct 2018	22:00	0	0	0	22.9	0	22.9
28oct 2018	22:15	0	0	0	23	0	23
28oct 2018	22:30	0	0	0	23.1	0	23.1
28oct 2018	22:45	0	0	0	23.1	0	23.1
28oct 2018	23:00	0	0	0	23	0	23
28oct 2018	23:15	0	0	0	22.9	0	22.9
28oct 2018	23:30	0	0	0	22.8	0	22.8
28oct 2018	23:45	0	0	0	22.5	0	22.5
29 oct 2018	0:00	0	0	0	22.2	0	22.2
29 oct 2018	0:15	0	0	0	21.8	0	21.8
29 oct 2018	0:30	0	0	0	21.5	0	21.5
29 oct 2018	0:45	0	0	0	21	0	21
29 oct 2018	1:00	0	0	0	20.6	0	20.6
29 oct 2018	1:15	0	0	0	20.2	0	20.2
29 oct 2018	1:30	0	0	0	19.7	0	19.7
29 oct 2018	1:45	0	0	0	19.2	0	19.2
29 oct 2018	2:00	0	0	0	18.8	0	18.8
29 oct 2018	2:15	0	0	0	18.2	0	18.2
29 oct 2018	2:30	0	0	0	17.7	0	17.7
29 oct 2018	2:45	0	0	0	17.1	0	17.1
29 oct 2018	3:00	0	0	0	16.5	0	16.5
29 oct 2018	3:15	0	0	0	15.8	0	15.8
29 oct 2018	3:30	0	0	0	15.1	0	15.1
29 oct 2018	3:45	0	0	0	14.4	0	14.4
29 oct 2018	4:00	0	0	0	13.7	0	13.7
29 oct 2018	4:15	0	0	0	13	0	13
29 oct 2018	4:30	0	0	0	12.4	0	12.4
29 oct 2018	4:45	0	0	0	11.8	0	11.8
29 oct 2018	5:00	0	0	0	11.2	0	11.2
29 oct 2018	5:15	0	0	0	10.6	0	10.6
29 oct 2018	5:30	0	0	0	10.2	0	10.2
29 oct 2018	5:45	0	0	0	9.7	0	9.7
29 oct 2018	6:00	0	0	0	9.3	0	9.3
29 oct 2018	6:15	0	0	0	8.9	0	8.9
29 oct 2018	6:30	0	0	0	8.5	0	8.5
29 oct 2018	6:45	0	0	0	8.1	0	8.1
29 oct 2018	7:00	0	0	0	7.8	0	7.8
29 oct 2018	7:15	0	0	0	7.5	0	7.5
29 oct 2018	7:30	0	0	0	7.1	0	7.1
29 oct 2018	7:45	0	0	0	6.8	0	6.8

date	Time	precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct flow (m3/s)	Base flow (m3/s)	Total flow(m3/s)
29 oct 2018	8:00	0	0	0	6.6	0	6.6
29 oct 2018	8:15	0	0	0	6.3	0	6.3
29 oct 2018	8:30	0	0	0	6.1	0	6.1
29 oct 2018	8:45	0	0	0	5.8	0	5.8
29 oct 2018	9:00	0	0	0	5.6	0	5.6
29 oct 2018	9:15	0	0	0	5.4	0	5.4
29 oct 2018	9:30	0	0	0	5.2	0	5.2
29 oct 2018	9:45	0	0	0	4.9	0	4.9
29 oct 2018	10:00	0	0	0	4.7	0	4.7
29 oct 2018	10:15	0	0	0	4.5	0	4.5
29 oct 2018	10:30	0	0	0	4.4	0	4.4
29 oct 2018	10:45	0	0	0	4.2	0	4.2
29 oct 2018	11:00	0	0	0	4	0	4
29 oct 2018	11:15	0	0	0	3.8	0	3.8
29 oct 2018	11:30	0	0	0	3.6	0	3.6
29 oct 2018	11:45	0	0	0	3.5	0	3.5
29 oct 2018	12:00	0	0	0	3.3	0	3.3
29 oct 2018	12:15	0	0	0	3.2	0	3.2
29 oct 2018	12:30	0	0	0	3.1	0	3.1
29 oct 2018	12:45	0	0	0	2.9	0	2.9
29 oct 2018	13:00	0	0	0	2.8	0	2.8
29 oct 2018	13:15	0	0	0	2.7	0	2.7
29 oct 2018	13:30	0	0	0	2.6	0	2.6
29 oct 2018	13:45	0	0	0	2.5	0	2.5
29 oct 2018	14:00	0	0	0	2.4	0	2.4
29 oct 2018	14:15	0	0	0	2.3	0	2.3
29 oct 2018	14:30	0	0	0	2.2	0	2.2
29 oct 2018	14:45	0	0	0	2.1	0	2.1
29 oct 2018	15:00	0	0	0	2	0	2
29 oct 2018	15:15	0	0	0	1.9	0	1.9
29 oct 2018	15:30	0	0	0	1.8	0	1.8
29 oct 2018	15:45	0	0	0	1.7	0	1.7
29 oct 2018	16:00	0	0	0	1.7	0	1.7
29 oct 2018	16:15	0	0	0	1.6	0	1.6
29 oct 2018	16:30	0	0	0	1.5	0	1.5
29 oct 2018	16:45	0	0	0	1.5	0	1.5
29 oct 2018	17:00	0	0	0	1.4	0	1.4
29 oct 2018	17:15	0	0	0	1.3	0	1.3
29 oct 2018	17:30	0	0	0	1.3	0	1.3
29 oct 2018	17:45	0	0	0	1.2	0	1.2
29 oct 2018	18:00	0	0	0	1.2	0	1.2

date	Time	precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct flow (m3/s)	Base flow (m3/s)	Total flow(m3/s)
29 oct 2018	18:15	0	0	0	1.1	0	1.1
29 oct 2018	18:30	0	0	0	1.1	0	1.1
29 oct 2018	18:45	0	0	0	1	0	1
29 oct 2018	19:00	0	0	0	1	0	1
29 oct 2018	19:15	0	0	0	0.9	0	0.9
29 oct 2018	19:30	0	0	0	0.9	0	0.9
29 oct 2018	19:45	0	0	0	0.9	0	0.9
29 oct 2018	20:00	0	0	0	0.8	0	0.8
29 oct 2018	20:15	0	0	0	0.8	0	0.8
29 oct 2018	20:30	0	0	0	0.8	0	0.8
29 oct 2018	20:45	0	0	0	0.7	0	0.7
29 oct 2018	21:00	0	0	0	0.7	0	0.7
29 oct 2018	21:15	0	0	0	0.7	0	0.7
29 oct 2018	21:30	0	0	0	0.6	0	0.6
29 oct 2018	21:45	0	0	0	0.6	0	0.6
29 oct 2018	22:00	0	0	0	0.6	0	0.6
29 oct 2018	22:15	0	0	0	0.6	0	0.6
29 oct 2018	22:30	0	0	0	0.5	0	0.5
29 oct 2018	22:45	0	0	0	0.5	0	0.5
29 oct 2018	23:00	0	0	0	0.5	0	0.5
29 oct 2018	23:15	0	0	0	0.5	0	0.5
29 oct 2018	23:30	0	0	0	0.5	0	0.5
29 oct 2018	23:45	0	0	0	0.4	0	0.4
30 oct 2018	0:00	0	0	0	0.4	0	0.4
30 oct 2018	0:15	0	0	0	0.4	0	0.4
30 oct 2018	0:30	0	0	0	0.4	0	0.4
30 oct 2018	0:45	0	0	0	0.4	0	0.4
30 oct 2018	1:00	0	0	0	0.4	0	0.4
30 oct 2018	1:15	0	0	0	0.3	0	0.3
30 oct 2018	1:30	0	0	0	0.3	0	0.3
30 oct 2018	1:45	0	0	0	0.3	0	0.3
30 oct 2018	2:00	0	0	0	0.3	0	0.3
30 oct 2018	2:15	0	0	0	0.3	0	0.3
30 oct 2018	2:30	0	0	0	0.3	0	0.3
30 oct 2018	2:45	0	0	0	0.3	0	0.3
30 oct 2018	3:00	0	0	0	0.3	0	0.3
30 oct 2018	3:15	0	0	0	0.2	0	0.2
30 oct 2018	3:30	0	0	0	0.2	0	0.2
30 oct 2018	3:45	0	0	0	0.2	0	0.2
30 oct 2018	4:00	0	0	0	0.2	0	0.2
30 oct 2018	4:15	0	0	0	0.2	0	0.2

date	Time	precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct flow (m3/s)	Base flow (m3/s)	Total flow(m3/s)
30 oct 2018	4:30	0	0	0	0.2	0	0.2
30 oct 2018	4:45	0	0	0	0.2	0	0.2
30 oct 2018	5:00	0	0	0	0.2	0	0.2
30 oct 2018	5:15	0	0	0	0.2	0	0.2
30 oct 2018	5:30	0	0	0	0.2	0	0.2
30 oct 2018	5:45	0	0	0	0.2	0	0.2
30 oct 2018	6:00	0	0	0	0.2	0	0.2
30 oct 2018	6:15	0	0	0	0.2	0	0.2
30 oct 2018	6:30	0	0	0	0.1	0	0.1
30 oct 2018	6:45	0	0	0	0.1	0	0.1
30 oct 2018	7:00	0	0	0	0.1	0	0.1
30 oct 2018	7:15	0	0	0	0.1	0	0.1
30 oct 2018	7:30	0	0	0	0.1	0	0.1
30 oct 2018	7:45	0	0	0	0.1	0	0.1
30 oct 2018	8:00	0	0	0	0.1	0	0.1
30 oct 2018	8:15	0	0	0	0.1	0	0.1
30 oct 2018	8:30	0	0	0	0.1	0	0.1
30 oct 2018	8:45	0	0	0	0.1	0	0.1
30 oct 2018	9:00	0	0	0	0.1	0	0.1
30 oct 2018	9:15	0	0	0	0.1	0	0.1
30 oct 2018	9:30	0	0	0	0.1	0	0.1
30 oct 2018	9:45	0	0	0	0.1	0	0.1
30 oct 2018	10:00	0	0	0	0.1	0	0.1
30 oct 2018	10:15	0	0	0	0.1	0	0.1
30 oct 2018	10:30	0	0	0	0	0	0
30 oct 2018	10:45	0	0	0	0	0	0
30 oct 2018	11:00	0	0	0	0	0	0
30 oct 2018	11:15	0	0	0	0	0	0
30 oct 2018	11:30	0	0	0	0	0	0
30 oct 2018	11:45	0	0	0	0	0	0
30 oct 2018	12:00	0	0	0	0	0	0

III.8.2. Bassin de Bou Brik:

Le débit de pointe de la crue centennale à l'exutoire du bassin versant Bou Brik est 13.8 m³

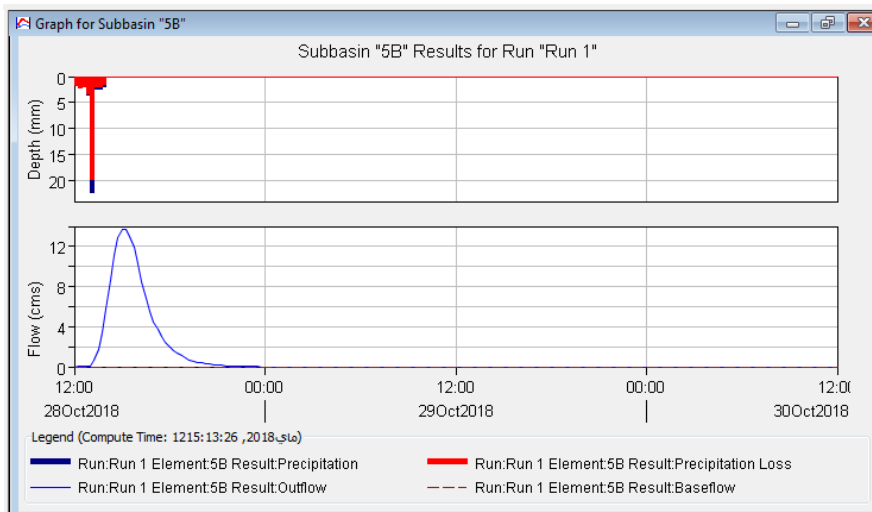


figure III.17: Hydrogramme de crue du bassin Bou Brik [NESRAT.D ; ZINA.I.O ,2018]

Tableau III.7: présentation de la simulation hydrologique du bassin Bou Brik

date	Time	precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct flow (m3/s)	Base flow (m3/s)	Total flow(m3/s)
28oct 2018	12:00				0	0	0
28oct 2018	12:15	1.77	1.76	0.01	0	0	0
28oct 2018	12:30	2.16	2.13	0.04	0	0	0
28oct 2018	12:45	1.91	1.85	0.06	0	0	0
28oct 2018	13:00	3.51	3.35	0.16	0.1	0	0.1
28oct 2018	13:15	22.27	19.71	2.55	0.7	0	0.7
28oct 2018	13:30	2.48	2.05	0.44	1.8	0	1.8
28oct 2018	13:45	2.47	2	0.46	3.4	0	3.4
28oct 2018	14:00	1.94	1.56	0.38	5.8	0	5.8
28oct 2018	14:15	0	0	0	8.6	0	8.6
28oct 2018	14:30	0	0	0	11.1	0	11.1
28oct 2018	14:45	0	0	0	12.9	0	12.9
28oct 2018	15:00	0	0	0	13.7	0	13.7
28oct 2018	15:15	0	0	0	13.8	0	13.8
28oct 2018	15:30	0	0	0	13	0	13
28oct 2018	15:45	0	0	0	11.9	0	11.9
28oct 2018	16:00	0	0	0	10.3	0	10.3
28oct 2018	16:15	0	0	0	8.4	0	8.4
28oct 2018	16:30	0	0	0	6.9	0	6.9
28oct 2018	16:45	0	0	0	5.6	0	5.6

date	Time	precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct flow (m3/s)	Base flow (m3/s)	Total flow(m3/s)
r28oct 2018	17:00	0	0	0	4.5	0	4.5
r28oct 2018	17:15	0	0	0	3.7	0	3.7
r28oct 2018	17:30	0	0	0	3	0	3
r28oct 2018	17:45	0	0	0	2.4	0	2.4
r28oct 2018	18:00	0	0	0	2	0	2
r28oct 2018	18:15	0	0	0	1.6	0	1.6
r28oct 2018	18:30	0	0	0	1.3	0	1.3
r28oct 2018	18:45	0	0	0	1.1	0	1.1
r28oct 2018	19:00	0	0	0	0.9	0	0.9
r28oct 2018	19:15	0	0	0	0.7	0	0.7
r28oct 2018	19:30	0	0	0	0.6	0	0.6
r28oct 2018	19:45	0	0	0	0.5	0	0.5
r28oct 2018	20:00	0	0	0	0.4	0	0.4
r28oct 2018	20:15	0	0	0	0.3	0	0.3
r28oct 2018	20:30	0	0	0	0.3	0	0.3
r28oct 2018	20:45	0	0	0	0.2	0	0.2
r28oct 2018	21:00	0	0	0	0.2	0	0.2
r28oct 2018	21:15	0	0	0	0.1	0	0.1
r28oct 2018	21:30	0	0	0	0.1	0	0.1
r28oct 2018	21:45	0	0	0	0.1	0	0.1
r28oct 2018	22:00	0	0	0	0.1	0	0.1
r28oct 2018	22:15	0	0	0	0.1	0	0.1
r28oct 2018	22:30	0	0	0	0	0	0

III.8.3.Bassin El Abiod:

Le débit de pointe de la crue centennale à l'exutoire du bassin versant El Abiod est 36.2 m^3

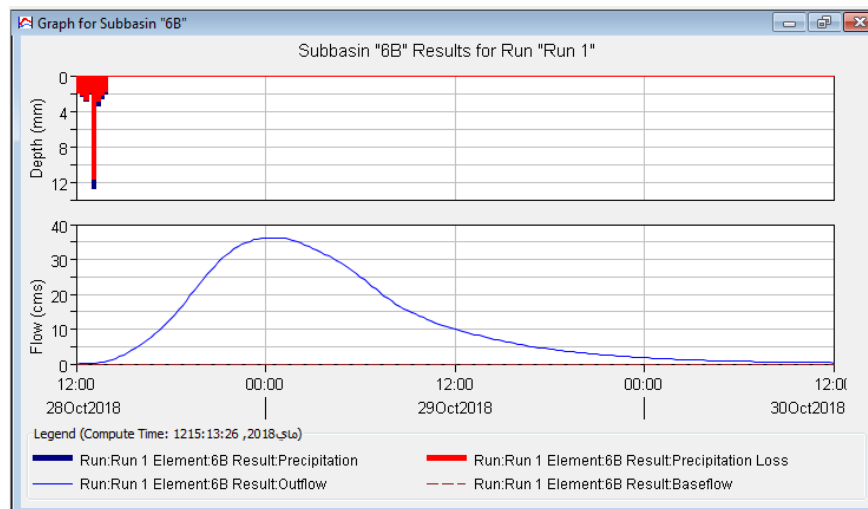


figure III.18:Hydrogramme de crue du bassin El Abiod [NESRAT.D ; ZINALO ,2018]

Tableau III.8: présentation de la simulation hydrologique du bassin El Abiod

date	Time	precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct flow (m3/s)	Base flow (m3/s)	Total flow(m3/s)
28oct2018	12:00				0.0	0.0	0.0
28oct 2018	12:15	1.97	1.96	0.01	0.0	0.0	0.0
28oct 2018	12:30	2.30	2.25	0.04	0.0	0.0	0.0
28oct 2018	12:45	2.85	2.76	0.10	0.0	0.0	0.0
28oct 2018	13:00	2.02	1.92	0.10	0.0	0.0	0.0
28oct 2018	13:15	12.78	11.64	1.14	0.2	0.0	0.2
28oct 2018	13:30	3.38	2.93	0.44	0.4	0.0	0.4
28oct 2018	13:45	2.54	2.16	0.37	0.6	0.0	0.6
28oct 2018	14:00	2.12	1.78	0.33	0.8	0.0	0.8
28oct 2018	14:15	0.00	0.00	0.00	1.2	0.0	1.2
28oct 2018	14:30	0.00	0.00	0.00	1.6	0.0	1.6
28oct 2018	14:45	0.00	0.00	0.00	2.1	0.0	2.1
28oct 2018	15:00	0.00	0.00	0.00	2.7	0.0	2.7
28oct 2018	15:15	0.00	0.00	0.00	3.3	0.0	3.3
28oct 2018	15:30	0.00	0.00	0.00	3.9	0.0	3.9
28oct 2018	15:45	0.00	0.00	0.00	4.6	0.0	4.6
28oct 2018	16:00	0.00	0.00	0.00	5.3	0.0	5.3
28oct 2018	16:15	0.00	0.00	0.00	6.0	0.0	6.0
28oct 2018	16:30	0.00	0.00	0.00	6.8	0.0	6.8
28oct 2018	16:45	0.00	0.00	0.00	7.7	0.0	7.7

date	Time	precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct flow (m3/s)	Base flow (m3/s)	Total flow(m3/s)
128oct 2018	17:00	0.00	0.00	0.00	8.6	0.0	8.6
128oct 2018	17:15	0.00	0.00	0.00	9.6	0.0	9.6
128oct 2018	17:30	0.00	0.00	0.00	10.6	0.0	10.6
128oct 2018	17:45	0.00	0.00	0.00	11.7	0.0	11.7
128oct 2018	18:00	0.00	0.00	0.00	12.9	0.0	12.9
128oct 2018	18:15	0.00	0.00	0.00	14.2	0.0	14.2
128oct 2018	18:30	0.00	0.00	0.00	15.4	0.0	15.4
128oct 2018	18:45	0.00	0.00	0.00	16.8	0.0	16.8
128oct 2018	19:00	0.00	0.00	0.00	18.2	0.0	18.2
128oct 2018	19:15	0.00	0.00	0.00	19.7	0.0	19.7
128oct 2018	19:30	0.00	0.00	0.00	21.2	0.0	21.2
128oct 2018	19:45	0.00	0.00	0.00	22.7	0.0	22.7
128oct 2018	20:00	0.00	0.00	0.00	24.1	0.0	24.1
128oct 2018	20:15	0.00	0.00	0.00	25.5	0.0	25.5
128oct 2018	20:30	0.00	0.00	0.00	26.8	0.0	26.8
128oct 2018	20:45	0.00	0.00	0.00	28.0	0.0	28.0
128oct 2018	21:00	0.00	0.00	0.00	29.2	0.0	29.2
128oct 2018	21:15	0.00	0.00	0.00	30.2	0.0	30.2
128oct 2018	21:30	0.00	0.00	0.00	31.2	0.0	31.2
128oct 2018	21:45	0.00	0.00	0.00	32.1	0.0	32.1
128oct 2018	22:00	0.00	0.00	0.00	33.0	0.0	33.0
128oct 2018	22:15	0.00	0.00	0.00	33.7	0.0	33.7
128oct 2018	22:30	0.00	0.00	0.00	34.3	0.0	34.3
128oct 2018	22:45	0.00	0.00	0.00	34.8	0.0	34.8
128oct 2018	23:00	0.00	0.00	0.00	35.3	0.0	35.3
128oct 2018	23:15	0.00	0.00	0.00	35.6	0.0	35.6
128oct 2018	23:30	0.00	0.00	0.00	35.9	0.0	35.9
128oct 2018	23:45	0.00	0.00	0.00	36.1	0.0	36.1
129oct 2018	00:00	0.00	0.00	0.00	36.2	0.0	36.2
129oct 2018	00:15	0.00	0.00	0.00	36.2	0.0	36.2
129oct 2018	00:30	0.00	0.00	0.00	36.2	0.0	36.2
129oct 2018	00:45	0.00	0.00	0.00	36.2	0.0	36.2
129oct 2018	01:00	0.00	0.00	0.00	36.1	0.0	36.1
129oct 2018	01:15	0.00	0.00	0.00	36.0	0.0	36.0
129oct 2018	01:30	0.00	0.00	0.00	35.9	0.0	35.9
129oct 2018	01:45	0.00	0.00	0.00	35.5	0.0	35.5
129oct 2018	02:00	0.00	0.00	0.00	35.2	0.0	35.2
129oct 2018	02:15	0.00	0.00	0.00	34.7	0.0	34.7
129oct 2018	02:30	0.00	0.00	0.00	34.2	0.0	34.2
129oct 2018	02:45	0.00	0.00	0.00	33.7	0.0	33.7
129oct 2018	03:00	0.00	0.00	0.00	33.2	0.0	33.2

date	Time	precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct flow (m3/s)	Base flow (m3/s)	Total flow(m3/s)
29oct 2018	03:15	0.00	0.00	0.00	32.6	0.0	32.6
29oct 2018	03:30	0.00	0.00	0.00	32.1	0.0	32.1
29oct 2018	03:45	0.00	0.00	0.00	31.5	0.0	31.5
29oct 2018	04:00	0.00	0.00	0.00	30.9	0.0	30.9
29oct 2018	04:15	0.00	0.00	0.00	30.2	0.0	30.2
29oct 2018	04:30	0.00	0.00	0.00	29.6	0.0	29.6
29oct 2018	04:45	0.00	0.00	0.00	28.9	0.0	28.9
29oct 2018	05:00	0.00	0.00	0.00	28.2	0.0	28.2
29oct 2018	05:15	0.00	0.00	0.00	27.5	0.0	27.5
29oct 2018	05:30	0.00	0.00	0.00	26.7	0.0	26.7
29oct 2018	05:45	0.00	0.00	0.00	25.9	0.0	25.9
29oct 2018	06:00	0.00	0.00	0.00	25.1	0.0	25.1
29oct 2018	06:15	0.00	0.00	0.00	24.2	0.0	24.2
29oct 2018	06:30	0.00	0.00	0.00	23.2	0.0	23.2
29oct 2018	06:45	0.00	0.00	0.00	22.3	0.0	22.3
29oct 2018	07:00	0.00	0.00	0.00	21.4	0.0	21.4
29oct 2018	07:15	0.00	0.00	0.00	20.5	0.0	20.5
29oct 2018	07:30	0.00	0.00	0.00	19.6	0.0	19.6
29oct 2018	07:45	0.00	0.00	0.00	18.8	0.0	18.8
29oct 2018	08:00	0.00	0.00	0.00	18.0	0.0	18.0
29oct 2018	08:15	0.00	0.00	0.00	17.2	0.0	17.2
29oct 2018	08:30	0.00	0.00	0.00	16.5	0.0	16.5
29oct 2018	08:45	0.00	0.00	0.00	15.9	0.0	15.9
29oct 2018	09:00	0.00	0.00	0.00	15.3	0.0	15.3
29oct 2018	09:15	0.00	0.00	0.00	14.8	0.0	14.8
29oct 2018	09:30	0.00	0.00	0.00	14.3	0.0	14.3
29oct 2018	09:45	0.00	0.00	0.00	13.7	0.0	13.7
29oct 2018	10:00	0.00	0.00	0.00	13.2	0.0	13.2
29oct 2018	10:15	0.00	0.00	0.00	12.8	0.0	12.8
29oct 2018	10:30	0.00	0.00	0.00	12.3	0.0	12.3
29oct 2018	10:45	0.00	0.00	0.00	11.9	0.0	11.9
29oct 2018	11:00	0.00	0.00	0.00	11.4	0.0	11.4
29oct 2018	11:15	0.00	0.00	0.00	11.0	0.0	11.0
29oct 2018	11:30	0.00	0.00	0.00	10.6	0.0	10.6
29oct 2018	11:45	0.00	0.00	0.00	10.3	0.0	10.3
29oct 2018	12:00	0.00	0.00	0.00	9.9	0.0	9.9
29oct 2018	12:15	0.00	0.00	0.00	9.6	0.0	9.6
29oct 2018	12:30	0.00	0.00	0.00	9.3	0.0	9.3
29oct 2018	12:45	0.00	0.00	0.00	9.0	0.0	9.0
29oct 2018	13:00	0.00	0.00	0.00	8.7	0.0	8.7
29oct 2018	13:15	0.00	0.00	0.00	8.4	0.0	8.4

date	Time	precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct flow (m3/s)	Base flow (m3/s)	Total flow(m3/s)
12/10/2018	13:30	0.00	0.00	0.00	8.2	0.0	8.2
12/10/2018	13:45	0.00	0.00	0.00	7.9	0.0	7.9
12/10/2018	14:00	0.00	0.00	0.00	7.6	0.0	7.6
12/10/2018	14:15	0.00	0.00	0.00	7.3	0.0	7.3
12/10/2018	14:30	0.00	0.00	0.00	7.1	0.0	7.1
12/10/2018	14:45	0.00	0.00	0.00	6.8	0.0	6.8
12/10/2018	15:00	0.00	0.00	0.00	6.6	0.0	6.6
12/10/2018	15:15	0.00	0.00	0.00	6.4	0.0	6.4
12/10/2018	15:30	0.00	0.00	0.00	6.1	0.0	6.1
12/10/2018	15:45	0.00	0.00	0.00	5.9	0.0	5.9
12/10/2018	16:00	0.00	0.00	0.00	5.6	0.0	5.6
12/10/2018	16:15	0.00	0.00	0.00	5.4	0.0	5.4
12/10/2018	16:30	0.00	0.00	0.00	5.2	0.0	5.2
12/10/2018	16:45	0.00	0.00	0.00	5.1	0.0	5.1
12/10/2018	17:00	0.00	0.00	0.00	4.9	0.0	4.9
12/10/2018	17:15	0.00	0.00	0.00	4.7	0.0	4.7
12/10/2018	17:30	0.00	0.00	0.00	4.6	0.0	4.6
12/10/2018	17:45	0.00	0.00	0.00	4.4	0.0	4.4
12/10/2018	18:00	0.00	0.00	0.00	4.3	0.0	4.3
12/10/2018	18:15	0.00	0.00	0.00	4.1	0.0	4.1
12/10/2018	18:30	0.00	0.00	0.00	3.9	0.0	3.9
12/10/2018	18:45	0.00	0.00	0.00	3.8	0.0	3.8
12/10/2018	19:00	0.00	0.00	0.00	3.7	0.0	3.7
12/10/2018	19:15	0.00	0.00	0.00	3.6	0.0	3.6
12/10/2018	19:30	0.00	0.00	0.00	3.4	0.0	3.4
12/10/2018	19:45	0.00	0.00	0.00	3.3	0.0	3.3
12/10/2018	20:00	0.00	0.00	0.00	3.2	0.0	3.2
12/10/2018	20:15	0.00	0.00	0.00	3.1	0.0	3.1
12/10/2018	20:30	0.00	0.00	0.00	3.0	0.0	3.0
12/10/2018	20:45	0.00	0.00	0.00	2.8	0.0	2.8
12/10/2018	21:00	0.00	0.00	0.00	2.7	0.0	2.7
12/10/2018	21:15	0.00	0.00	0.00	2.6	0.0	2.6
12/10/2018	21:30	0.00	0.00	0.00	2.6	0.0	2.6
12/10/2018	21:45	0.00	0.00	0.00	2.5	0.0	2.5
12/10/2018	22:00	0.00	0.00	0.00	2.4	0.0	2.4
12/10/2018	22:15	0.00	0.00	0.00	2.3	0.0	2.3
12/10/2018	22:30	0.00	0.00	0.00	2.2	0.0	2.2
12/10/2018	22:45	0.00	0.00	0.00	2.1	0.0	2.1
12/10/2018	23:00	0.00	0.00	0.00	2.0	0.0	2.0
12/10/2018	23:15	0.00	0.00	0.00	2.0	0.0	2.0
12/10/2018	23:30	0.00	0.00	0.00	1.9	0.0	1.9

date	Time	precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct flow (m3/s)	Base flow (m3/s)	Total flow(m3/s)
29oct 2018	23:45	0.00	0.00	0.00	1.8	0.0	1.8
30oct 2018	00:00	0.00	0.00	0.00	1.8	0.0	1.8
30oct 2018	00:15	0.00	0.00	0.00	1.7	0.0	1.7
30oct 2018	00:30	0.00	0.00	0.00	1.7	0.0	1.7
30oct 2018	00:45	0.00	0.00	0.00	1.6	0.0	1.6
30oct 2018	01:00	0.00	0.00	0.00	1.5	0.0	1.5
30oct 2018	01:15	0.00	0.00	0.00	1.5	0.0	1.5
30oct 2018	01:30	0.00	0.00	0.00	1.4	0.0	1.4
30oct 2018	01:45	0.00	0.00	0.00	1.4	0.0	1.4
30oct 2018	02:00	0.00	0.00	0.00	1.3	0.0	1.3
30oct 2018	02:15	0.00	0.00	0.00	1.3	0.0	1.3
30oct 2018	02:30	0.00	0.00	0.00	1.2	0.0	1.2
30oct 2018	02:45	0.00	0.00	0.00	1.2	0.0	1.2
30oct 2018	03:00	0.00	0.00	0.00	1.2	0.0	1.2
30oct 2018	03:15	0.00	0.00	0.00	1.1	0.0	1.1
30oct 2018	03:30	0.00	0.00	0.00	1.1	0.0	1.1
30oct 2018	03:45	0.00	0.00	0.00	1.0	0.0	1.0
30oct 2018	04:00	0.00	0.00	0.00	1.0	0.0	1.0
30oct 2018	04:15	0.00	0.00	0.00	1.0	0.0	1.0
30oct 2018	04:30	0.00	0.00	0.00	0.9	0.0	0.9
30oct 2018	04:45	0.00	0.00	0.00	0.9	0.0	0.9
30oct 2018	05:00	0.00	0.00	0.00	0.9	0.0	0.9
30oct 2018	05:15	0.00	0.00	0.00	0.8	0.0	0.8
30oct 2018	05:30	0.00	0.00	0.00	0.8	0.0	0.8
30oct 2018	05:45	0.00	0.00	0.00	0.8	0.0	0.8
30oct 2018	06:00	0.00	0.00	0.00	0.8	0.0	0.8
30oct 2018	06:15	0.00	0.00	0.00	0.7	0.0	0.7
30oct 2018	06:30	0.00	0.00	0.00	0.7	0.0	0.7
30oct 2018	06:45	0.00	0.00	0.00	0.7	0.0	0.7
30oct 2018	07:00	0.00	0.00	0.00	0.7	0.0	0.7
30oct 2018	07:15	0.00	0.00	0.00	0.6	0.0	0.6
30oct 2018	07:30	0.00	0.00	0.00	0.6	0.0	0.6
30oct 2018	07:45	0.00	0.00	0.00	0.6	0.0	0.6
30oct 2018	08:00	0.00	0.00	0.00	0.6	0.0	0.6
30oct 2018	08:15	0.00	0.00	0.00	0.5	0.0	0.5
30oct 2018	08:30	0.00	0.00	0.00	0.5	0.0	0.5
30oct 2018	08:45	0.00	0.00	0.00	0.5	0.0	0.5
30oct 2018	09:00	0.00	0.00	0.00	0.5	0.0	0.5
30oct 2018	09:15	0.00	0.00	0.00	0.5	0.0	0.5
30oct 2018	09:30	0.00	0.00	0.00	0.5	0.0	0.5
30oct 2018	09:45	0.00	0.00	0.00	0.4	0.0	0.4

date	Time	precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct flow (m3/s)	Base flow (m3/s)	Total flow(m3/s)
13oct 2018	10:00	0.00	0.00	0.00	0.4	0.0	0.4
13oct 2018	10:15	0.00	0.00	0.00	0.4	0.0	0.4
13oct 2018	10:30	0.00	0.00	0.00	0.4	0.0	0.4
13oct 2018	10:45	0.00	0.00	0.00	0.4	0.0	0.4
13oct 2018	11:00	0.00	0.00	0.00	0.4	0.0	0.4
13oct 2018	11:15	0.00	0.00	0.00	0.4	0.0	0.4
13oct 2018	11:30	0.00	0.00	0.00	0.4	0.0	0.4
13oct 2018	11:45	0.00	0.00	0.00	0.3	0.0	0.3
13oct 2018	12:00	0.00	0.00	0.00	0.3	0.0	0.3

Conclusion:

L'étude hydrologique des bassins versants qui alimentent l'oued M'Zab menée dans cette partie a eu pour objective d'estimer les hydrogrammes des crues rares à l'exutoire de chaque bassin.

Ces hydrogrammes constituent des données indispensables dans les simulations hydrauliques qui permettent la prévision et la gestion des risques d'inondations dans la ville de Ghardaïa.

CHAPITRE IV :

Introduction:

Pour vérifier l'efficacité des barrages construits à l'amont de la ville, deux simulations numériques du passage de la crue centennale dans la vallée du M'Zab ont été effectuées en utilisant le modèle HEC-RAS la première avant la construction des 3 barrages et la deuxième après. Le présent chapitre présente en premier lieu les étapes de création du modèle ainsi que tous les différents paramètres introduits dans les simulations. En second lieu, il synthétise et compare les résultats obtenus par les deux simulations.

IV.1. HEC-RAS:

HEC-RAS est un code de calcul unidimensionnel développé par l'US Army Corps des Ingénieurs. Il est conçu pour aider les ingénieurs hydrauliques à analyser le débit des canaux et à déterminer les plaines inondables. Les résultats du modèle peuvent être appliqués à la gestion des inondations et aux études d'assurance contre les inondations.. il est capable de modéliser des ouvrages hydrauliques tels que les ponceaux, les déversoirs, les digues, les évacuateurs de crue et les ponts qui se trouvent dans un tronçon du cours d'eau.[8]

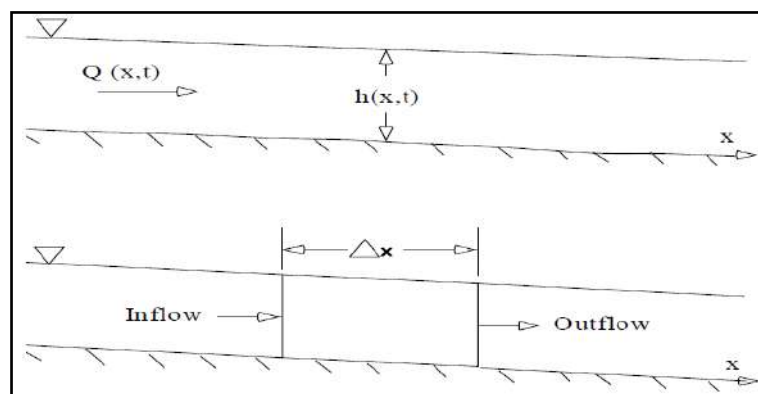
IV.2. Équations fondamentales dans HEC-RAS.[24]**IV.2.1. Equation de continuité:**

Figure IV.1: Volume de contrôle élémentaire pour la dérivation de l'équation de continuité et de moment

Si l'on observe le volume de contrôle de l'écoulement représenté sur la figure ci-dessus, l'apport peut être défini ainsi que suit :

$$\text{A l'entrée : } q_1 = Q - \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \quad (\text{IV.1})$$

$$\text{A la sortie : } q_2 = Q + \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \quad (\text{IV.2})$$

L'équation de la conservation de la masse pour le volume de contrôle de l'écoulement peut être exprimée ainsi que suit : la différence entre l'apport et l'écoulement (apport net) dans le volume de contrôle égale à la valeur de changement de volume dans le volume de contrôle observé.

La valeur de changement de volume est définie comme:

$$\frac{\partial A_T}{\partial t} \Delta x \quad (\text{IV.3})$$

Si l'on suppose que Δx soit suffisamment peu, le changement de masse dans le volume de contrôle est notamment:

$$\rho \frac{\partial A_T}{\partial t} \Delta x = \rho \left[\left(Q - \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right) - \left(Q + \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right) + Q_l \right] \quad (\text{IV.4})$$

Où :

Q_l: apport latéral entrant dans le volume de contrôle et ρ la masse volumique de fluide.

En simplifiant et en division l'équation entière par $\rho \Delta x$, on obtient la forme finale de l'équation de continuité est:

$$\frac{\partial A_T}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0 \quad (\text{IV.5})$$

Où :

q_l est l'apport latéral par unité de longueur.

IV.2.2. Equation de moment:

A partir de la deuxième loi de Newton, la conservation du moment de la quantité de mouvement

peu être définie comme :

$$\sum F_x = \frac{d\vec{M}}{dt} \tag{IV.6}$$

Pour le volume de contrôle, cette loi peut être représentée de la manière suivante:

La grandeur nette du moment entrant dans le volume de contrôle (flux du moment) additionnée à la somme de toutes les forces extérieures agissant sur le volume de contrôle égale la grandeur du moment accumulé. L'équation ci-dessus est représentée sous forme vectorielle appliquée pour la direction x. le flux de moment (MV) est la masse de fluide multipliée par le vecteur de la vitesse en direction de l'écoulement. Il est possible de considérer trois forces : pression, gravitation, et de frottement.

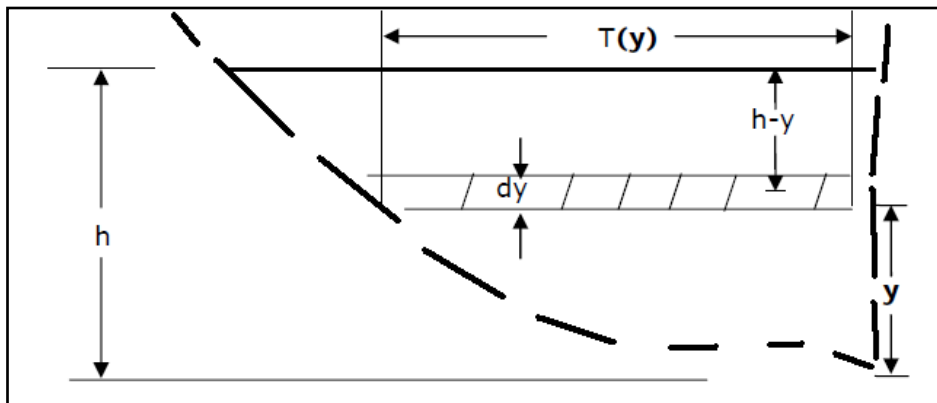


Figure IV.2: Illustration des membres liés à la définition des forces de la pression

IV.2.3. Force de la pression:

La figure ci-dessus illustre un cas général de la section transversale irrégulière de l'écoulement. Il est supposé une distribution hydrostatique de la pression (la pression change linéairement avec la profondeur de l'écoulement) et la force totale de la pression est représentée par l'intégral du produit de la superficie et de la pression dans la section transversale complète. La force de la pression dans un point quelconque de la section transversale (Shames, 1962) peut être définie ainsi que suit :

$$F_p = \int_0^h \rho g (h - y) T(y) dy \tag{IV.7} \quad \text{Où :}$$

h : profondeur de l'écoulement

y : distance du fond de la section transversale

$T(y)$: la largeur qui est fonction de la largeur de la section transversale par rapport à la distance du fond de la section transversale.

Si F_p est la force de la pression en direction x dans le point centrale du volume de contrôle.

la force à l'extrémité amont du volume de contrôle peut être définie comme :

$$F_p - \frac{\partial F_p}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \quad (IV.8)$$

Et à l'extrémité aval:

$$F_p + \frac{\partial F_p}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \quad (IV.9)$$

La somme des forces de la pression agissant sur le volume de contrôle peut être définie de la manière suivante:

$$F_{pn} = \left| F_p - \frac{\partial F_p}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right| - \left| F_p + \frac{\partial F_p}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right| + F_B \quad (IV.10)$$

Où :

F_{pn} est la force de pression nette pour le volume de contrôle et F_B la force de la pression agissant sur le lit en direction x .

Si l'on différencie les équations (IV.8 et IV.9) en appliquant la règle de Leibnitz et si l'on les remplace dans l'équation (IV.10), on obtient :

$$F_{pn} = -\rho g \Delta x \left[\frac{\partial h}{\partial x} \int_0^h T(y) dy + \int_0^h (h-y) \frac{\partial T(y)}{\partial x} dy \right] + F_B \quad (IV.11)$$

La première intégrale dans l'équation (11.) est la superficie de la section transversale A la deuxième intégrale (multipliée par $(-\rho g \Delta x)$) est la force de la pression agissant sur le lit mineur.

Cette force de la pression est de même grandeur, mais de différent signe par rapport à F_B . Après avoir pris tout cela en considération, nous pouvons définir la force de la pression comme :

$$F_{pn} = -\rho g A \frac{\partial h}{\partial x} \Delta x \quad (IV.12)$$

IV.2.4. Force gravitationnelle:

La force due à la gravitation agissant sur le volume de contrôle du fluide en direction x est notamment:

$$F_g = \rho g A (\sin \theta) \Delta x \quad (\text{IV.13})$$

Où :

θ est l'angle de pente du fond par rapport à l'axe horizontal. Pour les cours d'eau naturels cette pente est relativement faible, ainsi $\sin \theta \approx \text{tng } \theta = \partial z_0 / \partial x$, où z_0 est la cote du fond du canal. Il est maintenant possible de définir la force de gravitation ainsi que suit :

$$F_g = -\rho g A \frac{\partial z_0}{\partial x} \Delta x \quad (\text{IV.14})$$

Cette force a la valeur positive pour la pente du fond négative.

IV.2.5. Force de frottement:

La force de frottement entre le lit fluvial et le fluide lors de l'écoulement peut être représentée par la formule suivante :

$$F_f = -\tau_0 P \Delta x \quad (\text{IV.15})$$

Où :

τ_0 est la tension tangentielle limite (force/surface unitaire) agissant sur les limites du fluide et P étant le périmètre mouillé de la section transversale de l'écoulement. Le signe négatif montre que pour l'écoulement en direction x positive, la force agit en direction x négative. A partir de l'analyse dimensionnelle, τ_0 peut être défini en fonction du coefficient de résistance C_D comme:

$$\tau_0 = \rho C_D V^2 \quad (\text{IV.16})$$

A l'aide du coefficient de Chézy, C_D égal :

$$C_D = \frac{g}{C^2} \quad (\text{IV.17})$$

IV.2.6. L'équation de Chézy:

formulé à la manière suivant:

$$V = C\sqrt{RS_f} \quad (\text{IV.18})$$

Si nous effectuons les remplacements correspondants des équations (IV.16), (IV.17) et (IV.18) à (IV.15), et si nous simplifions, alors cette dernière équation, nous obtenons la formule pour la définition de la force de frottement à l'écoulement :

$$F_f = -\rho g A S_f \Delta x \quad (\text{IV.19})$$

Où :

S_f est la pente du frottement qui est positive pour l'écoulement en direction positive x .

Les équations de Manning et Chezy s'utilisent traditionnellement pour définir le frottement

Lors de l'écoulement. Ainsi, l'équation de Manning est représentée à la forme suivante (en unités anglo-saxonnes) :

$$S_f = \frac{Q|Q|n^2}{2.208R^{4/3}A^2} \quad (\text{IV.20})$$

Où :

R est le rayon hydraulique et n le coefficient de Manning.

IV.2.7. Flux du moment:

Après avoir défini les trois forces mentionnées, il reste de définir le flux de moment. Le flux entrant dans le volume de contrôle défini comme suit :

$$\rho \left[QV - \frac{\partial QV}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right] \quad (\text{IV.21})$$

Et le flux qui sort du volume de contrôle :

$$\rho \left[QV + \frac{\partial QV}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right] \quad (\text{IV.22})$$

La valeur de moments nette (flux de moment) entrant dans le volume de contrôle est de :

$$-\rho \frac{\partial QV}{\partial x} \Delta x \quad (\text{IV.23})$$

Etant donné que le moment est la quantité de mouvement dans le volume de contrôle $\rho Q \Delta x$, la grandeur du moment accumulé définie comme suit :

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho Q \Delta x) = \rho \Delta x \frac{\partial Q}{\partial t} \quad (\text{IV.24})$$

Il est maintenant possible de formuler le principe de conservation de la quantité de mouvement de la manière suivante :

$$\rho \Delta x \frac{\partial Q}{\partial t} = -\rho \frac{\partial QV}{\partial x} \Delta x - \rho g A \frac{\partial h}{\partial x} \Delta x - \rho g A \frac{\partial z_0}{\partial x} \Delta x - \rho g A S_f \Delta x \quad (\text{IV.25})$$

Quand la cote du niveau de l'eau z est définie comme : $z = z_0 + h$ alors :

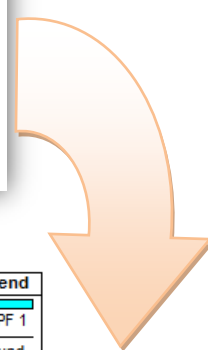
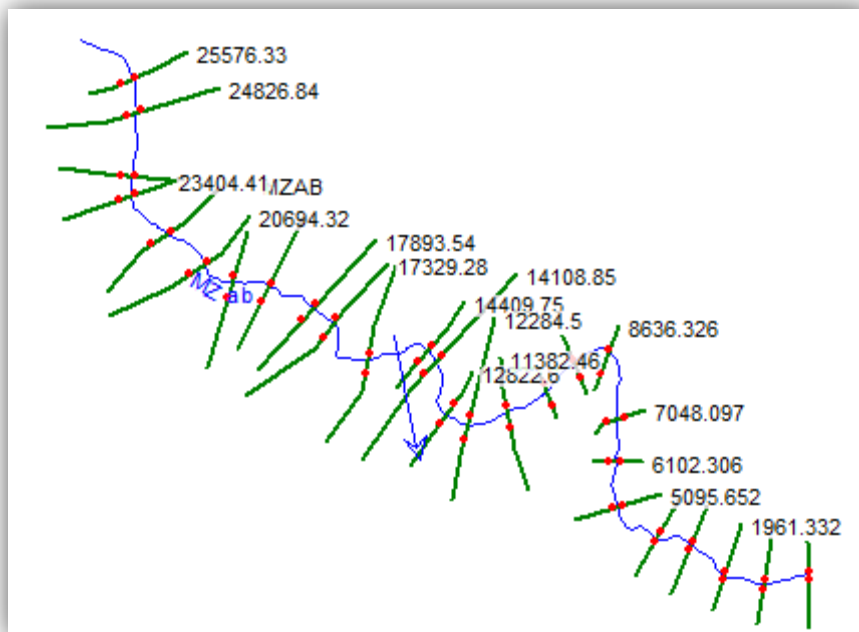
$$\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{\partial z_0}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \quad (\text{IV.26})$$

Où :

$\partial z / \partial x$ est la pente de la ligne du niveau de l'eau. Si nous faisons le remplacement de l'équation (IV.26) dans le (IV.25), et en divisons l'équation entière par $\rho \Delta x$, nous obtenons la forme finale de l'équation de moment :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad (\text{IV.27})$$

IV.3. Construction modèle:



Legend	
■	WS PF 1
■	Ground
●	Bank Sta

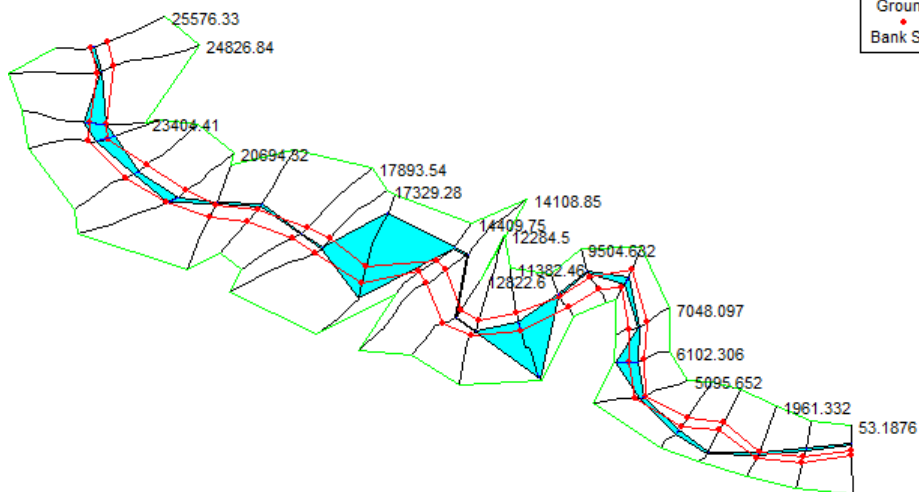


Figure IV.3:modélisation hydraulique avec HEC-RAS [NESRAT.D;ZINAIO ,2018]

IV.4. Données géométriques et hydrauliques:

IV.4.1.Conditions initiales:

A l'instant $t=0$, le débit dans les trois cours d'eau est $Q = 0 \text{ m}^3/\text{s}$, qui représente le débit initial dans les hydro-grammes de crue.

IV.4.2. Conditions aux limites:

Les hydro-grammes de la crue centennale obtenus grâce à l'étude hydrologique des 3 bassins des dans le chapitre 3 est introduit à la limite amont de chaque affluent . la condition de frontière aval conservée est la profondeur normale basée sur la pente du lit entre les deux derniers profils en travers.

IV.4.3. Données de la rugosité:.[25]

Les coefficients de rugosité ont été attribués selon la table de Chow 1859 comme suit:

- Lits mineurs:

$$n = 0.033$$

- Lit majeur:

Rive gauche : $n = 0.035$

Rive droite : $n = 0.035$

IV.5. Résultats de la simulation:

IV.5.1. Résultats de la simulation avant la construction des ouvrages de protection:



Figure IV.4: carte d'inondation avant la construction des barrages [NESRAT.D;ZINALO ,2018]

- Périmètre Zone inondable 52.77554 km.
- surface Zone inondable 3 km²
- Nombre de maisons touchées par les inondations 9280 maisons.

IV.5.2. Résultats de la simulation après construction des ouvrages de protection:

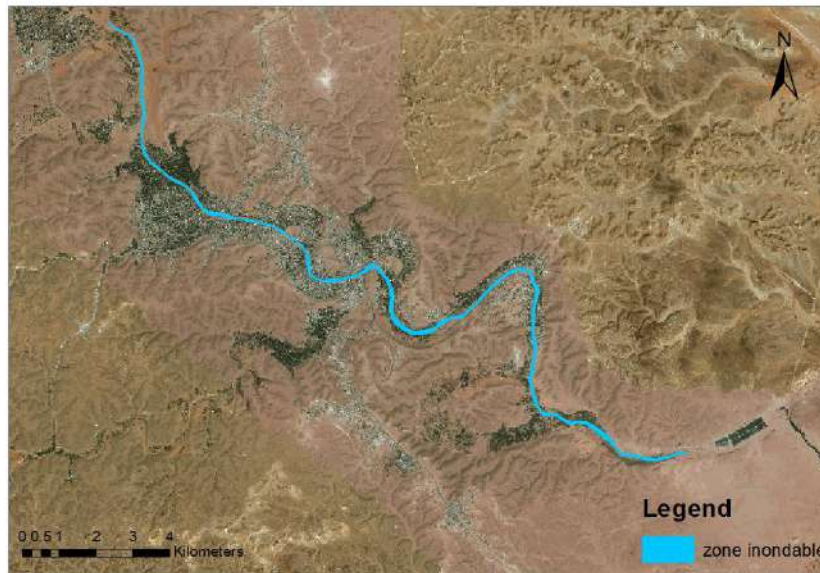


Figure IV.5: carte d'inondation après la construction de barrages [NESRAT.D;ZINA.I.O ,2018]

- Périmètre Zone inondable 52.736538 km
- surface Zone inondable 1.794958 km²
- Nombre de maisons touchées par les inondations 1160 maisons.

Conclusion:

Les résultats des simulations hydrauliques obtenus confirment l'efficacité des trois ouvrages de protection. Toutefois il faut signaler que le nombre des maisons touchées par les inondations est surévalué car on a pas pris en compte les autres mesures de protection contre les inondations existantes dans la vallée du M'Zab.

CONCLUSION GENERALE

Les mesures de protection contre les inondations sont souvent mal entretenues et le volume et la fréquence de l'eau sont répétés, ce qui entraîne une augmentation de la violence dans les inondations.

La ville de Ghardaïa a connu plusieurs inondations dans le passé, mais l'événement qui a resté gravé dans les esprits est celui d'octobre 2008 en raison des dommages corporels et matériels associés.

Pour protéger la ville des inondations on a construit trois barrages écrêteurs en amont à savoir les barrages El Abiod, El Haimeur et Bou Brik. L'objectif de ce mémoire est d'analyser l'efficacité de ces ouvrages.

Pour ce faire, on a employé le modèle hydrologique HEC-HMS afin d'estimer les crues rares à l'entrée des barrages, le modèle fait la transformation pluie-débit en tenant compte des paramètres morphologiques du bassin hydrographique et des caractéristiques physiques des lits. Les pertes sont estimées par la méthode SCS-CurveNumber.

Les hydrogrammes obtenus par HEC-HMS ont été ensuite injectés dans le modèle HEC-RAS, qui est un modèle hydraulique qui repose sur la résolution des équations de Saint-Venant en tenant compte de la géométrie du lit et de la rugosité du sol. Cette simulation hydraulique a permis d'obtenir les hauteurs maximales de l'eau en plusieurs points de la vallée.

Les résultats des simulations hydrauliques, ont permis le dessin des cartes d'inondation pour deux cas ; le premier en absence des trois barrages et le second en présence des trois ouvrages. L'analyse et la comparaison entre les deux cartes obtenues a montré que les barrages sont très efficaces dans la protection de la ville de Ghardaïa en cas d'une crue de récurrence centennale.

Bibliographies

- [1] Saida Benmamar, Mars 2009, Es Etudes Comparatives Des Différents Systèmes D'oxygénation Mécanique Utilises Dans Restauration De Lacs Et De Réservoirs, Université Ammar Telidji De Laghouat,Algéria.
- [2] Boutoutaou Djamel, 05/2012, Etude Et Modélisations Des Crues Des Cours D'eaux En Milieu Semi Aride , Université De Ouargla.
- [3] Ismail Bekai, 04/2017, Etude Ethnographique Des Jeux Traditionnels Dans La Région Du M'zab, Université De Hassiba Benbouali – Chleff.
- [4] Djelloul Belhai, January 2011, Evaluation Du Phénomène D'inondation Dans La Plaine Orientale De La Mitidja (Oued El Hamiz Et Oued Reghaïa) Alger – Algérie, Bulletin Du Service Géologique National.
- [5] Bachi .M, 2011, Problématique Du Risque Inondation En Milieu Urbain ; Cas De L'agglomération De Sidi Bel Abbes » Mémoire De Magister En Hydraulique, Université De Tlemcen.
- [6] Boubchir A., 2007, Risques D'inondation Et Occupation Des Sols Dans Le Thoré (Région De Labruguière Et De Mazamet), Mémoire De Master De Géographie Et Aménagement, Université De Toulouse.
- [8] Derdous Oussama, 2016 Conditions D'écoulement A L'aval D'un Barrage En Cas De Rupture De La Digue-Application Aux Cas Algériens, Thèse Doctorat Hydraulique, Université Badji Mokhtar Annaba.
- [9] Office Federal De L'environnement, 2012, La Gestion Des Crues En Milieu Urbain.
- [10] Khaled Foudil, 2011, Urbanisation Et Risque D'inondation En Algérie, Essai D'un Pari Pour La Ville De Ghardaïa, Thèse Doctorat, Université De Bejaia.
- [11] Abderraof Benaoudj, 2014, Les Inondations Dans La Ville Du M'zab (Genèse Et Protection) , Thèse Doctorat, Ecole Nationale Supérieure D'hydraulique. Blida –Algérie.
- [12] Aissa Madaoui Oussama Et Aissa Madaoui Rabie, 2016, Protection Des Villes Contre Les Inondations Cas Du Centre D'ain Fezza Tlemcen, Mémoire De Master En Hydraulique, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen.

[13] M. Yahiaoui Abdelhalim, 3 Juillet 2012, Inondations Torrentielles Cartographie Des Zones Vulnérables En Algérie Du Nord (Cas De L'oued Mekerra, Wilaya De Sidi Bel Abbès), Thèse Doctorat En Hydraulique, , Ecole Nationale Polytechnique, Laboratoire De Mobilisation Et Valorisation Des Ressources En Eau.

[14] Agence Nationale De L'eau Potable Et Industrielle Et De L'assainissement. (AGEP)

[15] Belli Souhila, 2012, La Filière Lait Dans La Région De Ghardaïa Etat Et Perspectives, Mémoire D'ingénieur En Agronomie Saharienne , Université Kasdi Merbah- Ouargla.

[16] (Mansour Achour, 13 Février 2014, Vulnérabilité Et Protection Des Eaux Souterraines En Zone Aride (Cas De La Vallée Du M'Zab ,Ghardaïa-Algérie) Mémoire Magister En Sciences De La Terre, Université D'Oron.

[17] Ouled Sidi Amor Tayeb, 26/-05/2016 Mémoire De Master En Hydrogéologie , Vulnérabilité A La Pollution Des Eaux De La Nappe Superficielle De La Vallée Du M'Zab, Université Kasdi Merbah – Ouargla.

[19] Ben Taleb, 2017, Mémoire De Master Hydraulique, Un Sig Pour La Gestion Hydrique Et L'aménagement D'un Cours D'eau: Cas De L'oued El-Hammam Ouled Ali, Guelma Université De Ouargla Chapitre Iv D'étude Hydrologique.

[21] J-P Cherel 2010 Création D'un Modèle De Terrain Numérique Sous Tntmips - 1 - Création De Modèles De Terrain Numériques Terrain A Partir De La Visualisation De Contour (Vecteur) En 2d.

[23] Sylvain Bayraudou Et Caroline Gregoire, Septembre, 2010, Synthèse Bibliographique Des Outils D'évaluation Du Ruissellement De Surface, (Evaluation De La Rétention Et Du Traitement Des Produits Phytosanitaires Dans Les Eaux De Surface Grace A La Rétention Et Au Traitement).

[24] Usace. 2010. Hec-Ras 4.1.0. Hydraulic Reference, 248p.

[25] Te Chow, V. (1959). Open Channel Hydraulics. Mcgraw-Hill Book Company, Inc; New York.

[7] Les Agences De L'eau 2012, Crues Et Inondations, [Www.Lesagencesdeleau.Fr/Wp-Content/.../07/15-Fiche-Crues-Et-Inondations_Web](http://www.lesagencesdeleau.fr/Wp-Content/.../07/15-Fiche-Crues-Et-Inondations_Web).

[18] Ghardaïa Tourisme.Net (Association D'orientation Touristique, Patrimoine Mondial De L'unesco Depuis, 1982, (Http://Ghardaiatourisme.Net/Patrimoine-Mondial-Unesco).

[20] Environmental Consulting, Software And Training.

https://www.xmswiki.com/wiki/Wms:Introduction_To_Wms.

[22] Aquaveo 2008 Wms 8.1 Tutorials – Volume 2 75 South 200 East Suite 201 Provo Utah 84606, Www: <http://www.aquaveo.com/>.

Résumé:

La ville de Ghardaïa a connu dans son passé plusieurs inondations dévastatrices notamment celle d'Octobre 2008 causant des pertes humaines et matériels considérables. Les causes de ces catastrophes sont diverses mais la cause la plus pertinente est l'urbanisation anarchique aux bords de l'oued M'Zab. Après cette catastrophe, plusieurs mesures d'atténuation ont été entreprises notamment l'implantation de trois barrages recteurs à l'amont de la ville afin de diminuer les débits lors des crues et éviter ainsi d'autres catastrophes.

Le but de notre travail est d'analyser le risque d'inondation à la suite de ces mesures à travers une modélisation hydrologique via HEC-HMS et une modélisation hydraulique via HEC-RAS.

Mots clés: Ghardaïa, inondations, barrages, HEC-HMS, HEC-RAS.

المخلص

شهدت مدينة غرداية في الماضي العديد من الفيضانات المدمرة وخاصة حدثت في أكتوبر 2008 التي تسببت فيها خسائر كبيرة في الأرواح والممتلكات حيث أنه أسباب هذه الكوارث متنوعة ولكن السبب الأكثر أهمية هو التحضر الفوضوي في المدينة واديمية ميزاب في قلبها. بعد هذه الكارثة عام 2008 تم اتخاذ العديد من تدابير التخفيف والحتم من تكرار مثل هذه الكوارث ببناء ثلاثة سدود في أعالي المدينة للحتم من تدفق الفيضان أثناء الفيضانات وتجنب الكوارث الأخرى.

الغرض من هذه الدراسة هو تحليل مخاطر الفيضان في هذه القياسات من خلال النمذجة الهيدرولوجية عبر HEC-HMS والنمذجة الهيدروليكية عبر HEC-RAS.

الكلمات المفتاحية: غرداية، فيضانات، سدود، HEC-HMS، HEC-RAS.

Abstract:

The city of Ghardaïa experienced in the past several devastating floods especially the October 2008 event which caused considerable loss of life and property. The causes of these disasters are diverse but the most relevant cause is the anarchic urbanization at the M'Zab oued flood plains. After the 2008 disaster, several mitigation measures were undertaken including the construction of three erecting dams upstream of the city to reduce flow discharges during floods and avoid other disasters.

The purpose of this study is to analyze flood risk after these measurements through hydrological modeling via HEC-HMS and hydraulic modeling via HEC-RAS.

Key words: Ghardaïa, floods, dams, HEC-HMS, HEC-RAS.