

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ibn Khaldoun –Tiaret–
Faculté Sciences de la Nature et de la Vie
Département Nutrition et Technologie Agro Alimentaire



Mémoire de fin d'études
En vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie
Spécialité : Hydrogéologie

Présenté par :

BENDIDOUCHE Malika

BENAISSA Chahinez

SELEMANE Maria Ana Filipe

Thème

**Caractérisation hydrologique du bassin versant d'oued Mina : Exemple
du sous bassin du barrage Bakhadda
(Wilaya de Tiaret)**

Soutenu publiquement le 04/07/2022

Jury :

Présidente : Mme ZERKAOUI Laidia

Encadrant : Mr. OTMANE Abdelkader

Examineur : Mr. MOUCHARA Nabil

Grade

MCB

MCA

MAA

Année universitaire 2021-2022

Remerciement

Avant tout, nous remercions le **DIEU** le tout puissant qui nous a donné la sagesse et santé afin de réaliser ce travail.

On tient à exprimer nos vifs remerciements : A notre encadreur Monsieur **OTAMANE Abdelkader** pour sa prise en charge et pour avoir dirigé notre travail durant l'élaboration de ce mémoire.

Au terme de ce travail, il nous est très agréable d'adresser nos vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce projet de fin d'étude.

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mes parents

Mes frères et mes sœurs

Ma famille

Ma chère amie CHAHINEZ

Malika

Dédicace

Je dédie ce travail à

Mes parents

Mes frères et ma sœur

Mes enfants MICHOU et LAYA ALISSAR

Ma chère amie MALIKA

AMINE

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À mes êtres les plus chers de ma vie mon Père (FILIPE) et ma Mère (ELDINA), qui m'ont soutenu et encouragé durant ces années d'études leurs sacrifice et les qualités humaines qui m'ont permis de vivre ce jour.

A mes chers frères et sœurs (Selemane, Fatima, Pedro, Olga, Gimo, Ibraimo, Jorge)

À mon petit neveu Filipe

A mes mis (Samuel, Celso Proserpina, Hortencia, Renata, Ana silvia, Shelsea, Zunaid, Eugenio, Reinaldo, Eucaristia, Delcidio, Richard)

Spécialement à mes collègues BENAÏSSA CHAHINEZ et BENDIDOUCHE MALIKA et à tous qui ont contribué de près ou de loin.

À tous les membres de ma famille et toute personne qui porte le nom SELEMANE, je dédie ce travail à tous ceux qui ont participé à ma réussite, je vous dis merci.

SELEMANE

Liste des abréviations

ASTER : Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

MNT : Modèles numérique du terrain

SIG : Système d'information géographique

A : Surface

P : périmètre

Kc : Coefficient de compacité

L : Longueur du rectangle équivalent

L : Largeur du rectangle équivalent

I_p : Indice de pente de ROCHE

I_g : Indice de pente globale

I_{mp} : Indice de pente moyenne

D : Dénivelée

D_s : Dénivelée spécifique

O.R.S.T.O.M : Office de recherche scientifique et technique outre-mer

P_m : Pente moyenne du thalweg principal

D_d : Densité de drainage

F₁ : Fréquence des thalwegs d'ordre 1

F_s : Fréquence des cours d'eau

C_t : Coefficient de torrentialité

C_a : Coefficient d'allongement

R_c : Rapport de confluence

R_l : Rapport des longueurs

t_c : Temps de concentration des eaux

P_m : Moyenne arithmétique de précipitations

ETP : Evapotranspiration potentielle

ETR : Evapotranspiration réelle

RFU : Réserve en eau facilement utilisable

P : Précipitation (mm)

T : Température (°C)

R : Lambe de ruissellement

I : Infiltration

I : Indice d'aridité de Martonne

I : Indice d'aridité de la FAO

ANBT : Agence nationale des barrages et transfere

ANRH : Agence nationale des ressources hydrauliques

DRE : Direction de ressource en eau

SIG : Système d'Information Géographique

ARCGIS : Aeronuatical reconnaissance covrage geographic information system

ESRI : Environment systems research institute

T : période de retour (ans)

F : Fréquence

$Q_{\max, f\%}$: Débit maximum pour une fréquence donnée (m³/s).

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

M : Coefficient compris entre 700 – 800 ; On prend $\mu = 750$.

$Q_{\text{montée}}$: Débit montée (m³/s).

Q_{max} : Débit maximum pour une fréquence donnée (m³/s).

$Q_{\text{démontée}}$: Débit démontée (m³/s).

T_m : Temps de montée. ($T_m = T_c$ (Temps de concentration))

T_d : Temps de démontée

T : temps (heures)

Liste des tableaux

Chapitre I. présentation de la zone d'étude

Tableau I. 1. Les caractéristiques géométriques des sous bassins de la Mina amont.....	7
Tableau I. 2. L'indice de compacité des sous bassins de Mina amont.....	7
Tableau I. 3. Hypsométrie du sous bassin de la Mina amont.....	9
Tableau I. 4. Altitude moyenne du sous bassin versant de la Mina amont.....	10
Tableau I. 5. Altitude moyenne et médiane pour le sous bassin de la Mina amont.....	11
Tableau I. 6. Indice de pente de Roche.....	12
Tableau I. 7. Indice de pente globale.....	13
Tableau I. 8. Classification du relief selon.R.S.T.O.M.....	13
Tableau I. 9. Indice de pente moyenne.....	14
Tableau I. 10 .Dénivelée spécifique.....	14
Tableau I. 11. Classification du relief par l'intermédiaire de la dénivelée spécifique (O.R.S.T.O.M)	15
Tableau I. 12 .Classification Pente moyenne du thalweg principal du réseau hydrographique pour le bassin de la Mina amont.....	17
Tableau I. 13. Densité de drainage.....	18
Tableau I. 14.Fréquence des thalwegs d'ordre 1.....	18
Tableau I. 15. Fréquence des cours d'eau.....	19
Tableau I.16.Coefficient de torrentialité.....	19
Tableau I. 17.Coefficient d'allongement.....	20
Tableau I. 18.Rapport de confluence.....	20
Tableau I. 19. Rapport de longueur.....	20
Tableau I. 20. Résultats d'estimation du temps de concentration.....	21
Tableau I. 21. Occupation des sols.....	22
Tableau I.22.Récapitulatif des caractéristiques physiques du bassin versant de la Mina Amont.....	28

Chapitre III. Cadre climatique

Tableau III. 1. Caractéristiques des stations pluviométriques du bassin versant d'Oued Mina amont.....	42
---	----

Tableau III. 2. Cumuls pluviométriques annuels (mm) pour les deux stations retenues (1980/1981-2020/2021)	43
Tableau III. 3. Application de la méthode de Thiessen au calcul de la pluie moyenne (1980-1981/2020-2021)	46
Tableau III. 4. Pluie moyenne annuelle calculée par la méthode des isohyètes(1980-1981/2020-2021)	47
Tableau III. 5. Moyennes mensuelles pluviométriques relatives à la période (1980/1981-2020/2021) pour les différentes stations du bassin.....	49
Tableau III. 6.: Répartition saisonnière des pluies au niveau des stations du bassin d'oued Mina amont (1980/1981-2020/2021)	51
Tableau III. 7. Valeurs moyennes mensuelles des températures à la station de Barrage Bakhadda (1980/1981 –2020/2021)	52
Tableau III. 8. Précipitations et températures moyennes mensuelles (1980/1981-2020/2021).....	53
Tableau III. 9. Estimation de l'ETP par la méthode de Thornthwaite(1980/1981-2020/2021).....	57
Tableau III. 10. Bilan hydrique pour le bassin versant d'oued Mina Amont SelonThornthwaite (1980/1981-2020/2021).....	57
Tableau III. 11. Tableau récapitulatif des paramètres du bilan hydrologique (1980/1981-2020/2021).....	61

Chapitre IV. Etude HYDROLOGIE

Tableau. IV. 1. Paramètres statistiques des pluies maximales journalières pour une station (1980/1981-2020/2021).....	63
Tableau. IV. 2. Pluie maximale journalière fréquentielle, pour la station pluviométrique de Barrage Bakhadda (1980/1981-2020/2021).....	66
Tableau. IV. 3. Valeurs de l'exposant climatique pour la station de Barrage Bakhadda.....	66
Tableau. IV. 4. Pluies de courtes durées et leurs intensités pour la station Pluviométrique de Barrage Bakhadda.....	67
Tableau. IV. 6. Débit maximum calculé par la formule de MALLET-GAUTHIER.....	69
Tableau. IV. 7. Valeur de y en fonction de bassin versant.....	70
Tableau. IV. 8. Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de SOKOLOVSKY).....	70
Tableau. IV. 9. Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de POSSENT).....	70
Tableau. IV. 10. Quelques valeurs du coefficient de ruissellement.....	71

Tableau. IV. 11. Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (formule de TURAZA).....	72
Tableau. IV. 12. Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de GIANDOTTI).....	72
Tableau. IV. 13. Récapitulatif des résultats de débit de crue.....	72
Tableau. IV. 14. Coefficient de forme de l'Hydrogramme de crue γ	73
Tableau. IV. 15. Tableau récapitulatif des temps de concentration, de montée et de décrue...	74
Tableau. IV. 16. Hydrogramme de crues pour différentes périodes de retour.....	75

Liste des figures

Chapitre I. Présentation de la zone d'étude

Figure I. 1. Situation géographique du bassin versant d'oued Chelif.....	02
Figure I. 2. Le modèle numérique de terrain du bassin versant de Chelif.....	03
Figure I. 3. Situation géographique du sous bassin versant de barrage Bakhaddapar rapport aux bassins versant de Chelif et la wilaya de Tiaret.....	04
Figure I. 4. Sous bassin versant du barrage Bakhadda.....	05
Figure I. 5. Modèle numérique de terrain.....	06
Figure I. 6. La carte hypsométrique du sous bassin de la Mina amont et sa courbe correspondante.	09
Figure I. 7. Carte des pentes L'objet de ces indices est de caractériser les pentes d'un bassin et de permettre des comparaisons et des classifications.	11
Figure I. 8. Réseau hydrographique du bassin versant du barrage Bakhadda.....	16
Figure I. 9. Profil en long du cours d'eau principal de la Mina amont.....	17
Figure I. 10. Répartition spatiale des différentes occupations des sols du sous bassin de la Mina amont.....	24
Figure I. 11. Répartition générale des terres dans le bassin du barrage Bakhadd.....	25
Figure I. 12. Distribution des classe de sol dans la wilaya de Tiaret.	27

Chapitre II. Cadre géologique et hydrogéologie

Figure II . 1. Carte géologique de la région d'étude élaborée suite à une digitalisation de la carte géologique	31
<i>Figure II. 2. cate geologique de Mina amont.....</i>	33
Figure II. 3.. carte hydrogéologiques du bassin versant d'Oued Mina.....	38

Chapitre III. Cadre climatique

Figure III. 1.Variation des précipitations annuelles dans le bassin d'oued Mina amont (1980/1981-2020-2021)	44
Figure III. 2.Méthode de Thiessen.....	46
Figure III. 3.Carte en isohyètes du bassin d'oued Mina amont(1980/2021)	48
Figure III. 4. Variation mensuelle de la pluviométrie dans le bassin d'oued Mina amont (1980/1981-2020/2021)	50
Figure III. 5.Variation saisonnière des précipitations (1980/0981-2020/2021).....	51

Figure III. 6. Variation des températures moyennes mensuelles dans la station de Barrage Bakhadda(1980/1981-2020/2021).	52
Figure III. 7. Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls pour le bassin d'oued Mina amont (1980/1981–2020/2021)	53
Figure III. 8. Abaque deMARTONNE.....	59

Chapitre IV. Etude HYDROLOGIE

Figure IV. 1. Ajustement comparatif des trois lois pour les stations retenues.....	65
Figure IV. 2. Ajustement des précipitations journalières maximales à la loi Log-normale....	65
Figure IV. 3. Les courbes des pluies à courte durée (a) et Intensité-Durée-Fréquence (b) ...	67
Figure IV. 4. Hydrogramme fréquentiels des différentes périodes de retour.....	68

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction

Chapitre I. Présentation de la zone d'étude

I. Situation géographique du bassin d'étude.....	2
1. Le bassin versant d'oued Chelif.....	2
2. Présentation du bassin versant d'Oued Chelif.....	3
3. Situation du bassin de l'Oued Chelif par rapport aux découpage administratif de la wilaya de Tiaret.....	3
4. Présentation du sous bassin versant de barrage Bakhadda (Mina amont).....	4
II. Caractéristiques morphométriques.....	5
1. Caractéristiques géométriques.....	6
2. Caractéristique de forme.....	6
2.1 Indice de compacité de Gravelius (1914).....	7
2.2 Rectangle équivalent.....	7
3. Caractéristiques du relief.....	8
3.1 Courbe hypsométrique.....	8
3.2 Altitudes caractéristiques.....	9
3.3 Indices de pente.....	11
4. Dénivelée spécifique D_s	13
III. Caractéristiques Hydrographiques du bassin versant.....	15
1. Hiérarchisation du réseau.....	15
2. Profil en long.....	16
3. Pente moyenne du thalweg principal (P_m).....	17
4. Densité de drainage (D_d).....	17
5. Densité de drainage (D_d).....	18
6. Fréquence des thalwegs d'ordre 1 (F_1).....	18
7. Fréquence des cours d'eau (F_s).....	18
8. Coefficient de torrentialité (C_t).....	19
9. Coefficient d'allongement (C_a).....	19
10. Rapport de confluence (R_c).....	20
11. Rapport des longueurs (R_l).....	20
12. Temps de concentration (t_c).....	20
IV. Occupation du sol.....	22
V. Pédologie.....	22
VI. Conclusion.....	26

Chapitre II. Cadre géologie et Hydrogéologie

Introduction.....	30
1.Cadre géologique du bassin de l'Oued Mina amont	30
2.La série stratigraphique :.....	31
2.1JURASSIQUE INFÉRIEUR ET MOYEN :	31
2.2JURASSIQUE SUPÉRIEUR :	31
2.3Le Crétacé	32
2.3.1 Le cénozanien.....	32
2.3.2Le turonien	32
2.3.3Le Sénonien.....	32
2.4Miocènes	32
3. Quaternaire.....	32
Tectonique.....	33
II.Approche hydrogéologique	34
Introduction.....	34
2. Les types d'aquifères :	34
2.1L'aquifère du Jurassique Supérieur :	34
2.1.1 Nappe de l'Oxfordien :	34
2.1.2 Nappe aquifère du Kimméridgien-Tithonique :	35
2.2 Aquifère du Crétacé Supérieur :	36
2.3. Aquifère du Miocène Inférieur :.....	36
2.4 Les eaux de Quaternaire :.....	37
3. Conclusion	37

Chapitre III. Cadre climatique

INTRODUCTION.....	42
2. Etude des paramètres climatologiques :	42
2.1.Etude des précipitations	43
2.2.Les variations temporelles des précipitations.....	43
2.3.La pluie moyenne annuelle précipitée sur le sous bassin	45
2.3.1Moyenne arithmétique	45
2.3.2.Méthode de Thiessen	45
2.3.3.Méthode des isohyètes	47
2.4.Précipitations mensuelles et les régimes saisonniers.....	49
2.4.1.Variabilité mensuelle des précipitations	49
2.4.2.Régime pluviométrique saisonnier	50
3.Température de l'air	51
4.Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls (1952)	52

5. Evapotranspiration.....	54
5.1.Evapotranspiration potentielle.....	54
5.1.1. Formule de Thornthwaite et al (1957)	54
5.1.2.Formule de Turc (1954).....	55
5.2.Evapotranspiration réelle	55
5.2.1.Formule de Turc (1961).....	55
5.2.2.Méthode de Bilan hydrique simplifié selon W.C. Thornthwaite.....	56
6.Régime climatique.....	57
6.1.Indice d'aridité de De Martonne (1926).....	57
6.2.Indice d'aridité de la FAO	58
7.Bilan hydrologique	59
7.1.Estimation du ruissellement	59
7.2.Estimation de l'infiltration.....	59
8.Conclusion	59

Chapitre IV. Étude hydrologique

Introduction.....	62
I.Estimation des débits des crues	62
1.Précipitations extrêmes.....	62
1.1. Ajustement des pluies maximales journalières	63
1.2. Pluies de courtes durées	65
3.Différentes méthodes d'estimation des débits des crues :	68
1.3. Formule de MALLET-GAUTHIER :.....	68
1.4. Formule de SOKOLOVSKY	69
1.5. Formule de POSSENTI.....	70
1.6. Formule TURRAZA :	70
1.7. Formule de GIANDOTTI :	71
2.Hydrogramme de crue :	72
3.Conclusion	76
Conclusion générale	
Références bibliographiques	
Résumé	

**Introduction
générale**

Introduction

L'eau c'est une source de vie, comme source de risques naturels tels que les inondations. Ce genre de risque naturel est le plus répandu sur le globe. Plusieurs facteurs influent sur l'aggravation du phénomène d'inondations notamment les facteurs météorologiques, topographiques, géologiques, hydrologiques et humains. L'Algérie, est parmi les régions méditerranéennes confrontées au phénomène des inondations.

Sur le bassin versant de Mina amont, La prévision des événements hydrologiques extrêmes sont autant d'exercices qui nécessitent de connaître les débits maximums d'un cours d'eau et leur variabilité, notamment pour la construction et l'implantation des ouvrages hydrauliques.

L'objectif de notre étude est de déterminer les débits maximums de crue à l'aide des formules empiriques : Mallet-Gauthier, Giandotti, Turraza, Possenti, Sokolovsky. La récurrence des débits est obtenue à partir de l'analyse statistique des pluies maximales journalières, en se basant sur une série de 41 ans de la station de barrage BAKHADDA.

Nous étudierons le bassin versant de l'oued Mina amont en tant que système représentatif de ce phénomène (les crues extrêmes). Cette unité naturelle sera étudiée sur le plan physique, morphologique, lithologique, pédologique et le couvert végétal pour caractériser les principaux facteurs naturels intervenant dans l'écoulement. Aussi, sur le plan hydroclimatologique pour évaluer le potentiel hydrique du bassin.

Ce travail s'articule autour de 4 chapitres :

- Dans le premier chapitre nous représenterons la zone d'étude.
- Le deuxième chapitre fait apparaître les principales caractéristiques géologiques et hydrogéologiques.
- Le troisième chapitre sera consacré à l'hydroclimatologie. Cette étude, fondée sur le traitement de données pluviométriques, définir les conditions climatiques, particulièrement par l'évaluation de la quantité d'eau reprise par évaporation ou évapotranspiration, afin l'estimation des différents termes du bilan hydrologique.
- Le quatrième chapitre aborde l'application des formules empiriques pour l'estimation du débit maximum et son évaluation pour différents périodes de retour.

CHAPITRE I

I. Situation géographique du bassin d'étude

1. Le bassin versant d'oued Chelif

Le bassin versant de Chelif s'étend sur une superficie de 43750 km². Il est situé au Nord-Ouest de l'Algérie septentrionale, sous le code n°01 et est constitué de trente-six sous bassins (fig. I 1).

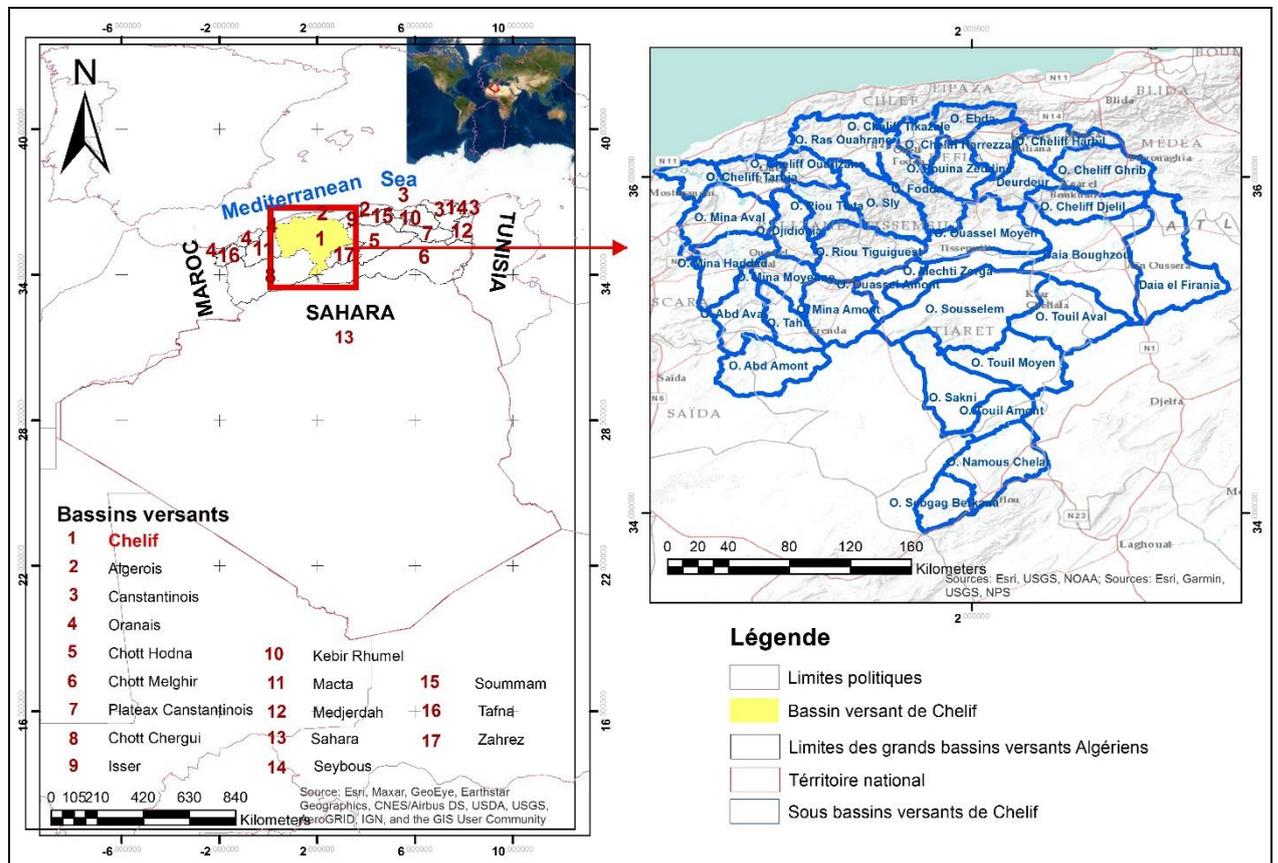


Fig. I.1 : Situation géographique du bassin versant d'oued Chelif

Le bassin versant de Chelif est délimité (fig. I 2) .Au Nord, par coter Algéroise, au Sud par L'Atlas Saharien, à l'Ouest par Chott Chergui et la Macta, et à l'Est par Chott Hodna , les bassins de Zahrez, Isser et côtiers Algérois.

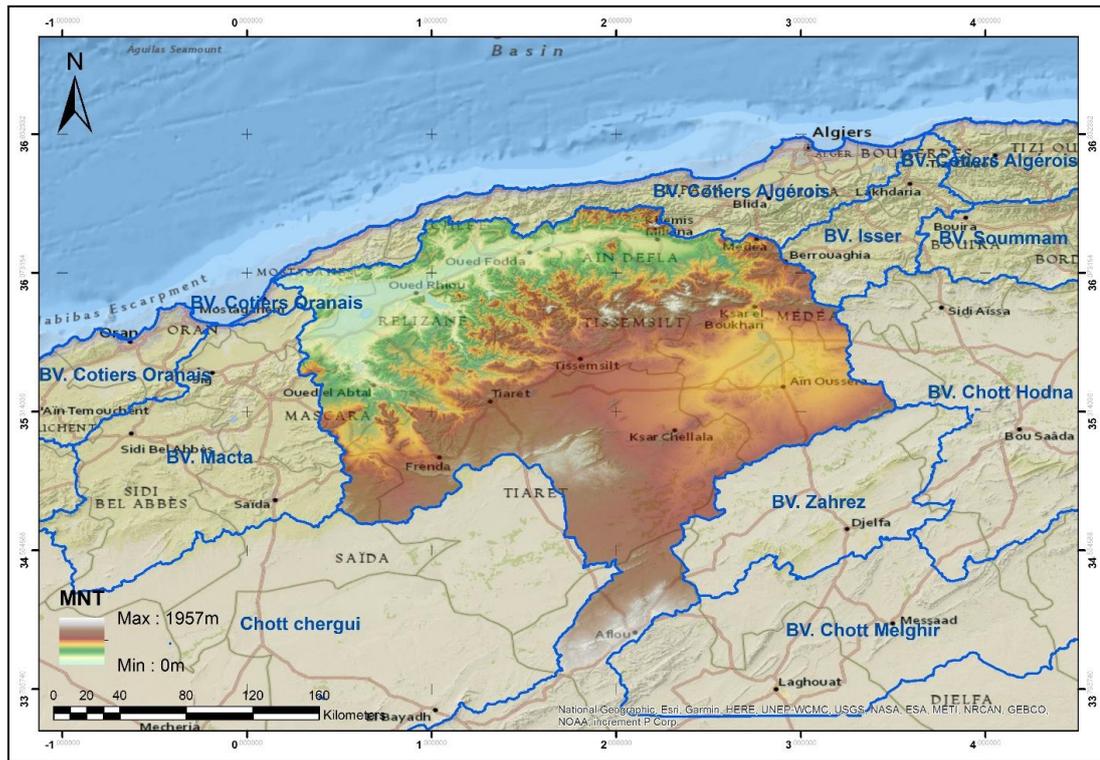


Fig. I. 2 : Le modèle numérique de terrain du bassin versant de Chelif

2. Présentation du bassin versant d'Oued Chelif

Le bassin du Chélif est du point de vue superficiel, le plus vaste bassin hydrographique en Algérie, il représente plus de 77 % de la superficie totale du bassin Chélif-Zahrez avec une superficie de 43750 km², il s'étend entre les longitudes 0° 7' et 3° 31' Est et les latitudes 33° 53' et 36° 26' Nord et limité au nord par les monts du Dahra et au sud par l'Atlas saharien. Il comprend, du nord au sud la vallée du Chélif, le massif de l'Ouarensis, les hauts plateaux allant de Saïda à Tiaret, les plaines de Nahr Ouassel et Ain Oussera.

3. Situation du bassin de l'Oued Chelif par rapport aux découpages administratifs de la wilaya de Tiaret

Le nouveau découpage administratif induit par la loi n°84-09 du 01 février 1984 relative à l'organisation territoriale du pays, fait apparaître que plus de 80% de la wilaya de Tiaret appartient au bassin versant de Chelif, (Fig. I 3).

Tiaret est le chef-lieu d'une wilaya composée de 42 regroupées en 14 daïras. D'une superficie de 20673 km². Elle est située dans les hauts plateaux de l'Oranie.

La population de la wilaya de Tiaret a été de 1006242habitants (recensement de 2020d'après l'Office National de la Statistique ONS). Le taux d'accroissement naturel de la population est élevé dans la région, est responsable de besoins supplémentaires en eau,

et en terrains agricoles, ce qui a conduit à une surexploitation des ressources naturelles et à la dégradation de l'environnement.

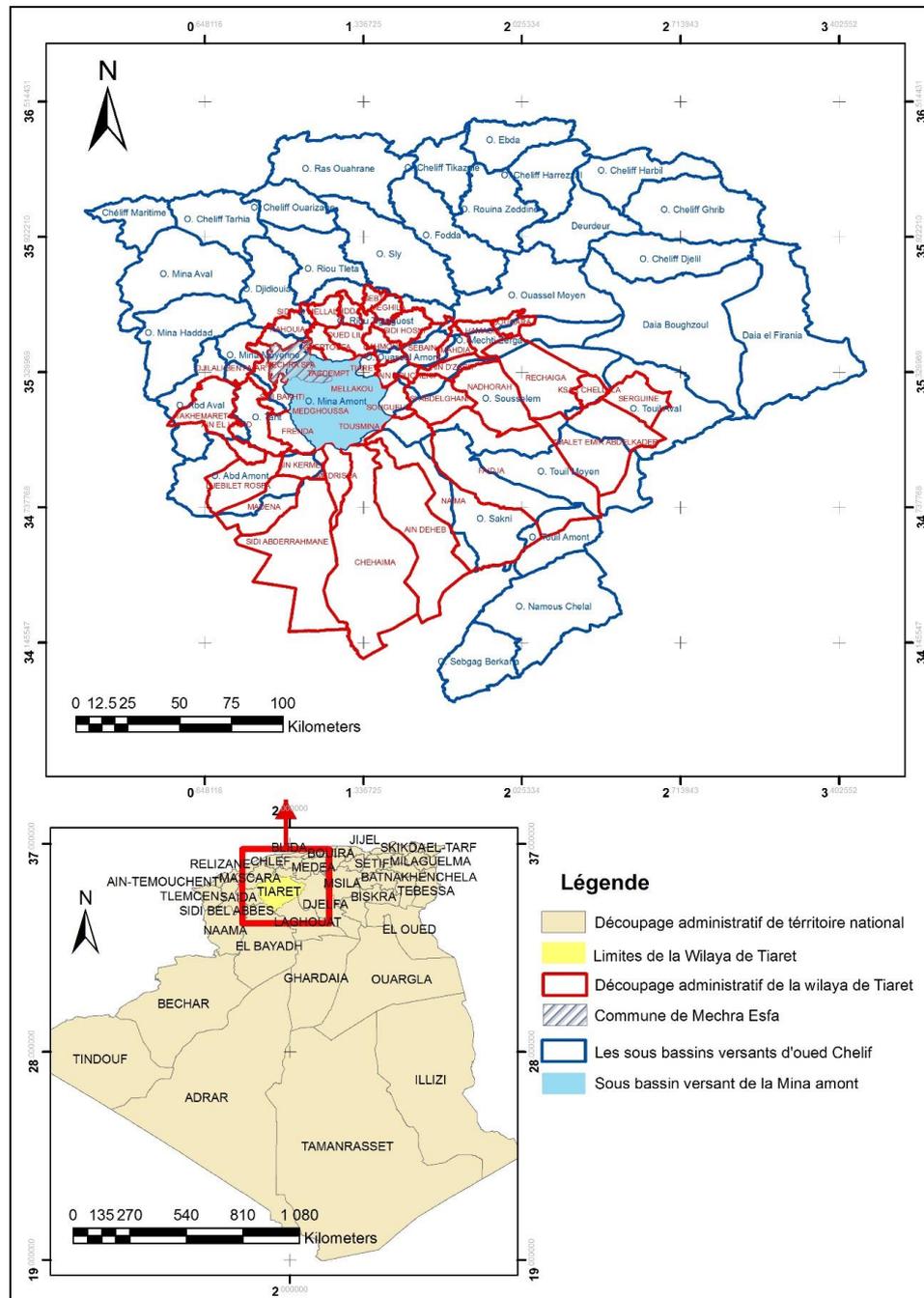


Fig. I .3 : Situation géographique du sous bassin versant de barrage Bakhadda par rapport aux bassins versant de Chelif et la wilaya de Tiaret

4. Présentation du sous bassin versant de barrage Bakhadda (Mina amont)

Le sous bassin versant de l'oued Mina amont touche deux entités géographiques connues en Algérie l'atlas tellien et les hautes plaines telliennes, il est situé dans le grand bassin du Chélif. Le secteur étudié s'étend d'Est en Ouest entre le parallèle de Frenda (1°) et celui de Sougueur

(1°30') et du Nord au Sud entre la latitude 35°23' à 3 km au nord de Tiaret et 35° à 7 km au sud de Frenda. Il marque la limite Nord-Est du bassin des hauts plateaux oranais. A l'est, il est limité par le sous bassin versant de Nahr Ouassel. De part sa situation, un tiers de ce secteur est représenté par une bande d'une dizaine de km allant de Frenda au sud à Mechraa sfa au nord, et faisant partie de l'atlas tellien. Les deux autres tiers de plus de vingt km, formant une surface subtabulaire (hauts plateaux) aux hautes plaines telliennes (Bouchenafa N, 2009).

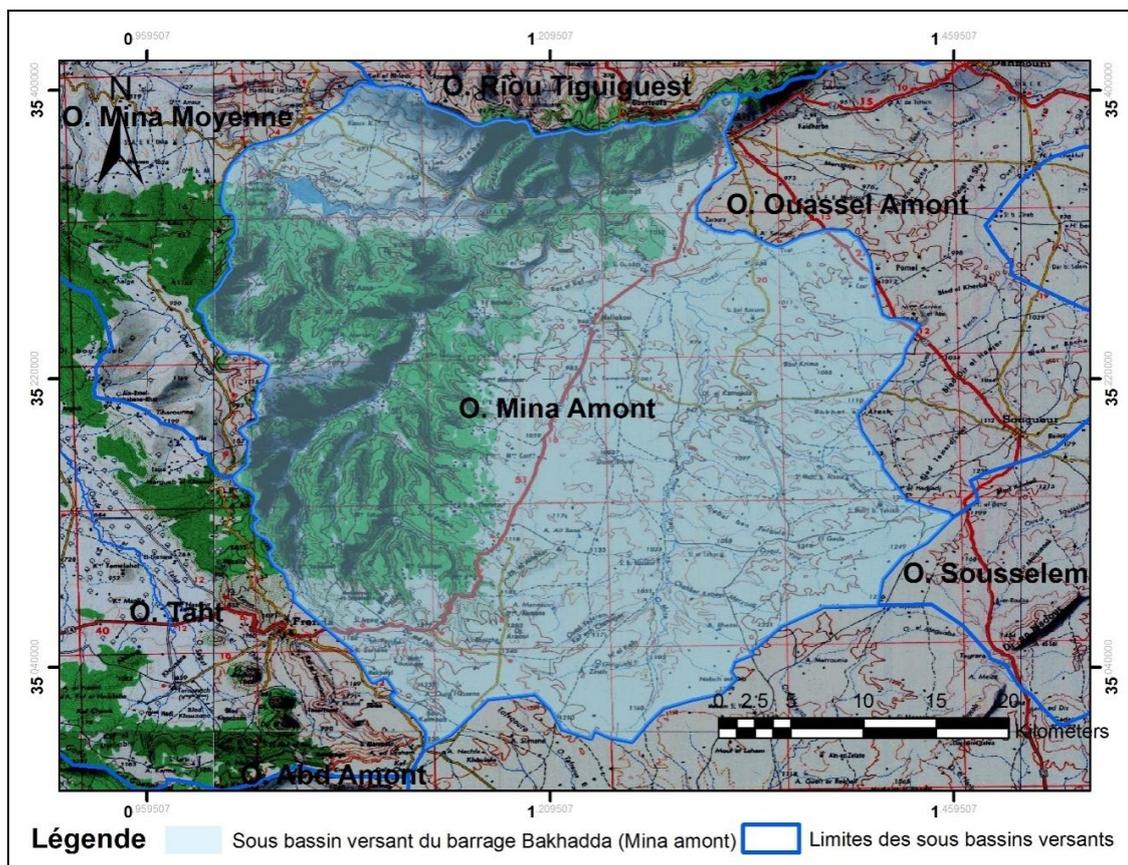


Fig. I. 4 : Sous bassin versant du barrage Bakhadda

II. Caractéristiques morphométriques

Pour bien mener cette étude, nous avons utilisé un modèle numérique de terrain ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) d'une résolution spatiale de 30m (Fig. I 5) qui nous a permis de créer au moyen d'un SIG (ArcGIS) les cartes de : pente, altitude, réseau hydrographique et la délimitation des sous-bassins versants.

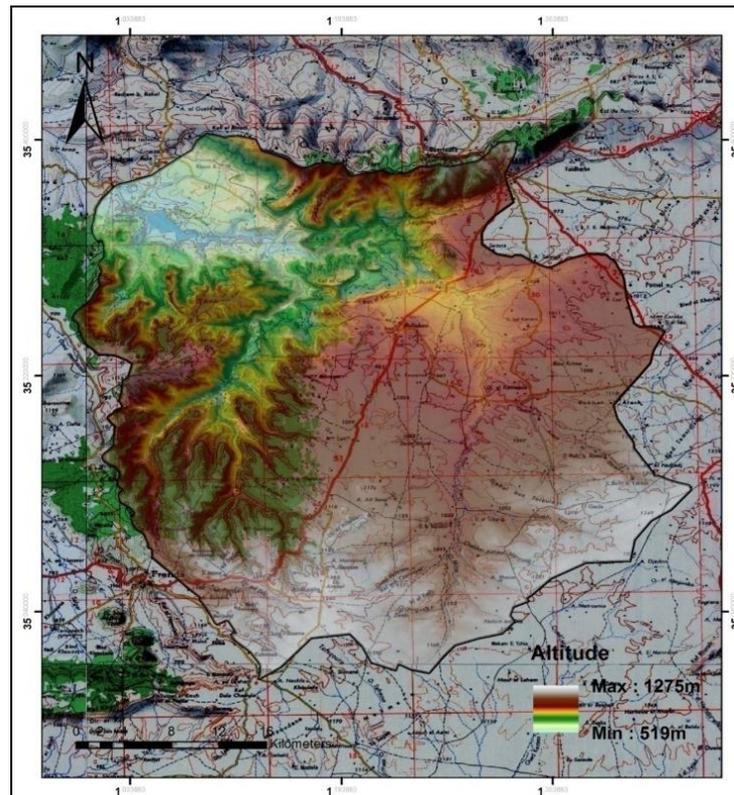


Fig. I. 5 : Modèle numérique de terrain

1. Caractéristiques géométriques

Le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau, les débits vont être en partie reliés à sa surface.

Les caractéristiques géométriques du bassin versant (surface, Périmètre et longueur des oueds) sont mesurées à l'aide du logiciel de Système d'Information Géographique (SIG) ArcGis.

Tableau. I.1 : Les caractéristiques géométriques des sous bassins de la Mina amont

Sous bassin	Surface (km ²)	Périmètre (km)	Longueur de talweg principal (km)
Mina amont	1327.09	171.88	59.05

2. Caractéristique de forme

La forme d'un bassin versant influence l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin versant. Par exemple, une forme allongée favorise, pour une même pluie, les faibles débits de pointe de crue, ceci en raison des temps d'acheminement de l'eau vers l'exutoire (plus importants). Ce phénomène est lié à la notion de temps de concentration.

En revanche, les bassins en forme d'éventail, présentant un temps de concentration plus court, auront les plus forts débits de pointe.

Il existe différents indices morphologiques permettant de caractériser le milieu, mais aussi de comparer les bassins versants entre eux. Citons à titre d'exemple, l'indice de compacité de Gravelius (k_c).

2.1. Indice de compacité de Gravelius (1914)

La caractéristique de forme la plus utilisée est le "coefficient de Gravelius". Il se définit comme le rapport du périmètre du bassin versant au périmètre du cercle ayant la même surface (appelée aussi coefficient de compacité) :

$$k_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (\text{I. 1})$$

A : surface du bassin versant (km²) et P son périmètre (km).

Tableau. I. 2 : L'indice de compacité des sous bassins de la Mina Amont

Sous bassin	A (km ²)	P (km)	K_c	Observation
Mina amont	1327.09	171.88	1.32	Allongé

$K_c > 1,32$ le bassin est « Allongée »

Alors le sous bassin versant d'oued Mina amont à une forme allongée orientée Est-Ouest, il implique par conséquent un temps de concentration lent.

2.2 Rectangle équivalent

C'est un modèle établi par ROCHE (1964), il est défini comme un rectangle de longueur (L) et de largeur (l) qui a la même surface et le même périmètre que le bassin, l'exutoire est représenté par une des largeurs du rectangle et les courbes de niveau par les parallèles.

La notion de rectangle équivalent a été introduite dans l'étude géomorphologique des bassins et elle permet la comparaison des bassins entre eux du point de vue de l'influence de la forme sur l'écoulement, en possédant la même superficie et le même périmètre que le bassin considéré et par conséquent le même indice de compacité.

Le rectangle équivalent est caractérisé par la longueur « L » et la largeur « l » défini respectivement par les formules suivantes :

- La longueur du rectangle équivalent

$$L = \frac{K_c}{1.128} * \sqrt{S} [1 + \sqrt{1 - (\frac{1.128}{K_c})^4}] \quad (I. 2)$$

- La largeur du rectangle équivalent

$$l = \frac{K_c}{1.128} * \sqrt{S} [1 - \sqrt{1 - (\frac{1.128}{K_c})^4}] \quad (I. 3)$$

Le bassin versant d'Oued Mina Amont est représenté par un rectangle équivalent de longueur $L = 64.74\text{km}$ et de largeur $l = 20.50\text{km}$

3. Caractéristiques du relief

Le relief possède une influence directe sur les facteurs climatiques et une influence indirecte sur la formation des écoulements de surface. Il détermine en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains, l'infiltration et l'évaporation. C'est un élément capital dans le comportement hydraulique d'un bassin.

3.1 Courbe hypsométrique

En général, on ne s'intéresse pas à l'altitude moyenne mais plutôt à la dispersion des altitudes. L'étude statistique permet de tracer la courbe hypsométrique pour le sous bassin d'Oued Mina amont (Fig. I 6). Cette courbe donne la surface A (en km^2 ou en % de la surface totale) où les altitudes sont supérieures à une cote donnée (Tab. I. 2). Cette courbe est établie en planimétrant pour différentes altitudes les surfaces situées au-dessus de la courbe de niveau correspondante.

D'après la courbe hypsométrique (Fig. I.6), on constate que plus de 90% de la surface totale du bassin correspond à des altitudes allant de 800 à 1275m et que les altitudes supérieures à 1070m représentent la moitié de la surface totale du bassin.

La concavité de la courbe hypsométrique montre que la forme du bassin présente un état de jeunesse où le potentiel érosif est important.

Tableau. I. 3 : Hypsométrie du sous bassin de la Mina amont

Altitudes (m)	Surface (km ²)	Pourcentage partiel	Pourcentage cumulé
1100 - 1275	359.2	27.0693917	27.0693917
1000 – 1100	379.6	28.6067402	55.6761319
900 – 1000	297.1	22.3895219	78.0656538
800 – 900	123.4	9.29945138	87.3651052
700 – 800	79.74	6.00922409	93.3743293
500 – 700	87.92	6.62567071	100

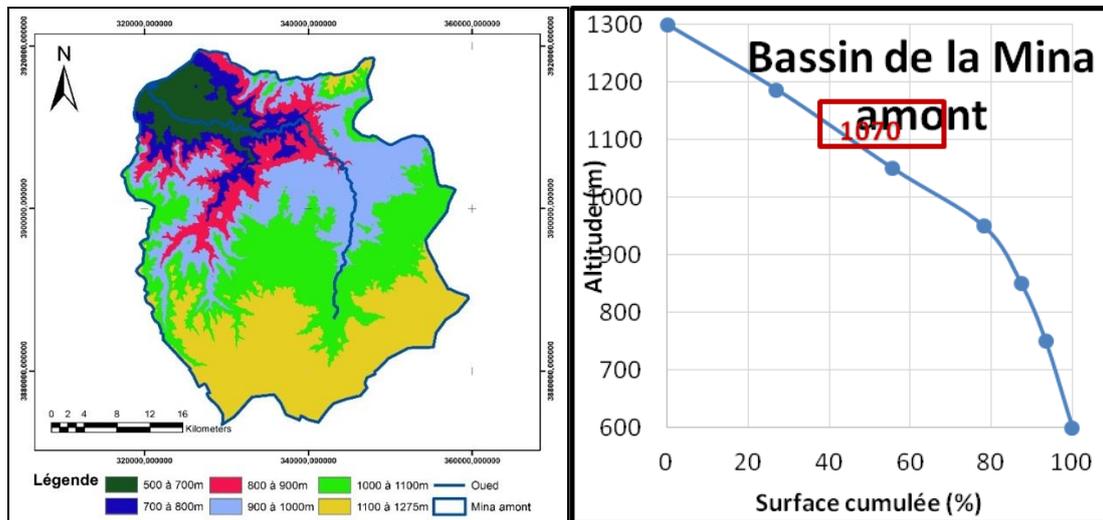


Fig. I. 6 : La carte hypsométrique du sous bassin de la Mina amont et sa courbe correspondante.

3.2 Altitudes caractéristiques

a) Altitude moyenne du bassin versant (H_{moy})

Elle se déduit directement de la courbe hypsométrique. On peut la définir comme suit :

$$H_{moy} = \frac{1}{A} \sum H_i A_i \tag{I. 4}$$

Avec :

H_i : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau (m).

A_i : Surface partielle comprise entre deux courbes de niveau (Km²).

A : Surface totale du bassin versant (Km²).

Tableau. I. 4 : Altitude moyenne du sous bassin versant de la Mina amont

H_i	Mina amont	
	A_i	$H_i * A_i$
600	87.92	52752
750	79.74	59805
850	123.4	104890
950	297.1	282245
1050	379.6	398580
1185	359.2	425652
H_{moy}	997.6143m	

b) Altitude médiane (H_{med})

Elle correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique (Fig. I. 6).

$$H_{med} = H_{50\%} \quad (I. 5)$$

$$H_{med} = H_{50\%} = 1070 \text{ m}$$

Alors l'altitude médiane pour l'ensemble du sous bassin du barrage Bakhadda rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière (Tab. I 4).

Tableau. I. 5 : Altitude moyenne et médiane pour le sous bassin de la Mina amont

Sous bassin	Altitudes moyenne (m)	Altitudes médiane (m)	Altitudes maximale (m)	Altitudes minimale (m)
Mina amont	997.61	1070	1275	519

L'altitude maximale (H_{max}) et minimale (H_{min}) (Tableau I 4) sont obtenues directement à partir le modèle numérique de terrain (Fig. I.5). L'altitude maximale pour le bassin du barrage Bakhadda correspond au point le plus élevé du bassin, ou bien à

l'intermédiaire de la courbe hypsométrique et correspond à une surface cumulée de 1%, tandis que l'altitude minimale représente le point le plus bas, généralement à l'exutoires correspond à une surface cumulée de 99% sur la courbe hypsométrique.

3.3 Indices de pente

La pente topographique est un élément capital dans le comportement hydrologique du bassin, elle détermine en grande partie l'aptitude des terrains au ruissellement et conditionne la vitesse d'écoulement des eaux de surface par l'effet de la pesanteur. La carte des pentes du bassin de la Mina amont est donnée par la (figure I.7).

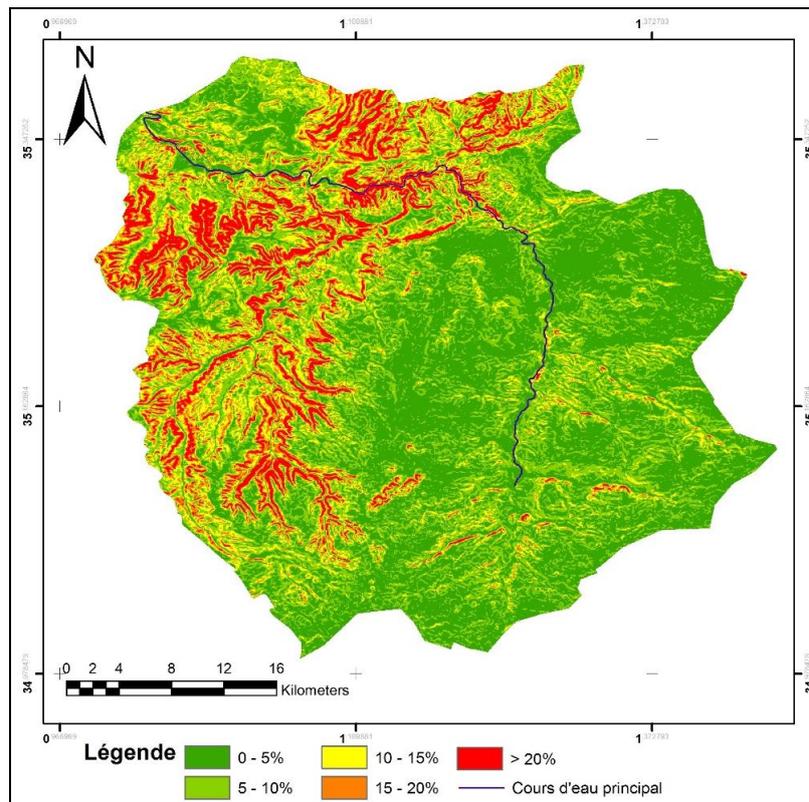


Fig. I. 7 : Carte des pentes

L'objet de ces indices est de caractériser les pentes d'un bassin et de permettre des comparaisons et des classifications.

3.3.1 Indice de pente de Roche I_p

C'est un indice proposé par ROCHE (1964) : est la moyenne de la racine carrée des pentes mesurées sur le rectangle équivalent et pondérée par les surfaces. Il s'exprime en pourcentage.

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^n \sqrt{A_i(H_i - (H_i - 1))} \quad (\text{I. 6})$$

Avec :

A_i : Fraction de la surface totale du bassin comprise entre les cotes H_i et H_{i-1} , fonction donnée par le tableau hypsométrique,

L : longueur du rectangle équivalent (m),

$(H_i - H_{i-1})$: Dénivelée entre deux courbes de niveau voisines (m).

Tableau. I.6 : Indice de pente de Roche

Altitudes		Mina amont	
H_i	H_{i-1}	A_i	B_i
1100 - 1275	1100	359.2	250,718
1000 - 1100	1000	379.6	194,833
900 - 1000	900	297.1	172,365
800 - 900	800	123.4	111,085
700 - 800	700	79.74	89,297
500 - 700	500	87.92	132,604
$\sum \sqrt{A_i(H_i - H_{i-1})}$			950,905
Longueur (m)		64740	
I_p		3.73%	

$$B_i = \sqrt{A_i(H_i - H_{i-1})}$$

3.3.2 Indice de pente globale

L'indice de Roche étant cependant trop long à évaluer pour des études rapides, on a proposé un indice encore plus simple : la pente globale.

$$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} = \frac{D}{L} \tag{I. 7}$$

$$I_g = \frac{1280 - 720}{64.74} = 0.0086$$

D : dénivelée $H_{5\%} - H_{95\%}$, définie sur la courbe hypsométrique ou même directement à l'œil sur la carte topographique,

L : longueur du rectangle équivalent.

Tableau I.7 : Indice de pente globale

Sous bassins	$H_{5\%}$	$H_{95\%}$	D	L	I_g	I_g (%)
Mina amont	720	1280	560	64740	0.0086	0.86

D'après la classification d'O.R.S.T.O.M « Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer » (tableau I 7), le sous bassin du barrage Bakhadda se caractérise par un relief assez faible.

Tableau .I. 8 : Classification du relief selon O.R.S.T.O.M

R1	Relief très faible	$I_g < 0,002$
R2	Relief faible	$0,002 < I_g < 0,005$
R3	Relief assez faible	$0,005 < I_g < 0,01$
R4	Relief modéré	$0,01 < I_g < 0,02$
R5	Relief assez fort	$0,02 < I_g < 0,05$
R6	Relief fort	$0,05 < I_g < 0,1$
R7	Relief très fort	$0,1 < I_g$

3.3.3 Indice de pente moyenne (I_{pm})

La pente moyenne apporte des renseignements importants sur la topographie du bassin, sur le ruissellement et influence directement le débit de pointe lors d'une averse. Elle est définie comme le rapport entre la dénivelée totale du rectangle équivalent et sa longueur (tableau I 8).

$$I_{pm} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} \quad (I. 8)$$

Tableau I. 9 : Indice de pente moyenne

Sous bassins	H_{max}	H_{min}	L	I_{pm}	I_{pm} (%)
Mina amont	1275	519	64740	0.011	1.1%

4. Dénivelée spécifique D_s

L'indice I_g décroît pour un même bassin lorsque la surface augmente, il est donc difficile de comparer des bassins de tailles différentes.

La dénivelée spécifique D_s ne présente pas cet inconvénient, elle dérive de la pente globale I_g en la corrigeant de l'effet de surface admis étant inversement proportionnel à \sqrt{A} :

$$D_s = I_g \sqrt{A} = \frac{D}{L} \sqrt{A} = D \sqrt{l/L} \quad (I. 9)$$

La dénivelée spécifique ne dépend donc que de l'hypsométrie ($D = H_{5\%} - H_{95\%}$) et de la forme du bassin (l/L) (tableau I 9). Elle donne lieu à une deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M., indépendante des surfaces des bassins (tableau I 10).

Tableau I. 10 : Dénivelée spécifique

Sous bassins	D	L	l	D_s
Mina amont	560	64740	20500	315.12

D'après la deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M (Tableau I 10), le sous bassin du barrage Bakhadda correspond à la classe R6.

Alors, à la lumière des deux classifications d'O.R.S.T.O.M on peut dire que le bassin versant de la Mina amont se caractérise par un relief assez faible à relief fort.

Tableau. I .11 : Classification du relief par l'intermédiaire de la dénivelée spécifique (O.R.S.T.O.M)

R1	Relief très faible	$D_s < 10 \text{ m}$
R2	Relief faible	$10 \text{ m} < D_s < 25 \text{ m}$
R3	Relief assez faible	$25 \text{ m} < D_s < 50 \text{ m}$
R4	Relief modéré	$50 \text{ m} < D_s < 100 \text{ m}$
R5	Relief assez fort	$100 \text{ m} < D_s < 250 \text{ m}$
R6	Relief fort	$250 \text{ m} < D_s < 500 \text{ m}$
R7	Relief très fort	$500 \text{ m} < D_s$

III. Caractéristiques Hydrographiques du bassin versant

Le réseau hydrographique : Ensemble des canaux de drainage naturels où s'écoulent les eaux provenant du ruissellement ou restituées par les nappes souterraines soit sous forme de source, soit par restitution continue le long du lit du cours d'eau (Roche, 1964).

Le réseau hydrographique peut se caractériser par trois éléments : sa hiérarchisation, son développement (nombres et longueurs des cours d'eau) et son profil en long.

1. Hiérarchisation du réseau

La classification topologique du réseau hydrographique est effectuée à l'aide d'un modèle numérique de terrain, d'une résolution spatiale de 30m. La procédure basée sur une méthode proposée initialement par Horton (1945) puis modifiée par Strahler (1952) (Tab.I 11). Elle est la plus utilisée aujourd'hui, son principe est comme suit.

- Tout cours d'eau n'ayant pas d'affluent est dit d'ordre 1.
- Au confluent de deux cours d'eau de même ordre n , le cours d'eau résultant est d'ordre $n + 1$
- Un cours d'eau recevant un affluent d'ordre inférieur garde son ordre.

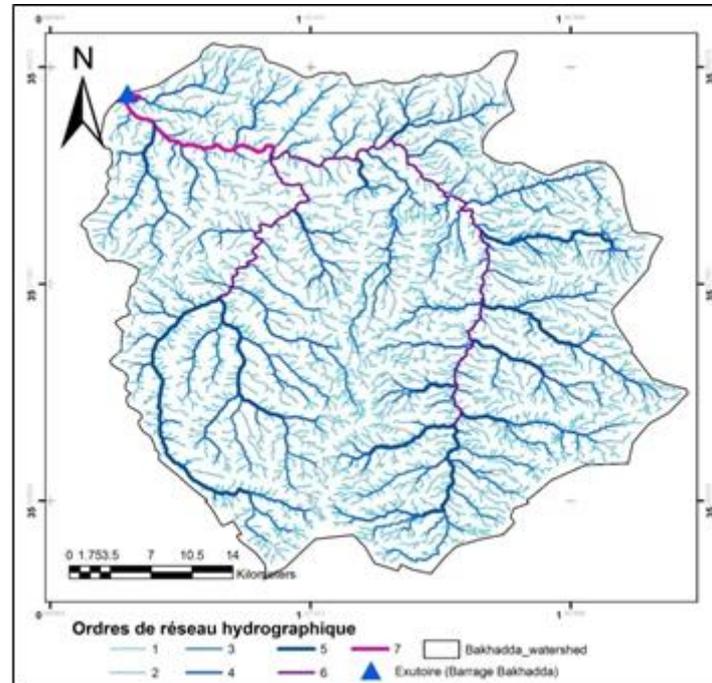


Fig. I.8 : Réseau hydrographique du bassin versant du barrage Bakhadda

La forme et la hiérarchie d'un réseau hydrographique sont impérativement gouvernées par différents facteurs qui sont :

- La géologie (plissement, nature du substratum, accidents ...),

- Climat (humidité, précipitations ...),
- Pente des terrains,
- Présence humaine.

Le chevelu hydrographique de l'oued Mina amont est développé, son tracé est influencé par le relief en place, Il suit la direction Sud-Est Nord-Ouest (Fig. I.8).

Le réseau hydrographique de la Mina amont est composé par de nombreux affluents, représenté fréquemment par des cours d'eau temporaires, L'oued est alimenté par des précipitations et par des sources.

Tableau. I. 12 : Classification du réseau hydrographique pour le bassin de la Mina amont

	SBV. Mina amont							
Ordre	1	2	3	4	5	6	7	Total
Nombre	2563	691	176	51	13	2	1	3497
Longueur (km)	1470.2	691.8	354.4	164.5	101	61.9	16.5	2860.3
Longueur moyenne (km)	0.57	1.00	2.01	3.22	7.76	30.95	16.5	61.94

2. Profil en long

En raison de la densité du réseau hydrographique du bassin de la Mina amont, ce profil ne sera tracé que pour le cours principal.

Le profil en long relatif au cours d'eau principal de l'Oued permet d'apporter des éléments complémentaires à la densité de drainage, au vu du rôle déterminant la pente moyenne qui sert surtout dans l'évaluation des temps de concentration d'un bassin versant, ce temps de concentration étant lié à la vitesse de propagation des particules fines.

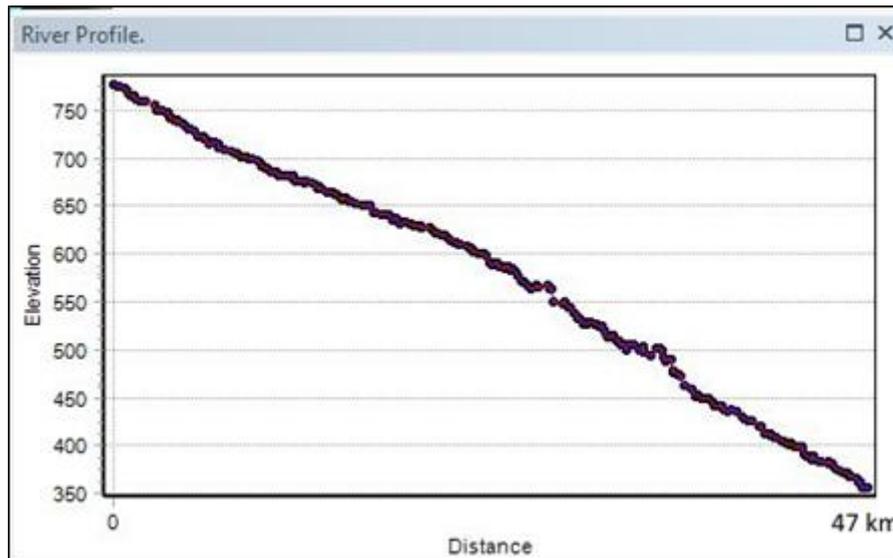


Fig. I.9 : Profil en long du cours d'eau principal de la Mina amont

En général, le talweg principal possède une longueur totale de 59.05km, dont la pente est relativement élevée (0.93%) dans le sens d'une accentuation de la vitesse de propagation des crues.

3. Pente moyenne du thalweg principal (P_m)

Elle est définie par le rapport de la dénivelée (ΔH) à la longueur comprise entre deux points suffisamment éloignés du cours d'eau principal (ΔL).

$$P_m = \frac{\Delta H}{\Delta L} \quad (\text{I. 10})$$

Tableau I .13. Pente moyenne du thalweg principal

Sous bassin	ΔL (Km)	H_{\min}	H_{\max}	ΔH	$P_m(\%)$
Mina amont	59.05	519	1275	756	1.28

4. Densité de drainage (D_d)

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

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

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{A} \quad (\text{I. 11})$$

Tableau I .14 : Densité de drainage

Longueur (km)	2860.3
Surface (km ²)	1327.09
Densité de drainage(Dd)	2.15

La densité de drainage qui exprime la dissection générale du relief est variable à l'échelle des sous bassins où la superficie et la répartition des chevelus hydrographiques jouent un rôle déterminant dans la compensation de la densité de drainage. Cette dernière est généralement modérée (2.15 km/km²) pour le bassin du barrage Bakhadda ce qui est une caractéristique des régions semi-arides, elle résulte à l'échelle zonale de l'intensité des précipitations et leur répartition saisonnière, de l'état du couvert végétal et par l'absence des sols.

La densité de drainage temporaire est élevée par rapport à la densité de drainage permanente cette situation s'explique par un terrain accidenté et la fréquence élevée des confluences, cette forte densité jointe le plus souvent à la forte pente, favorisant les crues rapides et puissantes avec un transport solide très élevé.

5. Fréquence des thalwegs d'ordre 1 (F1)

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

$$F1 = N_1/A \quad (I. 12)$$

Avec N_1 : nombre total des cours d'eau d'ordre 1 et A : la surface (Krn²).

Tableau I .15 : Fréquence des thalwegs d'ordre 1

N_1	2563
Surface (km ²)	1327.09
$F1(km^{-2})$	1.931

6. Fréquence des cours d'eau (F_s)

Représente le nombre de cours d'eau par unité de surface :

$$F_s = N_t/A \quad (I. 13)$$

Avec N_t : nombre total des cours d'eau et A : la surface (Km²)

Tableau I .16 : Fréquence des cours d'eau

N_t	3497
Surface (km ²)	1327.09
$F_s(\text{km}^{-2})$	2.635

7. Coefficient de torrentialité (C_t)

C'est un coefficient qui tient compte à la fois de la densité des thalwegs élémentaires et de la densité de drainage.

$$C_t = D_d \cdot F_1 = D_d \cdot \frac{N_1}{A} \quad (\text{I. 14})$$

Avec D_d : densité de drainage

F_1 : Fréquence des thalwegs d'ordre 1.

Tableau I .17 : Coefficient de torrentialité

$F_1 (\text{km}^{-2})$	1.931
$D_d (\text{km}/\text{km}^2)$	2.15
C_t	5.65

8. Coefficient d'allongement (C_a)

Il est donné par la relation suivante :

$$C_a = \frac{[2 \cdot (A \cdot \pi)^{1/2}]}{L_0} \text{ et } L_0 = \frac{\sum L_m}{n} \quad (\text{I. 15})$$

C_a : Coefficient d'allongement.

A : Superficie du bassin versant en km²

L_0 : Longueur moyenne des thalwegs au niveau de chaque Oued, où n : nombre d'ordre.

L_m : Longueur moyenne des thalwegs de même ordre (Km).

Tableau. I.18 : Coefficient d'allongement

A	L_0	C_a
1327.09	8.85	14.58

9. Rapport de confluence (R_c)

Il est donné par la relation suivante :

$$R_c = \frac{N_n}{N_{n+1}} \quad (\text{I. 16})$$

Avec N_n : Nombre de thalwegs d'ordre n.

N_{n+1} : Nombre de thalwegs d'ordre n+ 1.

Tableau I. 19 : Rapport de confluence

Ordre	1/2	2/3	3/4	4/5	5/6	6/7	Moyenne
BV.Mina amont	3.70	3.92	3.45	3.92	6.5	2	3.91

10. Rapport des longueurs (R_l)

Il est défini comme le rapport entre la longueur moyenne des thalwegs d'ordre (n+1) par celui des thalwegs d'ordre (n).

$$R_l = \frac{L_{n+1}}{L_n} \quad (\text{I. 17})$$

Avec R_l : rapport de longueur.

L_n : Longueur moyenne des thalwegs d'ordre n.

L_{n+1} : Longueur moyenne des thalwegs d'ordre n+ 1.

Tableau. I. 20 : Rapport de longueur

	Ordre	1	2	3	4	5	6	7	Moyenne
BV.Mina amont	L_n	1470.2	691.8	354.4	164.5	101	61.9	16.5	408.57
	R_l	/	0.47	0.512	0.464	0.614	0.612	0.266	0.419

11. Temps de concentration (t_c)

C'est le temps mis par une particule d'eau tombée sur le point le plus éloigné du bassin versant pour arriver à l'exutoire. Le temps de concentration est souvent compris comme le temps entre la fin de la pluie nette et la fin du ruissellement direct. En pratique, c'est une grandeur difficile à évaluer. Pour son calcul, nous utilisons les formules suivantes :

a. Formule de Giandotti(1937)

Elle a été élaborée en Italie en 1937 par le professeur Mario Giandotti sur la base des données de plusieurs bassins versants.

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \quad (I. 18)$$

Avec

t_c : temps de concentration (heure).

A : superficie du bassin (km^2).

L : longueur du thalweg principal (km).

H_{moy} : altitude moyenne (m).

H_{min} : altitude minimale (m).

b. Formule de Kirpich(1940)

Cette formule est applicable pour les zones arides et semi arides, elle est définie par :

$$t_c = 0.6615 L^{0.77} I_g^{0.385} \quad (I. 19)$$

L : longueur du bassin versant (km).

I_g : Indice de la pente globale.

c. Formule d'Izzard-Meunier (1991)

$$t_c = \beta \frac{A^{0.812}}{I^{0.825}} \quad (I. 20)$$

Avec :

t_c : temps de concentration (minute).

A : surface du bassin-versant (km^2).

B : Coefficient de Meunier valant $\beta = 331$ pour un bassin-versant végétalisé et $\beta = 145$ lorsque le bassin-versant est dégradé.

I : pente moyenne le long du thalweg en %.

e. Formule de Basso (1973)

Cette formule a été élaborée en 1973 par Basso sur une base de données de bassins versants d'Amérique centrale.

$$t_c = 0.067 \cdot \frac{L^{1.155}}{(H_{max} - H_{min})^{0.585}} \quad (I. 21)$$

t_c : Temps de concentration (heure).

L : Longueur du thalweg principal (km).

H_{max} : Altitude maximale (km).

H_{min} : Altitude minimale (km).

f. Formule de Passini(Morin, 1998)

$$t_c = \frac{0.108 (A+L)^{1/3}}{I^{1/2}} \quad (I. 22)$$

Avec :

L : Longueur du plus long thalweg (m).

I : Pente moyenne (%).

A : Aire du bassin versant (km^2).

T_c : Temps de concentration (heure).

Tableau .I.21 : Résultats d'estimation du temps de concentration

Formule	Giandotti	Kirpich	Izzard-Meunier	Basso	Passini
Sbv-Mina amont	13.874	15.484	47.19	8.299	38.493

D'après le (tableau II 21), les seules formules qui semblent donner une valeur acceptable du temps de concentration pour le bassin de la Mina amont sont les méthodes de **Giandotti et Kirpich**.

Le temps de concentration estimé par les formules d'Izzard-Meunier et Passini nous semble relativement exagéré alors que celle de Basso est sous-estimées.

Le temps de concentration déterminé par la formule de Giandotti apparait donc comme la plus adaptée au bassin de l'oued Mina amont.

D'une manière générale, le bassin versant du barrage Bakhadda présente un temps de concentration plus long 13.87h. en raison de la surface du bassin et sa forme allongée.

IV. Occupation du sol

La couverture spatiale joue un rôle primordial dans les processus de génération du ruissellement sur les versants et d'infiltration de la pluie vers la zone non saturée. En effet, un même type de sol peut avoir des comportements différents par rapport à ces processus, selon l'occupation de la surface. La présence du couvert végétal est profitable

à l'équilibre hydrologique du bassin alors que sa discontinuité, ou son absence totale constitue un facteur favorable à l'irrégularité des débits et à la genèse de fortes crues, surtout sur les terrains à fortes pentes et là où les sols sont très sensibles au ruissellement direct.

D'une manière générale la couverture végétale conditionne et influence la rapidité du ruissellement superficiel, le taux d'évaporation et la capacité de rétention du bassin versant. Donc la présence de végétation va jouer le rôle de « Régulateur » dans le régime d'écoulement et permet un amortissement notable des crues et leur continuité dans le temps.

La carte d'occupation du sol du bassin versant de la Mina amont (fig. I 10) a été réalisée à l'aide de logiciel ENVI 5, à partir de données spatiales issues du capteur Landsat 8 le 14/03/2018. Selon notre problématique nous avons utilisé deux canaux du domaine visible : bande 2 (bleu) et bande 3 (vert) dont le domaine spectral est respectivement 0.452-0.512 μm et 0.636-0.673 μm , ainsi que l'infrarouge bande 5 (0.851-0.879 μm) (Bannari *et al.*, 2004).

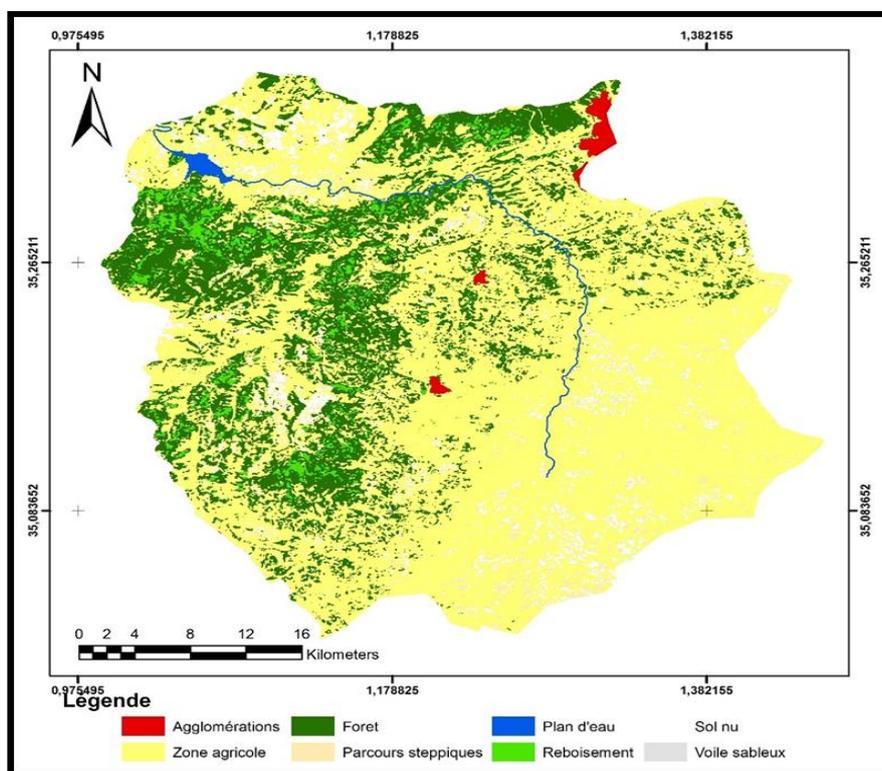


Fig. I.10 : Répartition spatiale des différentes occupations des sols du sous bassin de la Mina amont

La distribution de l'occupation du sol est donnée par la figure I 11 et le tableau (I 21).

Tableau. I .22 : Occupation des sols

Occupation	Sous bassin versant d'oued Mina amont	
	Surface (km ²)	Pourcentage (%)
Agglomération	8.165	0.614
Zone agricole	878.765	66.189
Forêt	298.51	22.484
Parcours steppiques	32.51	2.448
Plan d'eau	3.54	0.266
Reboisement	39.09	2.944
Sol nu	66.43	5.003
Voile sableux	0.64	0.048
Somme	1327.09	100%

L'analyse de la carte d'occupation des sols (Fig. I 10) nous permet de déduire que le bassin est pourvu d'une couverture dominée du sud au nord par : les zone agricole et Forêt respectivement avec des superficies de 878.765 et 298.51.

Malheureusement comme la majorité des espaces en Algérie, le bassin versant du barrage Bakhadda connaît des dégradations continues de ses patrimoines causés par la surexploitation remarquable (fig. I 11 « plus de 60% de cultures »), l'extension anarchique de l'urbanisation et surtout par les incendies, ce qui a entraîné une accélération de l'érosion.

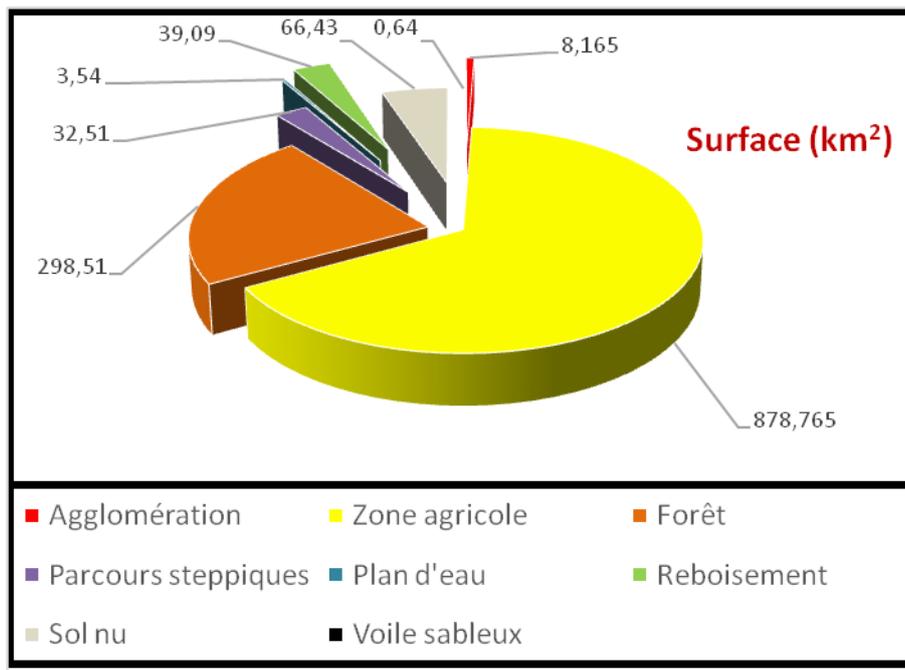


Fig. I. 11 : Répartition générale des terres dans le bassin du barrage Bakhadda

A partir de la figure I 11, on peut recenser cinq principales occupations des terres dans le bassin :

- Zone agricole : 66.189%
- Parcours steppiques : 2.448%
- Forêt : 22.448%
- Agglomération : 0.614%
- Sol nu : 5.003%

V. Pédologie

Le sol est le matériel plus ou moins friable où les plantes, au moyen de leurs racines, trouvent leur nourriture et leurs autres conditions de croissance (HILCARD, 1914).

Albert Demolon (1932) a défini le sol comme étant « la formation naturelle de surface, à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche mère sous-jacente sous l'influence de divers processus, physiques, chimiques et biologiques, au contact de l'atmosphère et des êtres vivants ».

Les principaux types de sols de la région sont :

Les sols minéraux bruts,

Les sols peu évolués,

Les verti sols qui sont des sols noirs profonds avec un taux de matière organique appréciable, reposant sur des marnes. Ce sont les sols les plus aptes à l'intensification céréalière (Bouchenafa N, 2009) à savoir :

- Les sols calcimagnésiques,
- Les sols méditerranéens à réserve calcique lessivés, Ces sols reposent soit sur calcaire dur, soit sur un grès calcaire.

Sols calcaires : Ce sont des sols à croûte calcaire, Ils représentent environ 85% de la superficie du bassin versant. On les trouve presque dans tout le bassin et surtout vers l'amont.

La présence du calcaire dans ces sols s'explique d'une part par la géologie, à savoir la richesse en roches calciques capables de fournir du calcium à partir duquel prendra naissance le calcaire.

Les sols alluviaux : Ce sont des sols qui se caractérisent par un dépôt de matériaux (argile, limon, sable et graviers) provenant d'un transport par un cours d'eau récent.

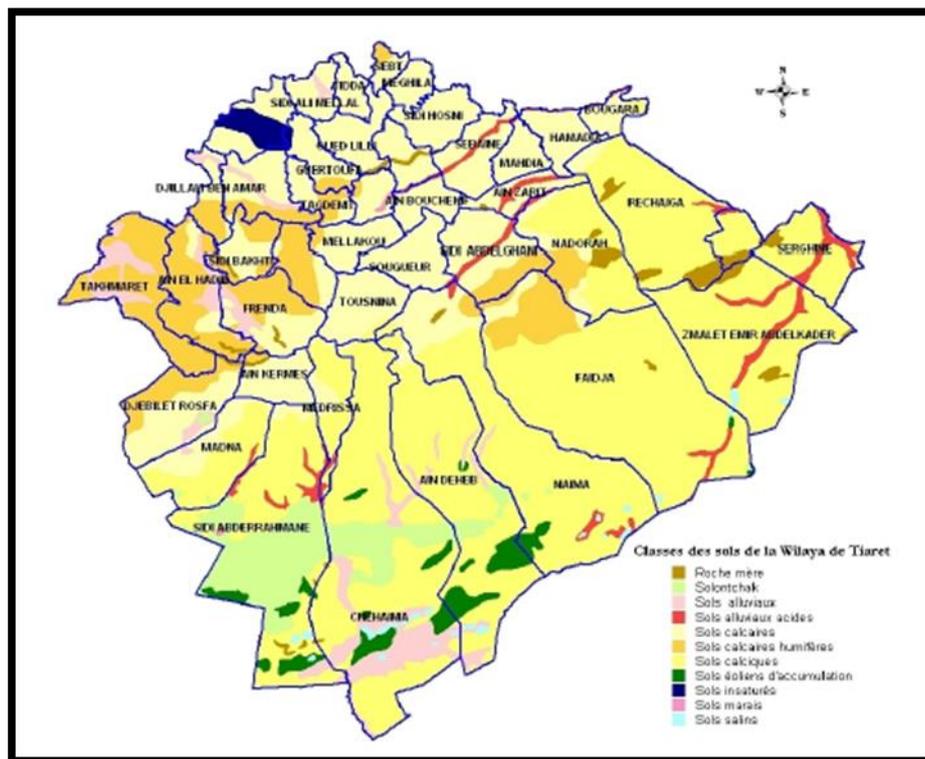


Fig .I.12 : Distribution des classe de sol dans la wilaya de Tiaret. (Achir.M, 2009)

VI. Conclusion

La connaissance des paramètres morphométriques ainsi que leur comparaison sont importantes. Ils interviennent souvent de façon combinée pour commander les modalités de l'écoulement.

Le sous bassin versant du barrage Bakhadda met en évidence un rapport de confluence relativement important, ce qui implique un coefficient de torrencialité important et par conséquent un temps de concentration court.

Généralement, la forme allongée du bassin versant, la fragilité du sol lié à l'irrégularité du couvert végétal sont autant de facteurs qui favorisent le phénomène de l'érosion et de la sédimentation.

Ces paramètres sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau .I .23 : Récapitulatif des caractéristiques physiques du bassin versant de la Mina amont

Paramètre		Mina amont	Unité
Superficie		1327.09	km ²
Périmètre		177.88	Km
Longueur du talweg principal		59.09	Km
Pente du talweg principal		1.28	%
Indice de compacité		1.32	-
Rectangle équivalent	Longueur	64.74	Km
	Largeur	20.	Km
Altitudes caractéristiques	Maximale	1275	m
	Moyenne	997.614	m
	Médiane	1070	m
	Minimale	519	m
Indices de pente	Indice de pente de M Roche	3.73	%
	Indice de pente globale	0.86	%
	Indice de pente moyenne	1.1	%
Dénivelée		560	m

Dénivelée spécifique	315.12	m
Densité de drainage	2.15	Km/km ²
Coefficient de torrentialité	5.65	-
Coefficient d'allongement	14.58	-
Fréquence des cours d'eau	2.63	km ⁻²
Fréquence des thalwegs d'ordre 1	1.93	km ⁻²
Temps de concentration des eaux	13.874	h
Rapport de confluence	3.92	-
Rapport de longueur	0.41	-

CHAPITRE II

Introduction

La géologie d'un bassin versant est un facteur très important dans la détermination du régime des cours d'eau qui drainent ce bassin. Elle influe directement sur l'évapotranspiration par l'effet thermique dû à la couleur des sols et par le développement de la végétation. Le bassin peut être divisé en deux zones importantes : montagnes (plateau de Saida dans le sud et plateau de Freneda, de Tiaret, dans le nord), et la plaine du Mina..

L'oued Mina occupe un domaine assez particulier de part son aspect structural et tectonique. En effet, on peut situer d'une façon très grossière l'oued Mina entre la plaine de Relizane au NW et le parallèle de Tiaret à l'est. Cet oued recoupe en fait la partie des piémonts occidentaux du massif de l'Ouarsenis et la partie septentrionale des Hautes Plateau oranais. les monts de la Mina correspondent à la portion de l'Atlas Tellien comprise entre la zone subtabulaires jurassique et miocène des Monts de Saida et les entablements du Miocène inférieur et supérieur d'EL Bordj et de Zemmoura. (Zerrouki M;2016).

En pratique, l'oued Mina a été depuis longtemps subdivisé en 3 zones : La Haute, la moyenne et la basse Mina et référence à la géomorphologie qui caractérisé le trajet de cet oued. Pour notre part on s'intéressera à la partie Amont.

1. Cadre géologique du bassin de l'Oued Mina amont

La zone étudiée recouvre la bordure nord des hauts plateaux jurassiques, cette zone très importante du point de vue étendue représente la partie occidentale du plateau du Sersou de forme subtabulaire, elle s'étend jusqu'à la limite sud de la transgression miocène, c'est-à-dire là où l'oued Mina vire complètement vers l'ouest marquant très nettement cette limite.

Le Crétacé représenté par le Sénonien occupe les 80% de la partie centrale on reconnaît principalement des calcaires, des marnes crayeuses et des argiles gypseuses.

Les calcaires et les marnes constituent presque entièrement les pentes qui s'étendent entre la région des sources de la Mina (lieu dit RasMina) et celle de Mellakou.

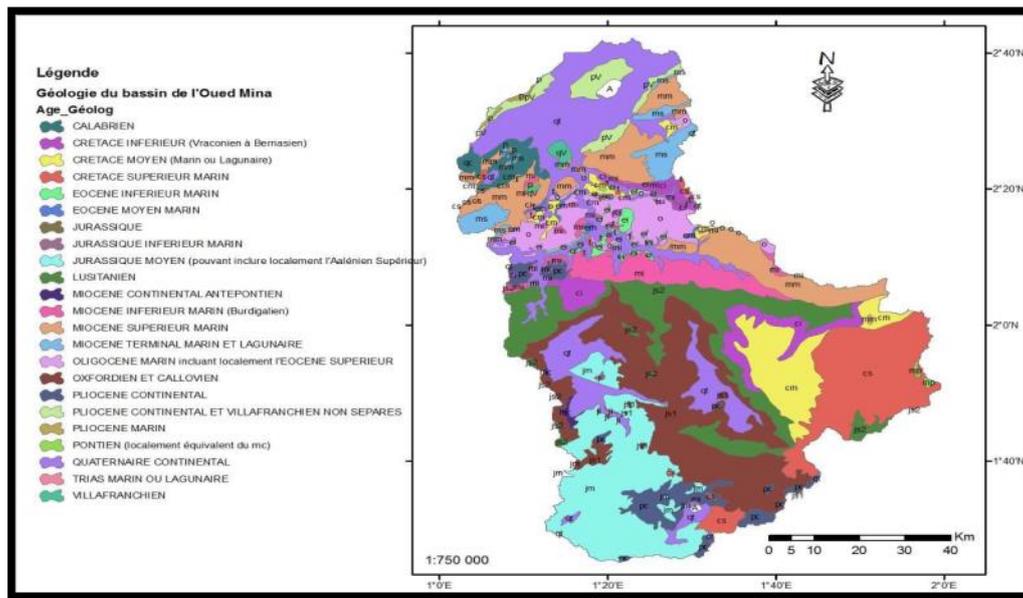


Fig. II. 1 : Carte géologique d'oued Mina d'étude élaborée suite à une digitalisation de la carte géologique de 1 :50000 (Toumi S, 2013)

2. La série stratigraphique :

Le bassin versant de Mina amont peut être divisée en deux grandes parties E et W. La partie Est, la plus importante en étendue et entièrement crétacé supérieur (Sénonien) celle de l'ouest revenant au crétacé Moyen et inférieur (Tithonique, Cénomaniens)

2.1. Jurassique inférieur et moyen :

Le membre inférieur dolomitique d'une épaisseur moyenne de 50 mètres appartenant au lias inférieur et moyen, affleure essentiellement au Sud Ouest.

Le membre médian marneux gris appartenant au toarcien et d'une épaisseur de 20mètres affleure au Sud-Ouest et également de façon très localisée dans le fond des gorges dolomitiques de l'oued el Abd. Le membre supérieur dolomitique et calcaire appartenant à l'Aaleno-Dogger débute par des bancs étroits lesquels deviennent plus massifs dans la partie supérieure de la formation (Bouabdelli S ; 2015)

2.2. Jurassique supérieur :

Les grès dominent dans cette partie avec une puissance par des argiles sableuses (1 à 15m) et à la base un niveau repère de dolomie microcristalline permet de reconnaître cette transition (Bouchenafa N; 2009)

Il couvre la moitié Nord et l'Est du périmètre étudié. Ses formations occupent la totalité du bassin de l'oued Taht et près de la moitié du bassin de l'oued el Abd.

Le Callovo Oxfordien prédomine largement les autres formations. Il est formé de marnes et d'argiles verdâtres et de banc gréseux et constitue le relief mou. Son épaisseur est de l'ordre de 200 à 250 mètres.

Le lusitanien moins largement représenté est en position haute en formant le flanc des Djebels. il est construit en banc gréseux intercalé de banc argileux et de calcaires d'une épaisseur globale de 200 à 250mètres.

Le Kimméridgien est représenté par des dalles dolomitiques couronnant les Djebels.

2.3Le Crétacé

La Crétacé supérieur représenté par Le cénomanien, Le turonien et le Sénonien occupe les 80% de la partie centrale on y reconnaît principalement des calcaires, des marnes crayeuses et des argiles gypseuses **(Zerrouki M ; 2016)**

2.3.1 Le cénomanien

A travers une épaisseur assez impressionnante on reconnaît en partant de la base :

- Des argiles sableuses jaunâtres sur 10m.
- Des calcaires argileux.
- Des calcaires marneux très épais dépassant les 100m, très fissurés parfois karstiques et

qui pourraient représenter le principal réservoir aquifère du plateau; les marnes occupent les poches de décalcification.

2.3.2Le turonien

Sa particularité fait de cet étage un niveau repère grâce auquel on peut remarquer le passage du crétacé inférieur au crétacé supérieur

2.3.3Le Sénonien

Constitue avec le Cénomanien les formations dont les épaisseurs sont les plus importantes. Il débute à la base des calcaires graveleux beiges en petits bancs sur 20m.

Les calcaires sont interrompus par des Marno-calcaires. Vers le sommet on constate une puissante couche de dolomies ferrugineuses microcristallines couronnée par des marnes calcaires.**(Bouchenafa N ;2009)**

2.4Miocènes

Représenté les principales barrières ayant détourné l'oued vers l'ouest, et caractérisé par des dépôts détritiques notamment les « grès de Tiaret ». **(Zerrouki M ; 2016).**

3. Quaternaire

Ce sont des alluvions sablonneuses entraînés par les crues des oueds en particulier par la Mina son représentées par des dépôts lacustres, c'est des limons très épais, formant en

majeure partie des plaines d'alluvions récentes assez limoneuses aux abords des oueds, où subsistent même quelques bas-fonds inondés sablonneuses au pied des coteaux.

L'uniformité de ces dépôts : suivant la direction W.E, implique la sédimentation qui avait la même origine. On ne peut donc invoquer les apports des chaabets : il semble bien qu'il s'agit de l'oued mina. (Bouabdelli S ; 2015).

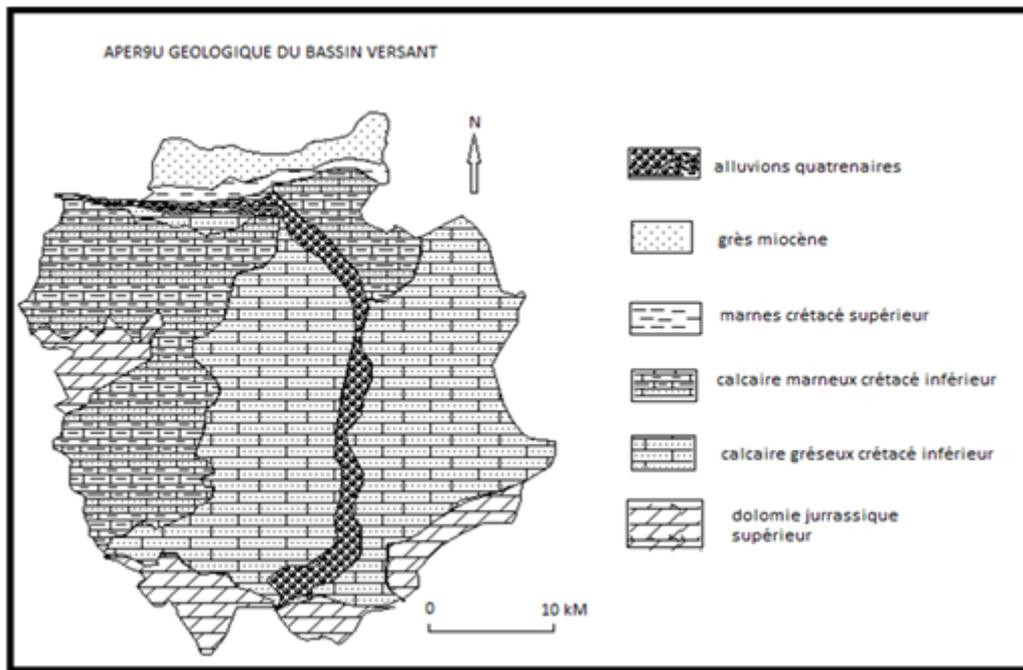


Fig .II.2 : carte géologique de Mina amont (Zerrouki M; 2016)

Tectonique

Les grandes lignes tectoniques de la région sont situées au niveau des monts de Tiaret, du Djebel Nador et sont régies par des faciès du Secondaire et Tertiaire.

- Au Sud, le contact par faille entre les formations du Jurassique et Crétacé ;
- Au Centre, la série de fractures NS que l'oued Mina semble matérialiser par son cours et un pendage à l'horizontal témoin d'une tectonique calme.
- Au Nord une série de plissements et de failles affectant les terrains jurassiques suivie de la transgression Miocène à tectonique calme.

Cette disposition apparaît dans les formations cassantes constituées par des calcaires et dolomies du jurassique inférieur et moyen et du Kimméridgien.

La région a été sculptée par les phénomènes de fissuration, d'érosion de karstification qui a suivi ces effets tectoniques. L'influence de la tectonique sur la géomorphologie se manifeste sur l'orientation des djebels et des angles d'ouverture des vallées. Les oueds suivent le fond des gorges dolomitiques, des orientations qui forment des angles répondant au même système

tectonique. Cette tectonique elle a ses effets secondaires qui constituent un élément important pour la compréhension de l'hydrogéologie régionale. La tectonique cassante a donnée naissance à une structure en escalier qui a permis le développement d'un système karstique aux formations carbonatées du Jurassique supérieur.

II. Approche hydrogéologique

Le bassin versant de la Mina se caractérise par deux milieux hydrogéologiques étroitement liés avec le contexte géologique, l'aquifère constitué de dolomies et d'alluvions grossières de bonne qualité (jurassique inférieur et moyen, Kimméridgien et alluvions récentes dans le long des oueds) à l'amont, et les formations détritiques constituées de sables argilo-limoneux, de poudingues et d'argiles gréseuses à l'aval de qualité médiocre (callovo-oxfordien) à moyen (lusitanien).

Il existe plusieurs types des systèmes aquifères dans l'Oued Mina. Où le plus grand système se situe au Sud-Ouest du bassin sur les monts de Béni Chougrane, les monts de Frenda et le plateau de Saida (**Toumi S, 2013**).

2. Les types d'aquifères :

2.1. L'aquifère du Jurassique Supérieur :

2.1.1 Nappe de l'Oxfordien :

Les dépôts Oxfordien sont largement répartis dans notre secteur d'étude, recouvert au Nord par la formation du Crétacé Supérieur, le Tihonique et le Kimméridgien à l'Ouest et à l'Est, ils affleurent largement au Sud et au centre. En égard aux contraintes lithologique, il faut admettre l'existence d'un aquifère unique circulant à faible profond, au niveau des fissures et de fractures qui recourent la formation créent un lien hydraulique entre ses différents bancs, lien qui facilite l'infiltration et l'écoulement des eaux. D'après observations que nous avons peut réaliser il apparaît que dans la plupart des cas, les sources qui drainent les eaux de l'Oxfordien émergent soit au contact des grés et des argiles de l'Oxfordien soit à la faveur d'une fracture dans les dolomies. (**Ben rhiou. F et Tires. O, 2016**)

2.1.1.1 Grés tendre

Il représenté un aquifère peu important du point de vue réserves son épaisseur varie latéralement, il peut être alimenté par les formations sus-jacentes comme il est alimenté par les précipitations lorsqu'il affleure.

2.1.1.2 Argiles gréseuses

En affleurant en surface, cette formation constitue un aquifère de très faible perméabilité sa puissance n'excède pas les deux mètres, les puits qui y sont creusés constituent des puits citernes (**Boualam. I, 2021**)

2.1.1.3 Dolomies d'El Gaada

Les dolomies ont une perméabilité de fissures et forment un synclinal perché d'épaisseur allant jusqu'à 60 mètres, cet aquifère est alimenté par les précipitations par infiltration directe grâce à leur système de Karstification bien développé qui les met à l'abri de toute évapotranspiration l'extension de son impluvium (plus de 30 km²) constitue pour la région un important Karst, le plateau d'El Gaada doit recevoir 35 à 40 millions de m³/an d'eaux pluviales dont le quart alimente la nappe perché.

2.1.1.4 Aquifère de l'Aalino-Bajo-Bathonien

Il s'agit d'une nappe captive profonde dont le toit est constitué par les argiles de l'oxfordien. A l'ouest, au niveau du cœur du dôme de Takhmert affleure son mur imperméable constitué par les marnes du Toarcien. Son alimentation est vers l'ouest aux environs de Takhmert (bassin versant d'oued El Abd où il affleure sur une grande dénivelée par apport direct des précipitations. (**Safa. A, 2010**)

2. 1 .2. Nappe aquifère du Kimméridgien-Tithonique :

Nous avons vu que les niveaux perméables étaient constitués par un ensemble de grès tendres et de dolomies ces formations affleurent il y a de bonnes possibilités d'alimentation à partir des précipitations.

Les émergences liées à cet aquifère se situent soit au contact avec l'Oxfordien soit à la limite des couches argileuses qui constituent un écran dans le Tithonique. Les eaux de la nappe du Kimméridgien et du Tithonique, circulant peu profondément, leur transit est rapide et la minéralisation faible, ces eaux se portent donc particulièrement aux A.E.P. (**Benrhieu. F ; Tires O, 2016**).

Le Kimméridgien est en position haute et facilement drainées. Les impluviums sont peu importants et le sol présente des pentes qui favorisent le ruissellement superficiel. Les sources ont un débit irrégulier et assez faible. Elles tarissent pour la plupart en été. En effet aucun écoulement pérenne non négligeable ne parvient à partir de ses formations à rejoindre les oueds principaux. Le Kimméridgien alimente cependant Frenda et un débit résiduel très faible rejoint l'oued el Abd. Il n'existe de ce côté aucune possibilité à retenir. (**Bouabdelli.S, 2015**)

2.2 Aquifère du Crétacé Supérieur :

En raison des relations étroites entre les diverses formations du Sénonien, Turonien, Cénomaniens, le Crétacé Supérieur présente un aquifère multicouche unique, cet aquifère connaît une grande importance en particulier au Nord et au Sud du secteur. Les niveaux du Turonien et du Sénonien constitués en grande partie de dolomie, calcaires, grès et conglomérat, présentent une bonne perméabilité qui facilite l'infiltration des eaux superficielles, les dépôts Argilo-Marneux du Cénomaniens constituent un écran qui permet à son contact, l'infiltration d'émergences, les dépôts argileux de l'Oxfordien constituent un bon niveau de base pour l'aquifère du Crétacé supérieur ; Ain El Kessia à l'est et Ain Khedem au centre émergent à ce niveau. **(Abbes Z et Yaakoub N, 2015).**

Au Nord, certaines sources qui drainent les eaux du Crétacé supérieur, comme Ain Ras El Khaneg, Ain Ras Tousnina, Ain Beida, alimentent des cours d'eau peu importants. Les eaux du Crétacé supérieur nous apparaissent caractérisées par une circulation à faible profondeur et en général un transit rapide, Les sources liées à ces formations, ont un débit faible et variable

L'aquifère du Crétacé Supérieur est largement exploitée soit directement par captage des émergences soit au niveau de puits dont la profondeur ne dépasse pas général 5 m.

2.3. Aquifère du Miocène Inferieur :

Les formations du Miocène inferieur que l'on rencontre en générale au niveau de grabens présentent une extension limitée, c'est le cas en particulier dans la vallée de la Mina ou ces dépôts constitués de conglomérat, grès, sables à faible cimentation, constituent en raison de leur bonne perméabilité un réservoir drainé par un ensemble de sources qui donnent naissance l'Oued Mina. **(Safa A ; 2010)**

L'alimentation de la nappe du Miocène Inferieur se fait à partir de la précipitation atmosphérique. au Nord-est dans la vallée de la Mina, une faille d'orientation N.E-S.W sert de limite orientale aux formations Miocène c'est à son niveau qu'émerge la source de Sidi Ahmed Ben Abdellah, captée par un système de galeries pour l'alimentation en eau potable de la ville de Tiaret, étant donné son débit supérieur à 6 l/s , il est vraisemblable que cette source draine outre les eaux du Miocène, des eaux des nappes liées aux formation du Jurassique et du Crétacé supérieur . Parmi les sources liées à l'aquifère Miocène, Ain Rhiza et Ain El Ouali méritent une attention particulière, leur débit dépasse 1 l/s. Les eaux du Miocène inférieur circulent à faible profondeur et présentent un transit rapide. **(Benrhiau F et Tires. O, 2016).**

2.4 Les eaux de Quaternaire :

Les dépôts quaternaire sont repartis de façon très variable, ils présentent cependant une épaisseur important dans les parties basses des reliefs, ou des graviers mal cimentés, sables non classés, limon sableux, constituent des ensemble de perméabilité moyenne, à bonne . La plupart du temps dans le secteur étudié, en raison de l'absence d'écran, les eaux des formations Quaternaire seront drainées en profondeur vers les aquifères du Jurassique ou de Crétacé supérieur. (Benrhiau F et Tires O, 2016).

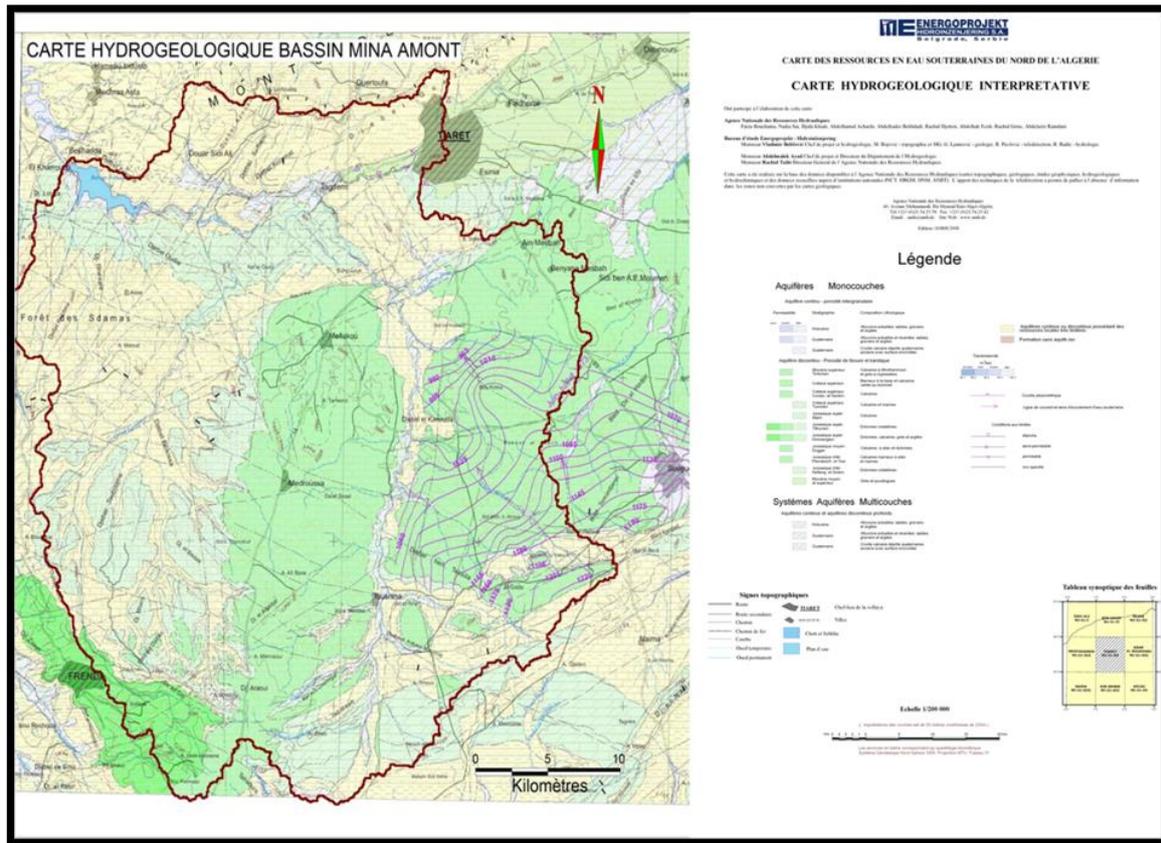


Fig.II. 3 : carte hydrogéologique du bassin versant d'Oued Mina. (Direction ANBT, 2022)

3. Conclusion

Du point de vue stratigraphique les terrains composant le bassin versant Mina amont peuvent être regroupés en trois grandes catégories :

- Au Sud, la prédominance de dolomies.
- Au Centre, celle des marno-calcaires.
- Au Nord, les formations détritiques.

La tectonique peut être rattachée au même découpage à savoir :

- Au sud, le contact par faille entre les formations du Jurassique et Crétacé ;
- Au centre, la série de fractures NS que l'oued Mina semble matérialiser par son cours et un pendage à l'horizontal témoin d'une tectonique calme.

- Au Nord une série de plissements et de failles affectant les terrains jurassiques suivie de la transgression Miocène à tectonique calme.

Du point de vue hydrogéologique, la région d'étude est caractérisée par plusieurs types des systèmes aquifères :

- Les dépôts Oxfordien et Kimméridgien du Jurassique Supérieur qui sont largement répartis dans notre secteur d'étude, recouverts au nord par les Crétacé Supérieur ;
- La formation aquifère du Crétacé Supérieur qui connaît une grande importance en particulier au Nord et au Sud du secteur ;
- La formation du Miocène Inférieur que l'on rencontre en générale au niveau de grabens présente une extension limitée ;
- Les dépôts Quaternaire seront drainés en profondeur vers les aquifères du Jurassique ou du Crétacé Supérieur.

CHAPITRE III

1. INTRODUCTION

L'étude climatique est importante pour toute l'étude hydrologique car elle nécessite la connaissance des plusieurs facteurs climatique tel que : les précipitations qui représentent l'élément le plus important du climat surtout la pluviométrie, la température et l'évapotranspiration à travers lesquelles on peut définir le type de climat du bassin versant. Selon Seltzer (1946), le climat de l'Algérie est de type méditerranéen caractérisé par une période pluvieuse allant en moyenne de Septembre à Mai et un été sec et ensoleillé.

L'Atlas tellien joue le rôle d'un rempart qui provoque la condensation et les précipitations d'une partie de la vapeur d'eau amenée par les vents soufflant de la mer. L'altitude entraîne une diminution générale de la température, l'éloignement de la mer, une augmentation des amplitudes diurnes et annuelles.

Le climat de l'Atlas tellien présentera donc tous les degrés intermédiaires entre un climat de montagne pluvieux, froid à amplitude thermique relativement faible avec chutes de neige et un climat de plaines plus sec relativement chaud et à forts écarts thermiques **(Bouannani A ; 2002)**.

L'objet de ce chapitre est l'étude de la variabilité des précipitations, la température et l'évaporation sur la base des données de la station du barrage Bekhadda à l'échelle mensuelle et annuelle afin de caractériser le climat de la zone d'étude et de ressortir les différents paramètres constituant le bilan hydrique.

2. Etude des paramètres climatologiques :

La pluviométrie le paramètre le plus important, elle conditionne l'écoulement saisonnier, le régime des cours d'eau et l'alimentation des nappes d'eau souterraines.

Les données climatologiques ont été recueillies au niveau des services météorologique de station du barrage Bekhadda et l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H). Deux stations font l'objet de notre étude : station de Barrage Bakhadda et station de Tiaret.

Tableau. III.1: Caractéristiques des stations pluviométriques du bassin versant d'Oued Mina amont.

Nom de station	Coordonnées UTM		Altitude(Z)	Période d'observation
	X	Y		
Barrage Bakhadda	321690,71 m	3913239,25 m	607 m	1980-2021
Tiaret	347342.11m	3914379.68 m	1012m	1980-2021

(Source : A.N.R.H et ANBT)

2.1. Etude des précipitations

Toutes les ressources en eaux superficielles ou souterraines sont conditionnées par les précipitations. L'analyse de la variabilité pluviométrique est très importante pour la prévision et la gestion des ressources hydriques. Pour assurer une bonne représentation de notre région, d'étude il est nécessaire que la période de collecte des données soit suffisamment longue.

2.2. Les variations temporelles des précipitations

Le Nord-ouest algérien est soumis à une variation pluviométrique spatio temporelle très irrégulière, Il convient de remarquer à partir de la figure III. 2 et le tableau III. 2, la tendance déficitaire des précipitations lors des 41 dernières années (1980/1981-2020/2021) où plusieurs valeurs annuelles se trouvent en dessous de la moyenne. C'est là, en effet, que l'on repère les années les plus sèches de la période considérée. Ceci implique donc que les séries pluviométriques qui seront utilisées pour le calcul des bilans hydrologiques correspondent à des périodes de faible pluviosité. Les conséquences directes vont donc se traduire par une faible hydraulité.

Tableau. III. 2 : Cumuls pluviométriques annuels (mm) pour les deux stations retenues
(1980/1981-2020/2021)

Année	Barrage BAKHADDA	Tiaret	Année	Barrage BAKHADDA	Tiaret
1980-1981	293	659,00	2001-2002	355,5	391,10
1981-1982	284,94	353,60	2002-2003	329,1	562,10
1982-1983	234,8	605,70	2003-2004	399,8	531,20
1983-1984	166,2	220,40	2004-2005	258,4	363,60
1984-1985	312,45	485,10	2005-2006	352,2	625,70
1985-1986	393,2	489,40	2006-2007	230,1	430,90
1986-1987	284,48	661,70	2007-2008	298,8	479,70
1987-1988	264,3	430,70	2008-2009	482,6	880,40
1988-1989	308,4	504,40	2009-2010	415,9	781,60
1989-1990	350	399,60	2010-2011	330	533,10
1990-1991	337,8	337,34	2011-2012	314,8	458,60
1991-1992	276,37	450,10	2012-2013	516,8	858,60
1992-1993	201	422,90	2013-2014	406,6	560,60
1993-1994	231	359,20	2014-2015	403,5	664,60
1994-1995	336,2	394,80	2015-2016	387,2	585,80
1995-1996	597,1	452,50	2016-2017	318,9	526,80
1996-1997	279,7	466,85	2017-2018	313,7	786,40
1997-1998	455,6	726,90	2018-2019	234,8	546,20
1998-1999	312,8	380,80	2019-2020	275	482,10
1999-2000	218,6	654,40	2020-2021	280	278,51
2000-2001	309,3	562,10			

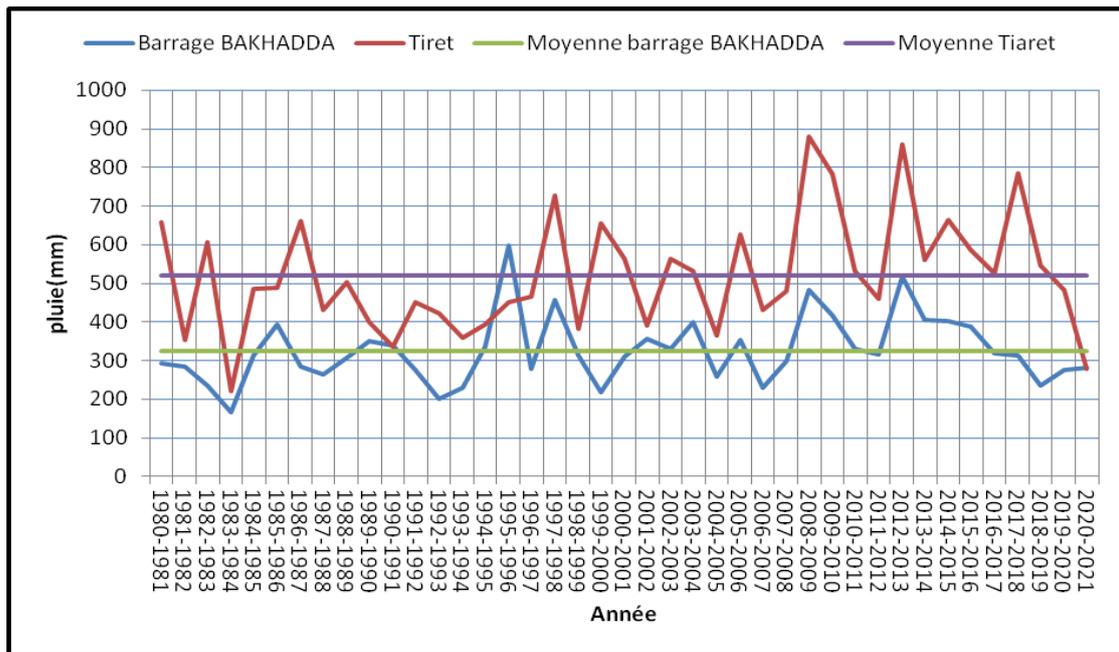


Fig.III.1 : Variation des précipitations annuelles dans le bassin d’oued Mina amont (1980/1981-2020-2021)

2.3. La pluie moyenne annuelle précipitée sur le sous bassin

Pour l’étude pluviométrique, nous sommes référés à une période d’observation de quarante ans qui s’étale du 1980-1981 au 2020-2021.

Plusieurs méthodes ont été utilisées pour le calcul de la pluie moyenne annuelle.

2.3.1 Moyenne arithmétique

C’est une simple moyenne arithmétique des précipitations moyennes annuelles des stations pluviométriques relevées aux mêmes temps, aux différentes stations du bassin ou dans son voisinage pour une période déterminée.

Elle est définie par la relation :

$$P_m = \bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}$$

P_m : Précipitations moyennes annuelles sur le bassin (mm).

P_i : Précipitations moyennes annuelle au niveau de chaque station (mm).

n : Nombre de stations d’observation, $n=2$.

La valeur de la pluie moyenne annuelle du bassin d’Oued Mina amont calculée par cette méthode est égale 423,12mm.

2.3.2. Méthode de Thiessen

C’est l’une des méthodes les plus rapides et les plus utilisées, elle consiste à diviser la surface du bassin en polygones, dans lesquels on attribue à chaque poste pluviométrique

un poids proportionnel à une zone d'influence. Un point situé dans cette zone soit plus près en distance horizontale du pluviomètre correspondant que toute autre pluviomètre.

La construction est la suivante :

- Les stations disponibles étant reportées sur une carte ;
- On trace une série de droites reliant les stations adjacentes ;
- Au milieu de chacune de ces droites on prend une perpendiculaire ;
- Les intersections de ces médiatrices déterminent un certain nombre de polygones pour chacun des quels la hauteur moyenne des précipitations est prise égale à celle de la station comprise à l'intérieur du polygone qui l'entoure.

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i P_i}{S_t}$$

Avec :

\bar{P} : Pluie moyenne sur l'ensemble du bassin (mm) ;

S_i : Surface élémentaire d'égales précipitations (mm²) ;

P_i : Précipitations moyennes sur la surface élémentaire qui est égale à celle de la station située

à l'intérieur de la surface élémentaire (mm) ;

S_t : Surface totale du bassin (mm²) ;

La méthode de Thiessen donne les résultats suivants :

Tableau. III.3 : Application de la méthode de Thiessen au calcul de la pluie moyenne (1980-1981/2020-2021)

Stations	Pi (m)	Si (m ²)	PiSi (m ³)
Tiaret	0.5206	701500000	365200900
Barrage BAKHADDA	0.3529	625590000	220770711
Pluie moyenne	441.22mm		

Le bassin versant de l'Oued Mina amont présente diverses zones pluviométriques bien distinctes (Fig. III. 2).

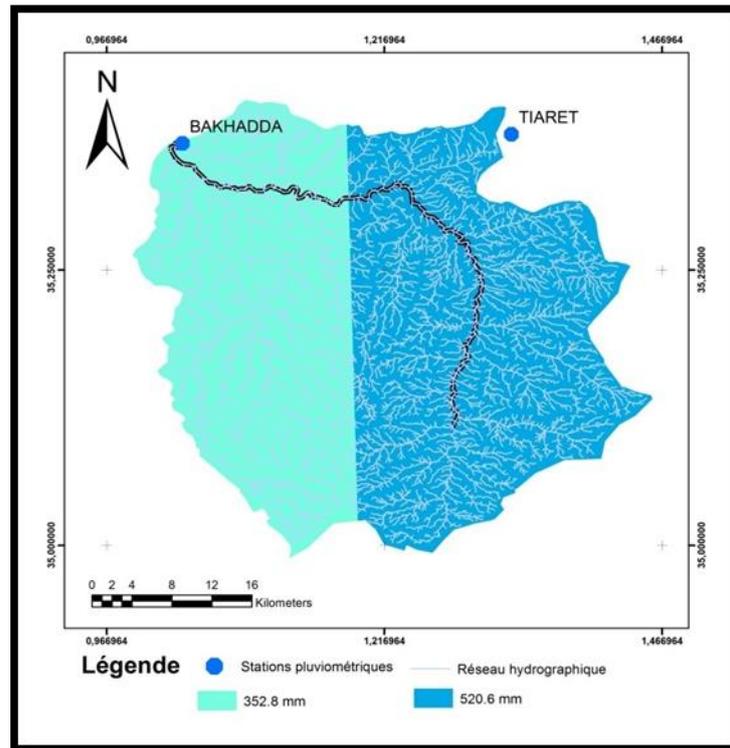


Fig. III. 2 : Méthode de Thiessen

2.3.3. Méthode des isohyètes

Pour passer à la pluie moyenne (Pm) tombée sur la surface totale du bassin (St), on planimètre chacune des surfaces élémentaires (Si) délimitées par les isohyètes (Pi) et (Pi+1). Comme le montre le tableau 2

On calcule (\bar{P}) précipitée sur la surface du bassin en prenant les précipitations moyennes entre les deux isohyètes successives, par la surface comprise entre ces isohyètes, en totalisant ces produits et en divisant sur la surface totale du bassin versant

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n SiPi}{St}$$

Avec :

- P: Pluie moyenne tombée sur le bassin (mm) ;
- P i : Précipitations moyennes entre les isohyètes successives (mm) ;
- Si : Surface comprise entre deux isohyètes successives(km²) ;
- St : Surface totale du bassin versant (km²).

A partir des valeurs de la pluie moyenne interannuelle (1980-1981/2020-2021) des deux stations retenues, on a dressé une carte des isohyètes qui représente la répartition des pluies couvrant la période 1980-1981/2020-2021.

Tableau.III.4 : Pluie moyenne annuelle calculée par la méthode des isohyètes (1980-1981/2020-2021)

Hauteur (mm)	Surface entre deux isohyètes Si (m ²)	(Pi +Pi _{i+1}) / 2 (m)	Si *(Pi+Pi _{i+1}) / 2 (m ³)
250–300	12000000	0.275	3300000
300 – 350	100631750	0.325	32705318,8
350–400	197263555	0.375	73973833,1
400 – 450	293895250	0.425	124905481
450 – 500	197263445	0.475	93700136,4
500 - 550	526036000	0.525	276168900
Pluie moyenne	455.69mm		

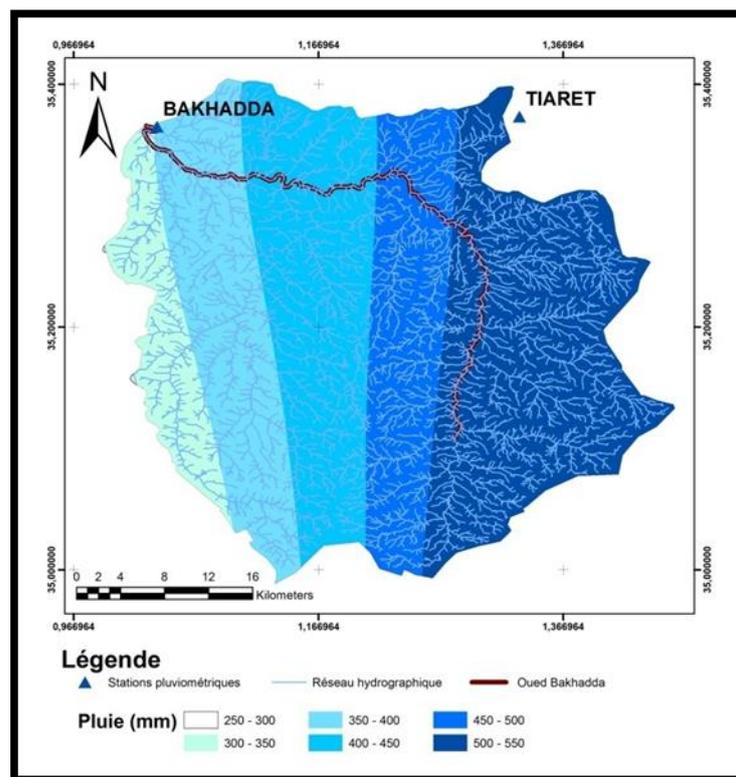


Fig. III. 3 : Carte en isohyètes du bassin d’oued Mina amont (1980/2021)

Presque la moitié de la superficie totale du bassin possède une pluviométrie comprise entre 436.74 et 455.69mm

Sur la pluie moyenne annuelle sur le bassin versant :

- La méthode arithmétique : $P_a=436.74$ mm
- La méthode de Thiessen: $P_a= 441.22$ mm
- La méthode isohyète (ARC GIS) : $P=455.69$ mm

Les valeurs obtenues par les différentes méthodes sont assez proches, ce qui permet de conclure que la pluie moyenne annuelle sur le bassin versant se situerait autour de 443.05mm

2.4. Précipitations mensuelles et les régimes saisonniers

L'étude des précipitations mensuelles et saisonnières est déterminante pour la compréhension du régime d'écoulement des cours d'eau.

Les valeurs moyennes mensuelles pluviométriques relatives à la période (1980/1981-2020/2021), traduisent clairement les variations mensuelles et saisonnières de la distribution des précipitations à l'échelle annuelle.

L'étude de cette variation inter-mensuelle et inter-saisonnière des précipitations s'avère déterminante sur l'écoulement fluvial saisonnier et sur le comportement hydrologique annuel de l'oued.

2.4.1. Variabilité mensuelle des précipitations

Le mois le plus pluvieux diffère d'une station à l'autre (Tableau III 5 et figure III 4), mais en général, il se situe soit en hiver (Décembre ou Février) ou au printemps pendant le mois de Mars. Les mois les plus secs sont représentés par Juillet et Août.

Tableau .III.5 : Moyennes mensuelles pluviométriques relatives à la période (1980/1981-2020/2021) pour les différentes stations du bassin

Stations	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jt	Aout
Barrage Bakhada	22,81	29,29	39,51	29,97	40,45	41,90	64,88	35,86	25,95	12,49	3,79	5,99
Tiaret	27,19	39,46	60,34	67,91	74,19	60,89	64,69	62,02	37,91	11,20	3,21	11,59
BV Mina amont	25,00	34,37	49,92	48,94	57,32	51,39	64,79	48,94	31,93	11,85	3,50	8,79

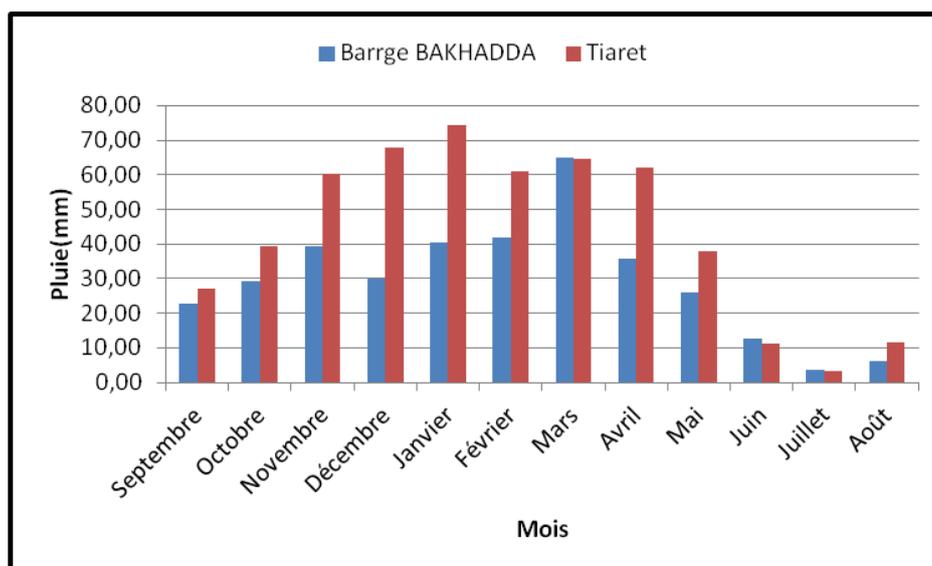


Fig. III. 4 : Variation mensuelle de la pluviométrie dans le bassin d'oued Mina amont (1980/1981-2020/2021)

Une période déficitaire où les précipitations sont inférieures à la moyenne mensuelle de l'année. Or il s'avère d'après le graphique que les mois dits secs, sont Juin, Juillet et Août au niveau des deux stations et le minimum est atteint en Juillet.

Une période excédentaire où les précipitations sont supérieures à la moyenne mensuelle de l'année, elle débute en Septembre et s'achève en Mai, avec un premier maximum en Novembre et un deuxième en Mars dans les différentes stations du bassin.

2.4.2. Régime pluviométrique saisonnier

On appelle régime de pluie, la lame d'eau de la hauteur des précipitations entre les diverses périodes, le plus souvent entre les diverses saisons de l'année. La répartition saisonnière des pluies, dans les stations du bassin de l'oued Mina amont (tableau III 6) permet de distinguer un régime pluviométrique continental. Ce régime est caractérisé par une lame d'eau tombée en automne environ 25% à la quantité de pluie moyenne annuelle, printanière (environ 33% de la moyenne annuelle) et une proportion de pluie hivernale relativement élevée soit 36% des précipitations annuelles, alors que la saison d'été est caractérisée par une faible quantité des précipitations soit un pourcentage de 0,5% de la moyenne annuelle.

Tableau .III.5 : Répartition saisonnière des pluies au niveau des stations du bassin d'oued Mina amont (1980/1981-2020/2021).

Stations	Automne		Hiver		Printemps		Eté	
	P (mm)	P (%)	P (mm)	P (%)	P (mm)	P (%)	P (mm)	P (%)
Barrage BAKHDDA	91,61	25,96	112,31	31,83	126,69	35,90	22,27	0,63
Tiaret	126,99	24,39	202,99	38,99	164,63	31,62	26,01	0,50
BVMina amont	109,30	25,03	157,65	36,10	145,66	33,35	24,14	0,55

D'après la figure III5, la distribution saisonnière des précipitations montre que :

Les saisons les plus humides pour l'ensemble du bassin sont l'hiver avec une moyenne de 157.65mm et un maximum de 202.99mm à la station de Tiaret et vient ensuite le printemps avec 145.66mm, L'automne est moyennement pluvieux dû certainement aux différentes averses qui caractérisent cette saison.

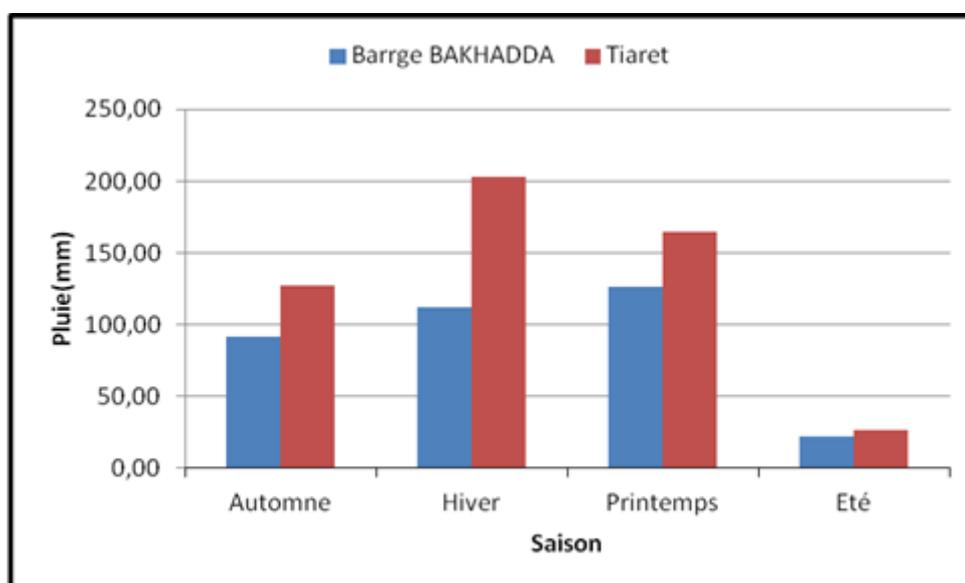


Fig. III. 5 : Variation saisonnière des précipitations (1980/0981-2020/2021)

3. Température de l'air

La température de l'air est l'un des effets le plus important de la radiation solaire et un grand nombre de phénomènes physique (évaporation, gel de l'eau, gelée blanche, dilation). Cette dernière est aussi un paramètre indispensable pour l'estimation du bilan hydrologique

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

Les températures moyennes mensuelles observées à la station de Barrage Bakhadda sont portées dans le q(tableau III.7).

Tableau .III .7 : Valeurs moyennes mensuelles des températures à la station de Barrage Bakhadda (1980/1981 –2020/2021)

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Moy
T moy (°C)	31,27	26,32	18,17	15,79	14,98	15,75	19,06	22,65	27,18	31,82	36,52	36,28	24,65

La figure (III .6) et le tableau (III 7), mettent en évidence la division de l'année en deux saisons thermiques :

Une saison froide comprise entre le mois de Novembre et Avril, une autre saison chaude allant de Mai à Octobre. Juillet et Août sont les mois les plus chauds avec une température plus de 26°C, le mois le plus froid est Janvier (14.89°C).

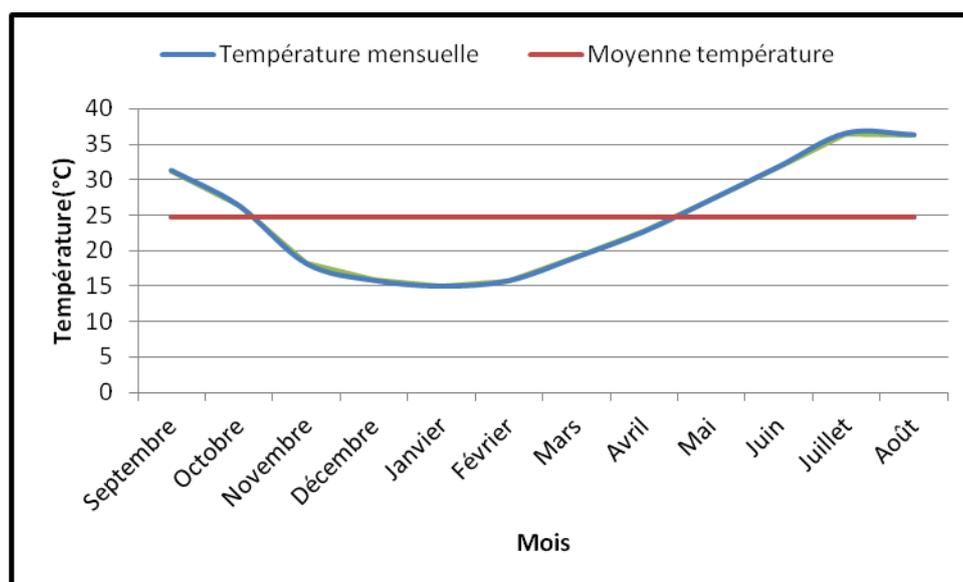


Fig.III.6 : Variation des températures moyennes mensuelles dans la station de Barrage Bakhadda(1980/1981-2020/2021).

4. Diagramme Ombrothermique de Gausсен et Bagnouls (1952)

Le diagramme pluviothermique ou Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен est une représentation graphique où sont reportés en abscisses les mois, en ordonnées les températures suivant une échelle arithmétique et les précipitations suivant une échelle arithmétique double. Selon Bagnouls et Gausсен, un mois humide est celui où le total

moyen des précipitations (mm) est supérieur aux températures moyennes (°C) ($P > T$) dans le cas contraire, un mois est dit sec (Otmane A, 2018).

Tableau. III.8 : Précipitations et températures moyennes mensuelles (1980/1981-2020/2021)

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
T moy (°C)	31,27	26,32	18,17	15,79	14,98	15,75	19,06	22,65	27,18	31,82	36,52	36,28
P moy (mm)	25,00	34,37	49,92	48,94	57,32	51,39	64,79	48,94	31,93	11,85	3,50	8,79

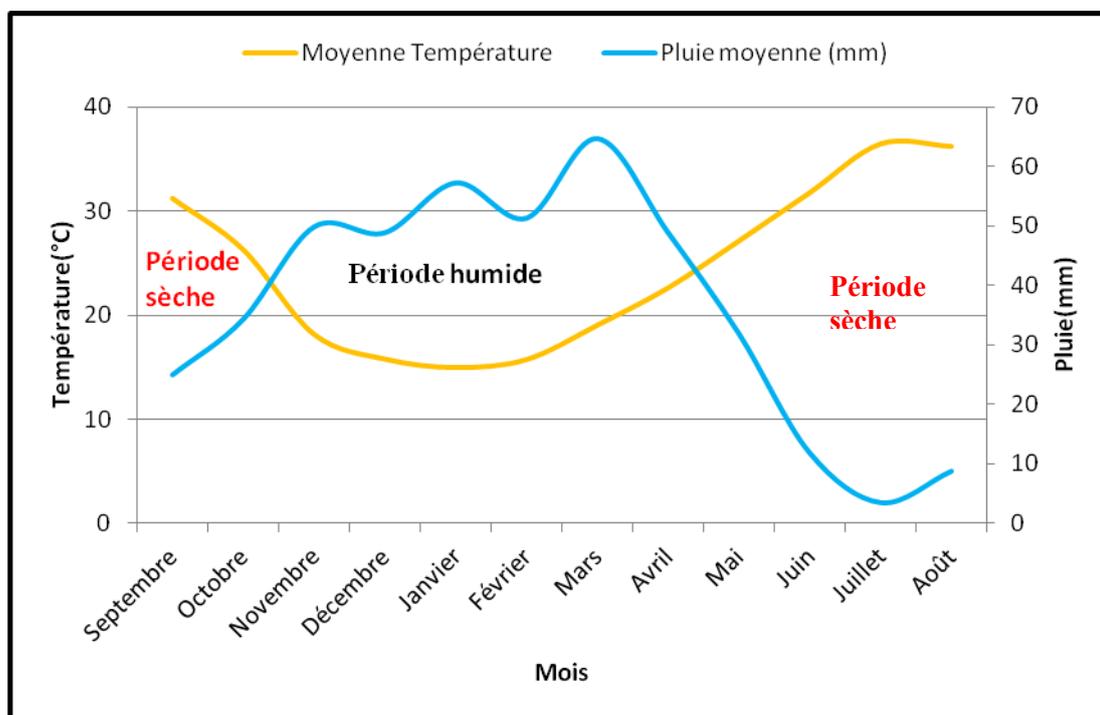


Fig. III. 7 : Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls pour le bassin d'oued Mina amont (1980/1981–2020/2021)

Le diagramme Ombrothermique établi, $\{P = f(T)\}$, montre l'alternance de deux saisons (Fig.III.8, tab.III.8) :

- Une saison humide, qui s'étend pratiquement de Septembre à Avril.
- Une saison sèche, couvrant le reste des mois de l'année.

5. Evapotranspiration

C'est le passage de la phase liquide à la phase vapeur, il s'agit de l'évaporation physique. Les plans d'eau et la couverture végétale sont les principales sources de vapeur d'eau (Ludovice O ; 2004).

5.1. Evapotranspiration potentielle

L'évapotranspiration potentielle est la quantité d'eau susceptible d'être évaporée à partir d'un stock d'eau libre, dans des conditions d'alimentation excédentaires (Bouchet R., 1963). Elle dépend de plusieurs facteurs bioclimatiques qui sont variables dans l'espace et dans le temps, notamment de l'ensoleillement, de la température, des précipitations, de l'humidité, du vent et du couvert végétal.

Pour l'estimation des évapotranspirations potentielles mensuelles, nous avons utilisé deux formules : celle de Thornthwaite et de Turc.

5.1.1. Formule de Thornthwaite et al (1957)

Thornthwaite a été le premier à adopter la notion de l'évapotranspiration potentielle, en partant d'expériences réalisées sur divers climats : humide, subhumide et semi-aride, suivant la formule :

$$ETP=16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a K$$

Avec :

ETP : Evapotranspiration potentielle mensuelle (mm) ;

T : Température moyenne mensuelle (°C) ;

I : Indice thermique annuel : soit la somme des indices thermiques mensuels (i) calculés selon la formule :

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1.514}$$

a : Constante fonction de l'indice thermique annuel :

$$a = 0.016 * I + 0.5$$

K : coefficient de correction en fonction de la latitude et du mois.

Cette méthode est largement utilisée mais tend à surestimer les valeurs de l'ETP, particulièrement en période estivale, probablement à cause du rôle prépondérant occupé par la température.

5.1.2. Formule de Turc (1954)

La formule de Turc, qui dérive en simplifiant de formule de Penmann, ne nécessite que la connaissance des températures de l'air et de la radiation globale ou de la durée d'ensoleillement. Cette formule est la suivante :

$$ETP = 0.4(Ig + 50)k \frac{t}{t + 15}$$

Avec :

ETP : Evapotranspiration potentielle mensuelle (mm) ;

T : Température moyenne mensuelle de l'air (°C) ;

Ig : Radiation globale moyenne mensuelle reçue au sol (en calorie/cm²/jour) ;

$$Ig = IgA \left(0.18 + 0.62 \frac{h}{H} \right)$$

IgA : Radiation globale théorique (calorie/cm²/jour) ;

H : Durée théorique des jours du mois ;

K : Coefficient égal à 1 si l'humidité relative est supérieur à 50% (généralement le cas pour nos climats).

5.2. Evapotranspiration réelle

Elle est considérée comme la somme des quantités de vapeur d'eau réellement évaporées par le sol et par les plantes quand le sol est à une certaine humidité et les plantes à un stade de développement physiologique et sanitaire spécifique. Plusieurs formules ont été proposées pour évaluer cette quantité. Selon les données disponibles nous avons utilisé les formules de Turc, de W .C. Thornthwaite.

5.2.1. Formule de Turc (1961)

Est basée sur des observations réalisées sur des cases lys métriques implantées sur les bassins versants. Turc a établi la relation suivante

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

Avec $L = 300 + 25t + 0.05t^3$

ETR : Evapotranspiration réelle (mm/an)

P : Hauteur annuelle de pluie (mm),

t : Température moyenne annuelle (°C),

L : pouvoir évaporant,

ETR = 336.16mm/an

5.2.2. Méthode de Bilan hydrique simplifié selon W.C. Thornthwaite

Cette méthode se base sur la notion de RFU (réserve en eau facilement utilisable). Nous admettons que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau (RFU), cette eau peut être reprise par l'évaporation par l'intermédiaire des plantes (Lecarpentier, 1975). La quantité d'eau emmagasinée dans la RFU varie entre 0 (la RFU vide) et 200 mm (RFU max) suivant la nature des sols et sous-sols considérés.

Ce bilan est fondé sur l'hypothèse suivante :

Satisfaction du pouvoir évaporant $ETR=ETP$, c'est-à-dire avant qu'il y ait un écoulement quelconque, il faut d'abord satisfaire l'ETP. Par ailleurs, la complétion de la RFU est également prioritaire sur l'écoulement.

On établit ainsi un bilan à l'échelle mensuelle, à partir de la pluie du mois P , de l'ETP et de la RFU.

Si $P > ETP$, alors :

$$ETR = ETP$$

Il reste un excédent ($P - ETP$) qui est affecté en premier lieu à la RFU, et si la RFU est complète à l'écoulement Q

Si $P < ETP$: On évapore toute la pluie et on prend à la RFU (jusqu'à la vider) l'eau nécessaire pour satisfaire l'ETR soit :

$$ETR = P + \min(RFU, ETP-P)$$

$$RFU = 0 \text{ où } RFU + P - ETP$$

Si $RFU = 0$, la quantité ($Da = ETP - ETR$) représente le déficit agricole, c'est-à-dire sensiblement la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux plantes pour qu'elles ne souffrent pas de la sécheresse.

Tableau.III.9 : Estimation de l'ETP par la méthode de Thornthwaite (1980/1981-2020/2021)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Année
T (°C)	31,27	26,32	18,17	15,79	14,98	15,75	19,06	22,65	27,18	31,82	36,52	36,28	24.64
i	16,04	12,36	7,05	5,7	5,26	5,68	7,58	9,84	12,97	16,47	20,29	20,09	139.33
ETPnoncorrigé	145,27	90,75	33,00	22,49	19,48	22,34	37,60	60,23	99,08	152,35	221,92	217,96	1122.47
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	/
ETP corrigé	149,63	88,03	28,38	18,89	16,95	18,99	38,73	66,25	119,88	185,87	275,18	252,83	1259.61

ETP : évapotranspiration potentielle (mm).

Tableau.III.10: Bilan hydrique pour le bassin versant d'oued Mina Amont selon Thornthwaite (1980/1981-2020/2021)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Année
P (mm)	22,81	29,29	39,51	29,97	40,45	41,90	64,88	35,86	25,95	12,49	3,79	5,99	352,88
ETP (mm)	149,63	88,03	28,38	18,89	16,95	18,99	38,73	66,25	119,88	185,87	275,18	252,83	1259,61
RFU (mm)	0	0	11,13	22,21	45,71	50	50	19,61	0	0	0	0	50
ETR (mm)	22,81	29,29	28,38	18,89	16,95	18,99	38,73	66,25	45,56	12,49	3,73	5,99	308,06
DA (mm)	126,82	58,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	74,32	173,38	271,45	246,84	951,55
Ecoulement (mm)	0	0	0	0	0	18,62	26,15	0	0	0	0	0	44,77

A partir le tableau III 10, nous distinguons deux saisons :

P > ETP : de Novembre jusqu'au mois de Mars.

ETP > P : du mois de Avril jusqu'à Octobre.

Pendant la saison humide, les précipitations couvrent les besoins de l'ETP et permettent la formation d'une réserve facilement utilisable RFU. Dans le mois de Mai, apparait un déficit agricole qui se poursuit jusqu'a l'épuisement de la RFU.

Le déficit agricole est évalué à 951.55 mm, avec un excédent 44.77mm. On remarque aussi que, le début de la réserve du sol se fait au mois de Novembre et atteint son maximum au mois de Février et Mars avec une valeur de 50mm.

6. Régime climatique

6.1. Indice d'aridité de De Martonne (1926)

La classification d'Emmanuel De Martonne est fondée sur un indice d'aridité qu'il a défini en 1926 comme le rapport entre les précipitations et les températures dont la formule est la suivante

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

Avec :

P : Précipitations moyennes annuelles (mm) ;

T : Température moyenne annuelle (°C).

Cette formule permet de trouver le type de climat qui règne dans le sous bassin versant, ce dernier est défini en fonction de la valeur de cet indice (Fig. III 8).

- 20 < I < 30 Climat Tempéré
- 10 < I < 20 Climat Semi-Aride
- 7.5 < I < 10 Climat Steppique
- 5 < I < 7.5 Climat Désertique
- I < 5 : Climat Hyperaride

Nous avons obtenu un indice d'aridité, I=10.19 Cette valeur reportée sur l'abaque de Martonne indique un régime climatique est semi-Aride avec un écoulement temporaire et des formations herbacées.

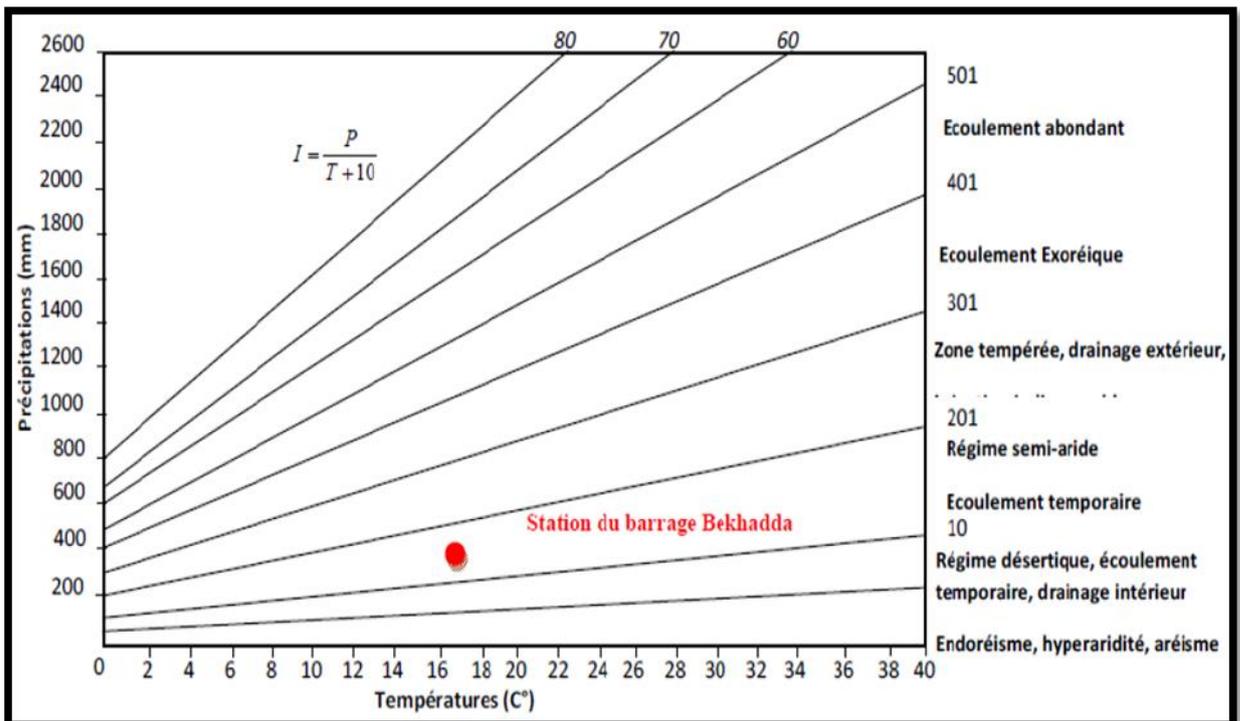


Fig.III .8 : Abaque de DE MARTONNE

6.2. Indice d'aridité de la FAO

Il est défini par la formule suivante :

$$I = \frac{P}{ETP}$$

Avec :

P : Précipitations moyennes annuelles (mm) ;

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm).

Les expériences de la FAO distinguent quatre zones bioclimatiques :

- I < 0 Zone désertique
- 0.06 < I < 0.2 Zone aride ou désertique atténuée
- 0.2 < I < 0.5 Zone semi-aride

$I > 0.7$ Zone subhumide

En appliquant cette formule sur notre région d'étude, nous aurons $I = 0.280$. D'après l'indice d'aridité de la FAO, la région de barrage Bakhadda jouit d'un climat semi-aride.

A la lumière des résultats des méthodes utilisées pour définir le régime climatique, la région d'étude est soumise à un climat semi-aride.

7. Bilan hydrologique

7.1. Estimation du ruissellement

Le ruissellement est considéré comme un écoulement de surface qui généralement n'intervient qu'après la saturation du sol, On estimera le ruissellement par la formule de Tixeront-Berkaloff (1969).

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2}$$

Avec :

R : Lamé d'eau ruisselée (mm) ;

P : Lamé d'eau précipitée des stations d'oued Mina amont (mm).

ETP : Evapotranspiration (mm).

7.2. Estimation de l'infiltration

La fraction d'eau infiltrée représente l'apport de la nappe à partir des précipitations efficaces :

$$I = P - (ETR + R)$$

Avec :

I : infiltration (mm) ;

P : Lamé d'eau précipitée (mm) ;

ETR : Evapotranspiration Réelle (mm) ;

R : Lamé d'eau ruisselée (mm).

Tableau. III.11 : Tableau récapitulatif des paramètres du bilan hydrologique (1980/1981-2020/2021).

Paramètre	Méthode	Valeur (mm/an)	Moyenne
Pluie		352.88	
Evapotranspiration Potentielle	Thornthwaite	1259.61	
Evapotranspiration réelle	Turc	363.19	87.29
	Thornthwaite	308.06	(%)
Ruissellement	Tixeront-Berkaloff	9.23	2.62(%)
Infiltration		35.59	10.09 (%)

D'après ces résultats du bilan hydrologique au niveau du bassin d'oued Mina amont, nous remarquons que 87.29% des précipitations sont pratiquement reprises par l'évapotranspiration et retournent à l'atmosphère, 2.62% de cette pluie constitue la lame ruisselée et seulement 10.09% sous forme d'une lame infiltrée.

Ces résultats restent sommaires et loin de représenter la réalité que présente le terrain. Toutefois, ils nous donnent une idée sur l'importance des quantités reprises par l'évaporation. Son inconvénient principal concerne essentiellement l'estimation de la lame infiltrée.

8. Conclusion

Les caractéristiques climatiques du bassin versant de l'Oued Mina amont sont étroitement liées à son climat semi-aride, sa position géographique et son relief. La pluviométrie et son rôle dans l'écoulement ont été amplement analysés. Après une analyse des données, nous avons été amenés à prendre pour l'étude une série assez longue allant de 1980/1981 à 2020/2021. Ce bassin caractérisé par des précipitations irrégulières (précipitation moyennes annuelle égale 436.74 mm), et température moyenne égale 24.64°C caractérisé par deux périodes différentes, une période humide allant de Novembre jusqu'à Avril, et autre période sèche de Mai jusqu'à Octobre.

Une forte proportion des eaux précipitées est reprise par l'évaporation, elle est de 308.06 mm, soit 87.29%, environ 2.62% de celles-ci ruissèlent avec 9.23 mm, et 10.09 % correspondent à la lame d'eau infiltrée, soit 35.59 mm. Les résultats du bilan hydrologique nous donnent une idée sur l'importance des quantités reprises par l'évaporation

CHAPITRE IV

Introduction

L'étude hydrologique est une discipline primordiale pour la réalisation des ouvrages hydrauliques, a pour but l'estimation de tous les paramètres hydrologiques de l'oued, tels que Les débits des crues, les apports du bassin versant ...etc.

Dans cette étude, on applique les formules empiriques pour l'estimation du débit maximum dans le sous bassin versant de Mina amont pour différentes périodes de retour.

Nous utilisons le logiciel hyfran pour l'ajustement de la série des pluies maximales journalières annuelles (41ans) relatives à la station de barrage Bakhadda.

I. Estimation des débits des crues

1. Précipitations extrêmes

L'analyse des précipitations journalières maximales et même des hauteurs de pluie horaire présente un intérêt particulier, pour les études de protection contre les crues.

Le tableau. IV. 1, donne les différentes caractéristiques statistiques pour une stations considérées dans la région d'étude. (Otman A, 2015)

Tableau. IV. 1 : Paramètres statistiques des pluies maximales journalières pour une station (1980/1981-2020/2021)

Statistiques de base	Stations pluviométriques
	Barrage Bakhadda
Minimum	12.4
Maximum	48.5
Moyenne	29.6
Ecart-type	8.02
Médiane	29.4
Coefficient de variation (Cv)	0.271
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0.151
Coefficient d'aplatissement (Ck)	2.63

Il s'avère que ces hauteurs maximales recueillies en 24 heures sont d'autant plus élevées que le module mensuel et plus fort.

Concernant la variabilité temporelle de pluie maximale journalière, on relève que la hauteur la plus forte coïncide avec les mois les plus pluvieux de l'année : Septembre et Octobre ou Mars, Avril et Mai pour la série (1980/1981-2020/2021).

Ces pluies exceptionnelles alimentent largement les crues et les transports solides des oueds surtout dans les terrains fortement dénudés qui occupent une partie importante du bassin, là où les inondations risquent de se produire.

Pour dégager une idée générale sur l'importance des pluies extrêmes, nous nous basons sur des données d'observations disponibles pour la station de Barrage Bakhadda (car la zone d'influence de cette station couvre l'ensemble du bassin d'oued Mina Amont avec une période de quarante-un ans (1980/1981-2020/2021)).

Pluies maximales journalières : Les pluies maximales journalières de rares fréquences sont des pluies génératrices des crues d'importants débits, contre lesquels il faut protéger l'ouvrage. (Zeghdoudi B,2019).

1.1. Ajustement des pluies maximales journalières

Afin de faire ressortir cette irrégularité temporelle de pluie extrême, une étude fréquentielle nous permet de caractériser et d'estimer les précipitations exceptionnelles, pour les différentes durées de récurrence.

Nous avons effectué l'ajustement de la série des pluies maximales journalières de la station de Barrage Bekhadda à la loi de Gumbel (doublement exponentielle), Galton (log normale) et Gauss (normale) à l'aide du logiciel HYFRAN « Hydrology Frequency Analysis » conçu spécialement pour le traitement des données hydrologiques extrêmes.

HYFRAN a été développé par l'équipe du Dr. B. Bobée et son groupe de recherche à l'Institut National de la Recherche Scientifique - Eau Terre et Environnement (INRS-ETE) de l'Université du Québec avec le parrainage d'Hydro-Québec.

Nous avons tenté de faire une comparaison des droites de régression obtenues par les ajustements (figure IV. 1).

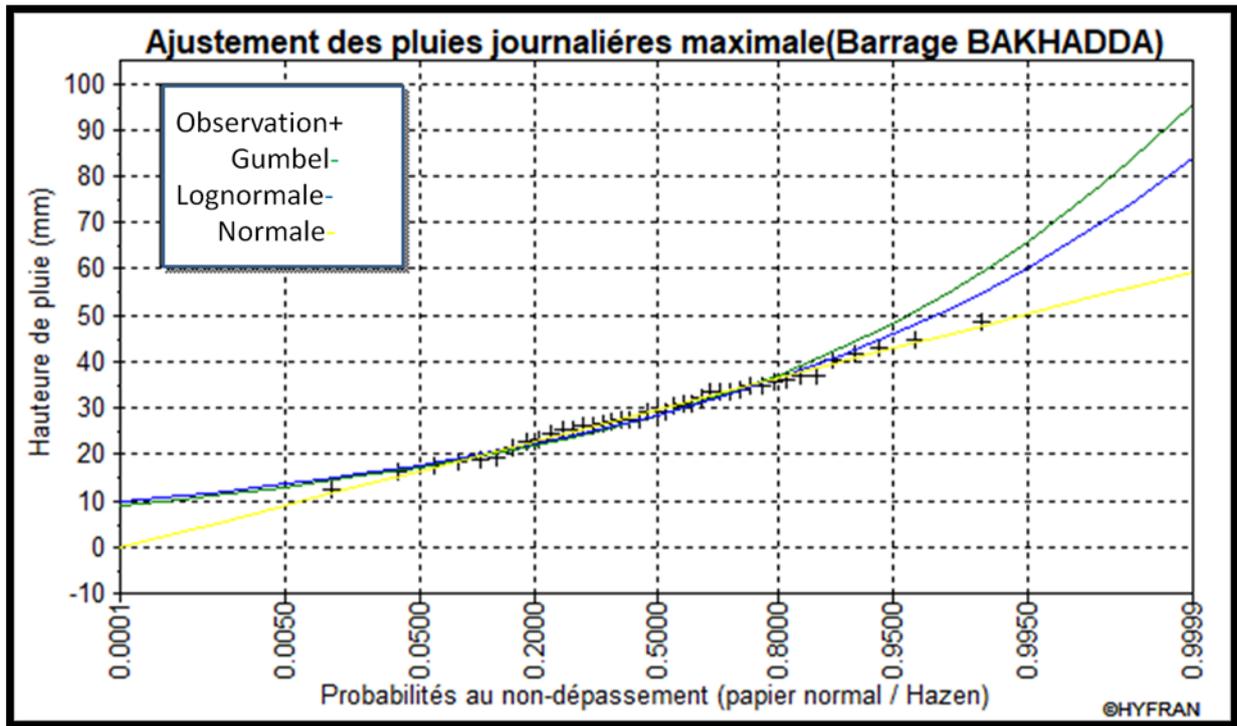


Fig. IV. 1 : Ajustement comparatif des trois lois pour les stations retenues

A partir le coefficient de variation (tableau IV 1 « $C_v < 0.5$ ») et la figure d’ajustement comparatif des lois nous avons choisi la droite de Gumbel (passe bien au milieu de ces points expérimentaux), donc cette loi est applicable pour la série d’observation caractéristique du bassin (figure IV. 2).

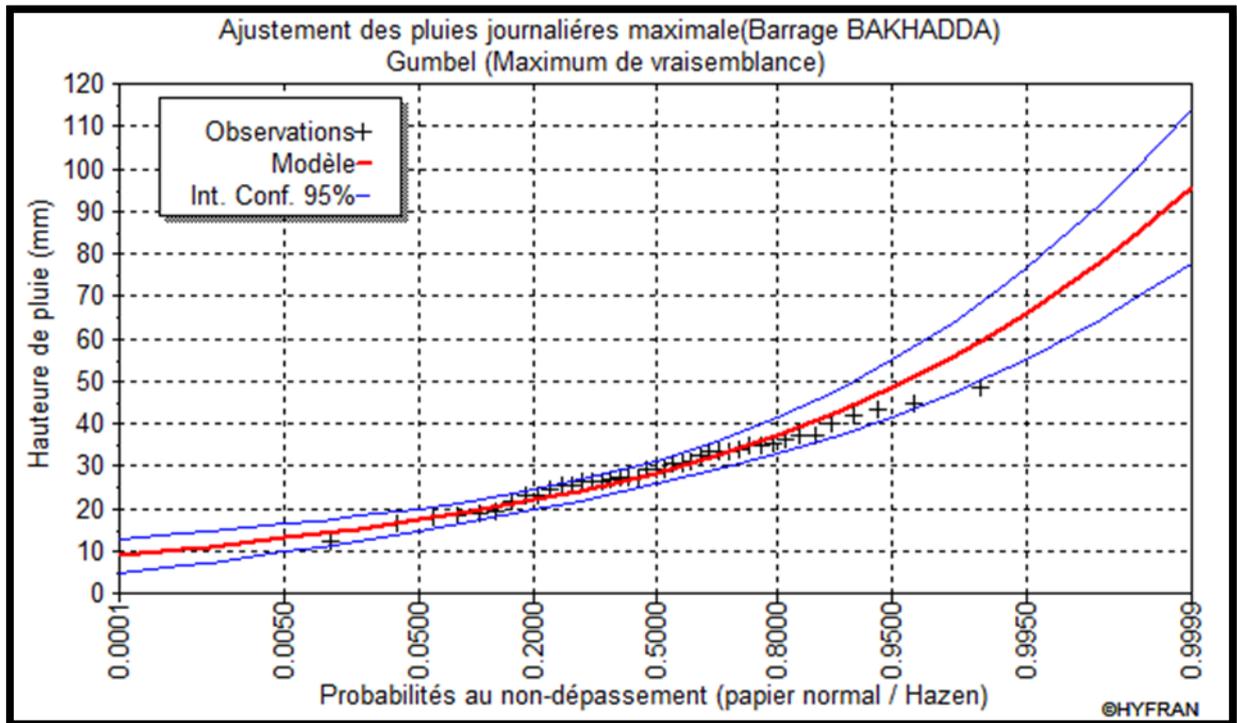


Fig. IV. 2 : Ajustement des précipitations journalières maximales à la loi Gumbel

Les quantiles estimés pour les probabilités de retour retenues sont présentés dans le (tableau. IV. 2).

Tableau. IV. 2 : Pluie maximale journalière fréquentielle, pour la station pluviométrique de Barrage Bakhadda (1980/1981-2020/2021)

Stations		T=02 F=0,50	05 0,80	10 0,90	20 0.95	50 0,98	100 0,99
Barrage Bakhadda	Pj max	28.4	37.1	42.8	48.2	55.3	60.7
	Int. Conf.	37.3-48.2	32.8-41.2	37.3-48.2	41.6-54.9	47-63.6	51.1-70.2

F : fréquence, U : variable réduite de Gumbel, T : récurrence

1.2.Pluies de courtes durées

Pour mieux caractériser l’écoulement fluvial extrême ayant trait aux crues et les inondations, il faut descendre à une échelle temporelle encore plus fine dans l’analyse des pluies extrêmes, à l’échelle des pluies horaires, pour une analyse complète des événements averse-crue observés sur le bassin.

Le calcul des pluies de courtes durées pour différentes fréquences a été effectuée à l'aide de la relation de Body exprimée par :

$$F = Pj_{max} \left(\frac{t}{24} \right)^b$$

Avec :

F : Pluie de courte durée de fréquence donnée (mm).

Pj_{max} : Pluie maximale journalière de fréquence donnée (mm).

t : Temps (heure).

b : Exposant climatique calculé par la relation :

$$b = 1 + \frac{\ln\left(\frac{\bar{P}j_{max}}{24}\right) - \ln(25)}{\ln(24) - \ln(0.5)}$$

$\bar{P}j_{max}$: Pluie maximale journalière moyenne pour la période 1980/1981 - 2020/2021.

Les résultats de l’exposant climatique sont donnés par le tableau II 6.

Tableau. IV. 3 : Valeurs de l'exposant climatique pour la station de Barrage Bakhadda

Station	\bar{P}_j max (mm)	Exposant climatique
Barrage Bakhadda	29.62	0.222

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

$$I_t = \frac{F}{t}$$

L'intensité et la pluie de courte durée d'un pas de temps voulu, pour les différentes fréquences est représentée dans le tableau IV. 4.

Tableau .IV. 4 : Pluies de courtes durées et leurs intensités pour la station Pluviométrique de Barrage Bakhadda

t(h)	2		5		10		20		50		100	
	F	I_t										
0.5	11.98	23.97	15.65	31.31	18.06	36.12	20.34	40.68	23.33	46.67	25.61	51.23
1	13.98	13.98	18.27	18.27	21.07	21.07	23.73	23.73	27.23	27.23	29.89	29.89
2	16.32	8.16	21.32	10.66	24.60	12.30	27.70	13.85	31.78	15.89	34.88	17.44
3	17.86	5.95	23.34	7.78	26.92	8.97	30.32	10.10	34.79	11.59	38.18	12.72
4	19.05	4.76	24.88	6.22	28.70	7.17	32.33	8.08	37.09	9.27	40.71	10.17
6	20.85	3.47	27.23	4.53	31.42	5.23	35.38	5.89	40.60	6.76	44.56	7.42
12	24.33	2.02	31.78	2.64	36.67	3.05	41.30	3.44	47.38	3.94	52.01	4.33
18	26.63	1.47	34.79	1.93	40.14	2.23	45.20	2.51	51.86	2.88	56.93	3.16
24	28.4	1.18	37.1	1.54	42.8	1.78	48.2	2.00	55.3	2.30	60.7	2.52

F:(mm), I_t :(mm/h) et t : (heure).

Les graphes sur la figure IV 3 représentent les courbes des pluies à courte durée et les courbes Intensité-Durée-Fréquence.

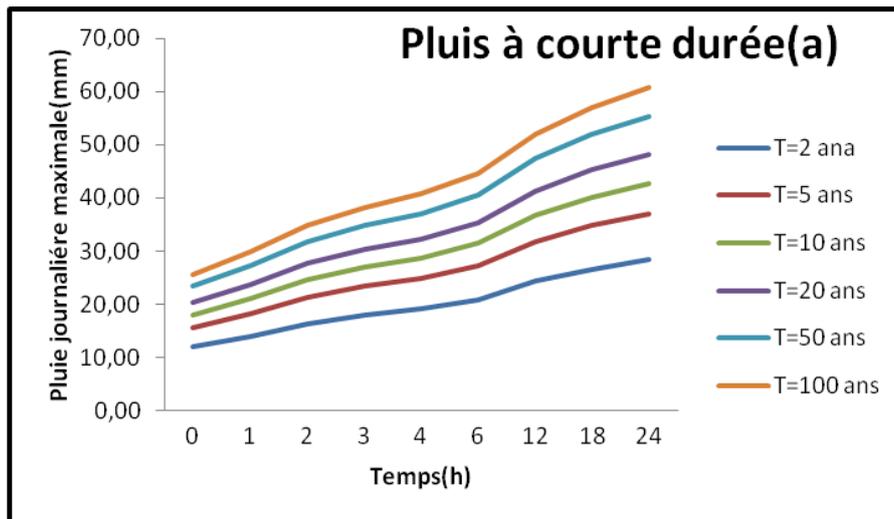


Fig .IV .3 : Les courbes des pluies à courte durée (a)

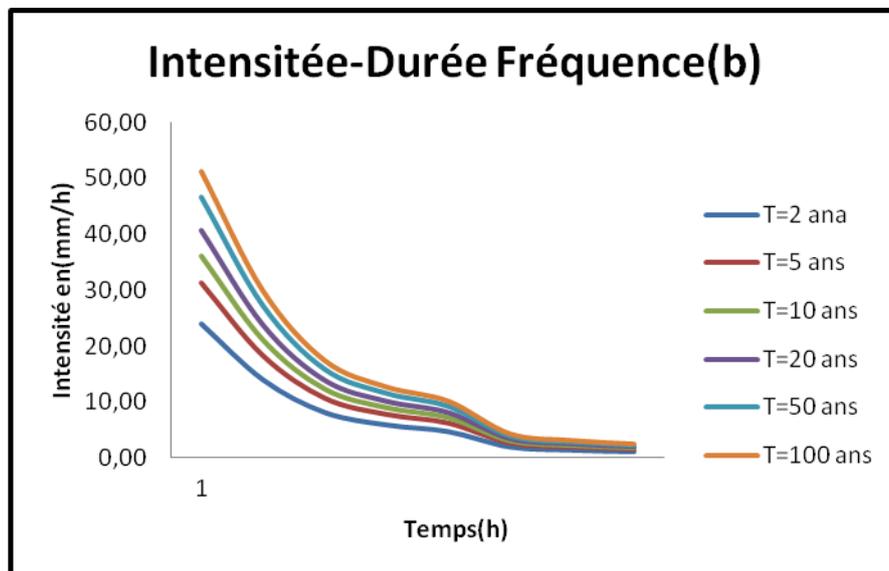


Fig. IV .4 : Intensité-Durée-Fréquence (b)

2. L'Étude des crues :

Les crues sont des écoulements variables dans lesquelles les débits atteignent des valeurs importantes. Leur étude a pour but de déterminer les hydrogrammes de crues fréquentielles sur le bassin versant et de définir les débits maxima probables correspondants.

L'estimation des crues révèle une grande importance pour la sécurité de l'ouvrage à implanter.

Les paramètres définissant une crue sont :

- Le débit maximum (débit de pointe).
- Le volume.
- Le temps.
- La forme (Hydrogramme des crues).

3. Différentes méthodes d'estimation des débits des crues :

Dans une première phase d'évaluation des risques de crues et de leurs divers paramètres, les hydrologues ont établi des méthodes d'estimation concernant la détermination des volumes probables de crues futures et leurs éléments associés. Dans la plupart des cas, il convient d'estimer les pointes de débits (et de niveaux d'eau) et leur fréquence dans un bassin versant, mais dans notre cas on peut procéder à l'estimation d'un maximum des conditions extrêmes.

Dans de nombreux cas réels, la méthode ou les méthodes adoptées dépendent des données disponibles des caractéristiques régionales et de l'intuition de l'hydrologue. C'est souvent l'une des tâches les plus difficiles à effectuer, les estimations sont fréquemment obtenues avec un degré marqué d'incertitude. Pour cette raison, il est recommandé pour toute application de faire appel à plusieurs méthodes d'évaluations des débits de crues.

Il existe de nombreuses formules pour l'estimation des débits des crues et leur étude détaillée permet une vue d'ensemble du développement historique de l'hydrologie. D'une façon générale, les formules empiriques peuvent être classées selon les paramètres intervenants, entre autres celles dans lesquelles le débit est en fonction de la surface du bassin versant "S" et la période de retour "T".

Pour la détermination du débit de pointe probable de la crue des différentes périodes de retour, différentes formules empiriques ont été sélectionnées pour le calcul, par manque d'observation.

1.3. Formule de MALLET-GAUTHIER :

$$Q_{\max P\%} = 2K \log(1 + 20 \cdot P_{\text{moy}}) \cdot \frac{S}{\sqrt{L}} \sqrt{1 + 4 \log T - \log S}$$

$Q_{\max P\%}$: Débit maximum pour une fréquence donnée (m^3/s).

P_{moy} : Pluie moyenne annuelle (m).

S : Superficie du bassin versant (Km^2).

L : Longueur du talweg principal (Km).

K : Constante dépendant des caractéristiques du bassin : K varie de (1-3). On prend $K = 2$

T : Période de retour (an).

Le tableau IV 5 nous donne tous les résultats de calcul.

Tableau .IV. 5 : Débit maximum calculé par la formule de MALLET-GAUTHIER

Bassins	Fréquence (%)	0.5	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99
	Période de retour (an)	02	05	10	20	50	100
Mina Amont	$Q_{max} (m^3/s)$	0,00	513,54	857,67	1098,85	1353,24	1517,60

1.4. Formule de SOKOLOVSKY

$$Q_{max \%} = \frac{0.28. (P_t - H_0). ap\% . F . S}{T_c}$$

S : Superficie du bassin versant.

H₀ : Pertes initiales en mm. H₀ = 8 mm

ap% : Coefficient de ruissellement de la crue probable pour une période donnée ;

$$ap\% = \frac{\sqrt{Pt\%} - \sqrt{H_0}}{\sqrt{Pt\%} + \sqrt{H_0}}$$

P_t : Pluie de courte durée.

T_c : temps de concentration.

F : coefficient de forme de l'hydrogramme de crue :

$$F = \frac{12}{4 + 3y}$$

On prend : y = 3, d'où : **F = 0.92**

Tableau .IV. 6 : Valeur de y en fonction de bassin versant

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

Les résultats de calcul sont inscrits dans le tableau (IV 7).

Tableau. IV. 7 : Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de SOKOLOVSKY)

Bassins	Fréquence (%)	0.5	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99
	Période de retour (an)	02	05	10	20	50	100
Mina Amont	Pt%	25,50	33,28	38,42	43,25	49,62	54,47
	a p %	0,28	0,34	0,37	0,40	0,43	0,45
	$Q_{max} (m^3/s)$	121,62	213,11	279,91	346,24	438,04	510,70

1.5. Formule de POSSENTI

$$Q_{\max} = \frac{\mu \cdot P_{\max j\%}}{L_p} \left(A_m + \frac{A_p}{3} \right)$$

$P_{\max j\%}$: Pluie maximale journalière correspondante à la période de retour donnée (m).

μ : Coefficient caractérisant la longueur du cours d'eau principal compris entre 700 et 800, nous choisissons $\mu = 750$

L_p : Longueur du cours d'eau principal en (Km). On obtient les résultats ci-après (Tableau IV 8)

A_m : surface (en km²) de la partie montagneuse ;

A_p : surface (en km²) de la partie plate.

Tableau .IV. 8 : Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de POSSENT)

Bassins	Fréquence (%)	0.5	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99
	Période de retour (an)	02	05	10	20	50	100
Mina Amont	$P_{\max j\%}$ (mm)	28,40	37,10	42,80	48,20	55,30	60,70
	Q_{\max} (m ³ /s)	478,70	625,34	721,42	812,44	932,11	1023,13

1.6. Formule TURRAZA :

$$Q_{\max \%} = \frac{C \cdot S \cdot I_t}{3.6}$$

S : Superficie du bassin versant (Km²).

C : Coefficient de ruissellement.

I_t : Intensité des pluies pour une fréquence donnée correspondant au temps de concentration en (mm/h).

Le coefficient de ruissellement dépend essentiellement du type de sol, de sa couverture végétale et de la pente du bassin. Le tableau IV 9 indique quelques valeurs de ce coefficient.

Tableau. IV. 9 : Quelques valeurs du coefficient de ruissellement

Type de surface	Pente	Coefficient de ruissellement
Sols à texture sableuse	< 2 %	0.05 – 0.10
	2-7 %	0.10 – 0.15
	> 7 %	0.15 – 0.20
Sols à texture lourde	< 2 %	0.13 – 0.15
	2-7 %	0.18 – 0.22
	> 7 %	0.25 – 0.35

Le coefficient de ruissellement est considéré constant dans le temps et dans l’espace. Ceci peut conduire à une sous-estimation du volume ruisselé puisque la capacité d’infiltration est supposée rester constante dans le temps tandis qu’en réalité, elle diminue.

Il est plus correct de considérer une valeur globale du coefficient de ruissellement calculée en découpant le bassin versant en zones homogènes, chacune ayant un coefficient de ruissellement C_i et une superficie A_i :

$$C_r = \frac{\sum C_i A_i}{\sum A_i}$$

D’après le tableau IV 9, le bassin d’oued Mina Amont présente un coefficient de ruissellement de 0.18 correspond à une pente inférieure à 03% (voir indices de pente, chapitre I).

Tableau .IV. 10 : Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (formule de TURAZA)

Bassins	Fréquence (%)	0.5	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99
	Période de retour (an)	02	05	10	20	50	100
Mina Amont	I_t	1,82	2,37	2,74	3,08	3,54	3,89
	$Q_{max}(m^3/s)$	120,77	157,26	181,81	204,37	234,89	258,12

1.7. Formule de GIANDOTTI :

$$Q_{max\%} = \frac{C.S. (H_{moy} - H_{min})^{1/2}}{4(S)^{1/2} + 1.5L} . P_t$$

$Q_{max\%}$: Débit maximum de crue en m^3/s de même fréquence que celle de la pluie de courte durée.

C : Coefficient topographique varie entre 66 et 166.

S : superficie du bassin versant.

L : longueur du talweg principal.

H_{moy} et H_{min} : altitudes moyennes et minimales en (m).

P_t : Pluies de courte durée.

Tableau .IV. 11 : Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de GIANDOTTI)

Bassins	Fréquence (%)	0.5	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99
	Période de retour (an)	02	05	10	20	50	100
Mina	P_t (m)	0,026	0,033	0,038	0,043	0,049	0,054
Amont	Q_{max} (m ³ /s)	366,549	478,382	552,267	621,696	707,943	782,977

Les résultats de calcul de toutes les formules sont représentés dans le Tableau IV 12.

Tableau. IV .12 : Récapitulatif des résultats de débit de crue

Stations	Périodes de retour	Formules					Moyenne
		Mallet-Gauthier	Sokolovsky	Possenti	Turraza	Giandotti	
Mina Amont	02	0,00	121,62	478,70	120,77	366,55	217,53
	05	513,54	213,11	625,34	157,26	478,38	397,53
	10	857,67	279,91	721,42	181,81	552,27	518,62
	20	1098,85	346,24	812,44	204,37	621,70	616,72
	50	1353,24	438,04	932,11	234,89	707,94	733,24
	100	1517,60	510,70	1023,13	258,12	782,98	818,51

D’après le tableau IV 12, les formules qui semblent donner une valeur acceptable du débit de pointe sont les méthodes de Sokolovsky, Possenti et celle de Turraza. Les valeurs données par la formule de Mallet-Gauthier sont largement sous-estimé.

Alors, sur la lumière de ces formules, on opte les résultats de la moyenne des formules que nous avons jugées utiles pour notre cas.

2. Hydrogramme de crue :

L’hydrogramme de crue est une courbe qui nous renseigne sur les différentes caractéristiques de la crue : la forme, la durée, le volume et le débit de pointe qui sera le débit du projet (Zeghdoudi B, 2019).

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

$$Q_t = Q_{max} \left(\frac{t}{t_m} \right)^m$$

Et l'autre pour la décrue exprimée par :

$$Q_t = Q_{max} \left(\frac{t_d - t}{t_d} \right)^n$$

Q_{max} : Débit maximum de fréquence donnée.

Q_t : Débit instantané au moment (t).

t_m et t_d : temps de montée et de décrue.

m, n : puissances des paraboles pour l'Algérie $m=2$ et $n=3$.

Temps de la décrue : $t_d = \gamma \cdot t_m = \gamma \cdot t_c$

γ : Coefficient de forme de l'hydrogramme des crues. (Voir le tableau IV. 13)

Tableau .IV .13 : Coefficient de forme de l'Hydrogramme de crue γ .

Condition	γ
Petits cours d'eau et vallons dans des bassins versants dénudés et faiblement perméables.	2 à 2,5
Petits cours d'eau et vallons dans des bassins versants brisés ou perméables, moyens cours d'eau avec terrasses de lit majeur	3 à 4
Grands et moyens cours d'eau avec des terrasses de débordements étendues.	4 à 7

D'apes les caractéristiques on prend $\gamma =4$ pour le bassin d'oued Mina amont

Tableau .IV .14 : *Tableau récapitulatif des temps de concentration, de montée et de décrue*

Station	t_c	t_d	t_m
Barrage Bakhadda	13.87	55.48	13.87

Pour construire l'hydrogramme des crues (voir la figure IV 4), nous avons utilisé les valeurs des débits de crues pour différentes périodes de retour, les résultats obtenus sont exposés dans les tableaux IV 15.

Tableau. IV. 15 : Hydrogramme de crues pour différentes périodes de retour (Phase de la montée de crue)

Temps (h)	Q (02ans)	Q (05ans)	Q (10ans)	Q (20ans)	Q (50ans)	Q (100ans)
0	0	0	0	0	0	0
2	4,52	8,27	10,78	12,82	15,25	17,02
4	18,09	33,06	43,13	51,29	60,98	68,08
6	40,71	74,39	97,05	115,41	137,21	153,17
7	55,41	101,25	132,10	157,08	186,76	208,48
8	72,37	132,25	172,53	205,17	243,94	272,30
9	91,59	167,38	218,36	259,67	308,73	344,63
10	113,07	206,64	269,58	320,58	381,15	425,47
11	136,82	250,03	326,20	387,90	461,19	514,82
12	162,82	297,56	388,20	461,63	548,86	612,68
13	191,09	349,22	455,60	541,78	644,14	719,04
13.87	217,53	397,53	518,62	616,72	733,24	818,51

Tableau .IV. 16 : Hydrogramme de crues pour différentes périodes de retour (Phase de décrue)

Temps (h)	Q (02ans)	Q (05ans)	Q (10ans)	Q (20ans)	Q (50ans)	Q (100ans)
0	217,53	397,53	518,62	616,72	733,24	818,51
2	194,84	356,07	464,53	552,40	656,77	733,14
4	173,79	317,59	414,33	492,71	585,81	653,93
6	154,31	282,00	367,90	437,49	520,15	580,63
8	136,34	249,17	325,06	386,55	459,59	513,03
10	119,83	218,99	285,69	339,73	403,93	450,89
12	104,71	191,35	249,63	296,86	352,95	393,99
14	90,91	166,14	216,75	257,75	306,45	342,08
16	78,38	143,25	186,88	222,23	264,22	294,95
18	67,07	122,56	159,89	190,14	226,07	252,35
20	56,89	103,97	135,64	161,30	191,77	214,07
22	47,80	87,36	113,97	135,53	161,14	179,87
24	39,74	72,62	94,74	112,66	133,95	149,53
26	32,63	59,64	77,81	92,53	110,01	122,80
28	26,43	48,31	63,02	74,94	89,10	99,46
30	21,07	38,51	50,24	59,74	71,03	79,29
32	16,49	30,13	39,31	46,75	55,58	62,04
34	12,62	23,07	30,10	35,79	42,55	47,50
36	9,42	17,21	22,45	26,70	31,74	35,43
38	6,80	12,43	16,22	19,29	22,93	25,60
40	4,73	8,64	11,27	13,40	15,93	17,78
42	3,12	5,70	7,44	8,85	10,52	11,74
44	1,93	3,52	4,59	5,46	6,50	7,25
46	1,09	1,98	2,59	3,08	3,66	4,08
48	0,53	0,97	1,27	1,51	1,80	2,01
50	0,21	0,38	0,50	0,59	0,71	0,79
52	0,05	0,10	0,13	0,15	0,18	0,20
54	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
55,48	0	0	0	0	0	0

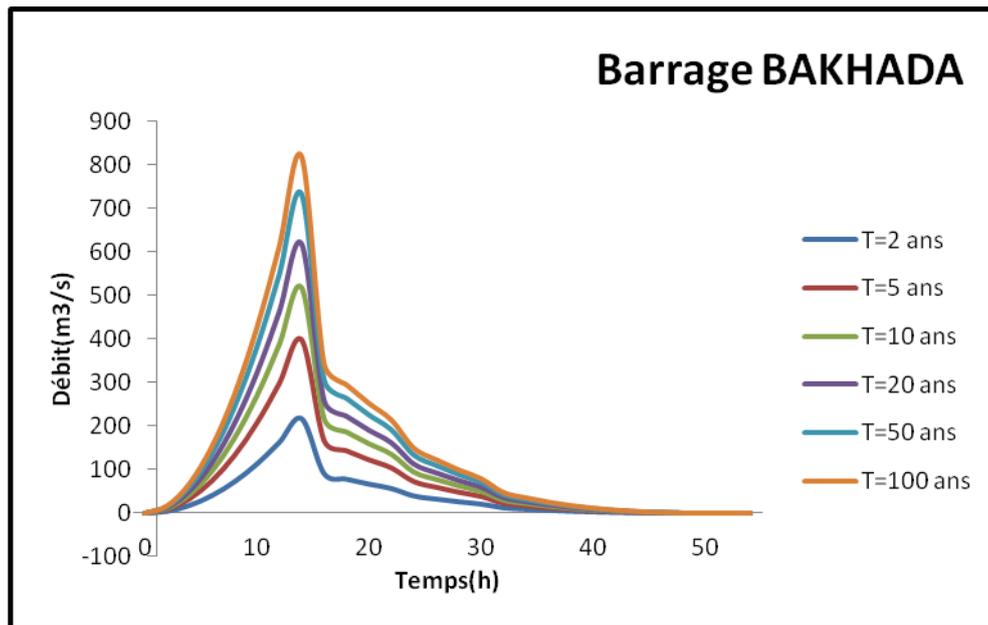


Fig. IV .5 : Hydrogramme fréquentiels des différentes périodes de retour

Les débits de crue sont plus élevés sur l'ensemble du bassin en raison de la grande superficie drainée par ce cours d'eau (1327.09 km²).

Le débit de crue pour une période de retour de 100 ans est : $Q_{\max, 100} = 818.51 \text{ m}^3/\text{s}$

3. Conclusion

En conclusion, on constate que la puissance des crues est en fonction de plusieurs facteurs liés l'un à l'autre : que ce soit morphologiques, lithologiques météorologiques et bien sûr le rôle du couvert végétal et son impact sur la genèse de ces crues.

Alors l'étude effectuée dans ce chapitre nous a permis :

L'ajustement de la série pluviométrique suit la loi de Gumbel et estimer le débit maximum, en appliquant les différentes formules empiriques pour différentes périodes de retour. Le débit de crue pour un temps de retour de 100 ans est $818.51 \text{ m}^3/\text{s}$.

**Conclusion
générale**

Conclusion générale

La région d'étude s'étend sur une superficie de 1327.09 km² et périmètre de 177.88km. Elle a une forme allongée avec un coefficient de compacité de 1.32, Le temps de concentration est estimé à 13.87/heures. La densité de drainage est de 2.15 km/km².

Les formations géologiques prédominantes dans le bassin sont constituées par trois horizons : les calcaires du jurassique, les marno-calcaires du Crétacé et les grès du Miocène ou grès de Tiaret.

Sur le plan tectonique on assiste le contact par faille entre les formations du Jurassique et Crétacé au sud du bassin. Au Centre, la série de fractures NS que l'oued Mina semble matérialiser par son cours et un pendage à l'horizontal témoin d'une tectonique calme.

Du point de vue hydrogéologique, la région d'étude est caractérisée par les nappes suivantes :

- Les dépôts Oxfordien et Kimméridgien du Jurassique Supérieur qui sont largement répartis dans notre secteur d'étude, recouverts au nord par les Crétacé Supérieur, La formation aquifère du Crétacé Supérieur qui connaît une grande importance en particulier au Nord et au Sud du secteur.
- La formation du Miocène Inférieur que l'on rencontre en générale au niveau de grabens présente une extension limitée.
- Les dépôts Quaternaire seront drainés en profondeur vers les aquifères du Jurassique ou du Crétacé Supérieur.

Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 436.74 mm, la température moyenne est de 24.65°C. L'évolution annuelle de ces deux paramètres permet de distinguer une période chaude et sèche et une période froide et humide. L'évapotranspiration réelle moyenne est de l'ordre de 308.066mm soit 87.29 % des précipitations moyennes annuelles pour Bakhadda.

A partir de l'analyse des paramètres climatiques et l'abaque de Martonne, on peut dire que notre région d'étude est soumise par un climat semi aride.

L'étude hydrologique du bassin versant d'oued Mina amont, nous a permis de dire que l'étude géomorphologique de la région souligne la complexité des interactions géologiques, géomorphologiques et morphométriques,

En se basant sur les résultats des formules empiriques pour déterminer les paramètres suivants :

- Le débit maximum
- Le débit de crue pour différentes périodes de retour.
- L'hydrogramme de crue.

Conclusion générale

Le débit de crue pour une période de retour de 100 ans égale $818.51\text{m}^3/\text{s}$, à travers de cette étude nous constatons que le débit généré par le bassin versant de la Mina amont est vraiment important à cause de sa superficie et de sa morphométrie.

**Références
bibliographiques**

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1. Abbes Z et Yaakoub N (2015) :** Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la région de Frenda, Mémoire de fin d'études, Université d'Ibn Khaldoun, Tiaret.
- 2. Achir mohamed , 2009 :** évolution et modélisation de l'érosion hydrique ;étude comparative entre le region cécéatiere de rahouia et le region steppique de faidja ,thèse de magister université djelfa, p42.
- 3. ANRH Tiaret, 2015:** Agence national des ressources hydraulique Tiaret, 2015.
- 4. Bouabdelli sahraoui ;2015 :** analyse du regime pluviometrique et du regime hydrologique du bassin versant de la mina,thèse magister,universite oran 2,p68
- 5. Bouanani A., baba-hamed K., Bouanani R. 2010 :** Utilisation d'un modèle global pour la modélisation pluie-débit : Cas du bassin de l'Oued Sikkak (Tafna – NW algérien).
- 6. Bouchenafa N ;2009 :** etude biogeochimique et hydrodynamique du sous bassin versant de l'oued mina (region tiaret), these de doctorat, université oran ,p 4, 5et 6.
- 7. Bouchet J., 1963 –** Evapotranspiration réelle et potentielle, signification climatique. Docteur d'Etat en Géologie, Université d'Oran, p 14 et 31. IAHS Publ, 142 p.
- 8. Ludovic O., 2004 –** Recherche d'un modèle d'évapotranspiration potentielle pertinent comme entrée d'un modèle pluie-debit globale, Pub, 477 p.
- 9. MUSY A., 2005 :** Cours d'hydrologie générale. HYDRAM-ISTE-Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), <http://hydram.epfl.ch/e-drologie/>.
- 10. Otmane A., 2015 –** Prédétermination des valeurs des pluies et crues extrêmes dans le bassin versant de l'Oued Mekerra.
- 11. Otmane A., 2018 –** Impacts de la variabilité climatique sur l'hydrologie et la gestion des ressources en eau du bassin versant de l'Oued Mekerra (Nord-ouest algérien), Thèse doctorat, Université de Tlemcen, 256 p.
- 12.Safa A (2010) :** Contribution à l'étude hydrogéologique du bassin versant de la Mina télédétection a semi –aride (Hautes plaines oranaises, Algérie nord occidentale)
- 13.Toumi S, 2013 :** application des techniques nucléaires et de la télédétection a l'étude de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued mina,Université. Blida, 189 pages.
- 14. Zeghdoudi B, 2019:**Etude de protection contre l'inondation dans le sous-bassin d'ELHAMMAM, mémoire master, l'Université Guelma ,p24 et 42.
- 15. Zerrouki M, 2016 :**impact du réseau hydrographique du bassin versant la haute-mina sur l'envasement du barrage bakhadda ,mémoire de master, université Oran, p 74et77.

Résumé

Le sous bassin versant de barrage Bakhadda fait partie du grand bassin versant d'oued Chelif, est situé au nord-ouest Algérien. Il s'étend sur une superficie de 1327.09 Km². Cette région subit d'un climat semi-aride avec une pluie moyenne annuelle de 436.7 mm et d'une température moyenne annuelle de l'ordre de 24.64°C.

L'objectif de cette étude est de mettre en évidence les différentes caractéristiques hydrogéologiques et hydrologiques de la région d'intérêt (sous bassin de la Mina amont). Pour cela nous avons utilisée des données géospatiales (Carte topographiques, images satellitaires) et de données multi-sources à savoir : les données climatiques (Pluie, température, humidité...), géologiques et hydrogéologiques.

Sur le plan hydrologique nous avons procédé à l'estimation d'un maximum des conditions extrêmes en utilisant les formules empiriques pour l'évaluation des débits de crues (le débit est en fonction de la surface du bassin versant "S" et la période de retour "T").

Les résultats trouvés montrent le caractère torrentiel d'oued Mina amont, ainsi que sa potentialité hydrique importante dans la région de Tiaret.

Mots clés : Barrage bakhadda, Bassin versant, Hydrologie, Hydrogéologie, Pluie extrême.

Abstract

The Bakhadda dam sub-catchment area is part of the large Oued Chelif catchment area, located in north-western Algeria. It covers an area of 1327.09 km² and has a semi-arid climate with an average annual rainfall of 436.7 mm and an average annual temperature of 24.64°C.

The objective of this study is to highlight the different hydrogeological and hydrological characteristics of the region of interest (upstream Mina sub-basin). For this purpose, we used geospatial data (topographic map, satellite images) and multi-source data, namely: climatic data (rainfall, temperature, humidity, etc.), geological and hydrogeological data.

From a hydrological point of view, we proceeded to the estimation of a maximum of extreme conditions by using empirical formulas for the evaluation of flood flows (the flow is a function of the surface of the catchment area "S" and the return period "T").

The results found show the torrential character of Oued Mina upstream, as well as its important hydric potentiality in the Tiaret region.

Key words: Bakhadda dam, Watershed, Hydrology, Hydrogeology, Extreme rainfall

ملخص

منطقة المستجمعات الفرعية لسد بخدة هي جزء من منطقة مستجمعات المياه الكبيرة في واد الشلف ، وتقع في شمال غرب الجزائر. تغطي مساحة 1327.09 كيلومتر مربع ولها مناخ شبه جاف بمتوسط هطول الأمطار السنوي 436.7 ملم ومتوسط درجة الحرارة السنوية 24.64 درجة مئوية.

الهدف من هذه الدراسة هو تسليط الضوء على الخصائص الهيدرولوجية والهيدرولوجية المختلفة للمنطقة المعنية (حوض المنبع الفرعي). لهذا الغرض ، استخدمنا البيانات الجغرافية المكانية (الخرائط الطبوغرافية ، صور الأقمار الصناعية) وبيانات متعددة المصادر ، وهي: البيانات المناخية (هطول الأمطار ، ودرجة الحرارة ، والرطوبة ، وما إلى ذلك) ، والبيانات الجيولوجية والهيدرولوجية .

من وجهة النظر الهيدرولوجية ، انتقلنا إلى تقدير الحد الأقصى للظروف القاسية باستخدام الصيغ التجريبية لتقييم تدفقات الفيضانات (التدفق هو دالة على سطح منطقة مستجمعات المياه "S" وفترة العودة "T").

النتائج التي تم العثور عليها تظهر الطابع الغزير لمنبع واد مينا ، فضلا عن إمكاناته المائية الهامة في منطقة تيارت.

الكلمات المفتاحية: سد بخدة ، مستجمعات المياه ، الهيدرولوجيا ، الجيولوجيا المائية ، هطول الأمطار الغزيرة