



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET  
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE ABBES LAGHROUR - KHENCHELA  
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE  
DEPARTEMENT Ecologie et Environnement



## MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master Académique

FILIERE : Écologie Et Environnement

OPTION: Écologie Fondamentale et Appliquée

Thème :

**Analyse morphométrique et influence sur l'écoulement du sous- bassin  
versant de Chat el Baydhaa (01-07) (Hauts Plateaux Constantinois)**

### Présenté par:

Zelfani Imen

et

Bentaher Chahinez

### Devant les membres de jury :

<b>Président :</b> Dr Ziouch Omar Ramzi	MCA	Univ. Abbés Laghrou -Khenchela
<b>Examineur :</b> Dr Boulabeiz Mahrez	MCA	Univ. Abbés Laghrou –Khenchela
<b>Encadreur :</b> Dr Daifallah Tarek	MCA	Univ. Abbés Laghrou -Khenchela

**Promotion : 2021/2022**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

١٤٣٨



## REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et  
miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce  
Modeste travail.

La première personne que nous tenons à remercier est notre encadrant  
Mr. Daifallah Tarek, pour l'orientation, la confiance, la patience qui ont  
constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu  
être mené au bon port. Qu'il trouve dans ce travail un hommage vivant à  
sa haute personnalité.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les  
professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont  
soutenu dans la poursuite de nos études.

Enfin, on remercie tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la  
réalisation de ce travail.



Merci



# *Dédicace*

*Avant tout, je remercie mon dieu, qu' il ma donnée la force et le courage pour terminé se modeste travail*

*A la plus grande femme qui m'a donné naissance A ma très chère mère qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui n'a jamais cessé de prier pour moi.*

*A mon très cher père pour ses encouragements sonsoutien surtout pour son amour et son sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études*

*A mon frères sadik et younesse*

*Ma sœur salma et ma chère tante*

*A mon professeur Daifallah Tarek*

*A mes chers collègues*

*Et tout qui m'aide et compulse ce modeste travail*

*En fin je remercie mon binôme Chahinez.B qui acontribuée à la réalisation de ce modeste travail.*

*Imen*



# *Dédicace*

*En premier lieu je tiens à remercier Allah, notre créateur, pour j avoir donné la force à accomplir ce modeste travail.*

*Je dédie ce travail à Ma très chère mère. Aucune dédicace ne pourrait exprimer toute l'estime et toute la reconnaissance que j'éprouve à ton égard.*

*Je prie Dieu qu'il te protège, Mon très cher père J'espère, cher père que j'ai gagné ta confiance, ta satisfaction, et ta fierté.*

*A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.*

*A mon cher frère Said . B pour son soutien et ses encouragements.*

*A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire, Que ce travail soit l'accomplissement de vos soi-disant désirs, et grâce à votre soutien constant*

*Merci d'être toujours à mes côtés.*

*A notre encadrant, M. Daifallah Tarek , pour le privilège qu'il nous a accordé en acceptant de diriger ce travail. Sa gentillesse, son humilité, ses conseils, sa riche expérience et l'accueil chaleureux qu'il nous a toujours réservé.*

*A Toutes mes chers amies et ma collègues*

*A tout ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail*

*Chahinez*



## Résumé

Un sérieux problème pour les études hydrologiques dans notre pays est le manque des mesures hydrométriques, un nombre important de bassin versant en Algérie dépourvus de stations de jaugeages, ce qui rend difficile l'évaluation des apports liquides et solides et nous oblige à recourir à des méthodes et des modèles empiriques, l'application de ces derniers est toujours douteuse à cause aux erreurs liées aux modèles eux-mêmes en plus des erreurs relatives aux paramètres utilisés.

En zone semi-aride, l'irrégularité spatiotemporelle et la faiblesse des précipitations aggrave encore le problème. Dans cette étude on va appliquer les différents modèles couramment utilisés en Algérie, les formules ainsi référenciées sont appliquées pour évaluer les apports (liquide et solides) annuels et interannuels du bassin versant de Chat el-Baydhaa, à l'aide des caractéristiques du bassin et des données pluviométriques sur une période de 35 ans allant de 1986-2021. On a pu évaluer les apports liquides et solides et de tracer les hydrogrammes de crue pour des périodes de retour de 5,10,50 et 100 ans. Les résultats obtenus par chaque modèle s'avèrent satisfaisants

**Mots clés :** Chat el-Baydhaa ; mesures hydrométriques ; modèles empiriques ; apports liquides ; hydrogrammes de crue ; périodes de retour ;

**Abstract :**

A serious problem for hydrological studies in our country is the lack of hydrometric measurements, a large number of watersheds in Algeria without gauging stations, which makes it difficult to assess liquid and solid yields and forces us to resort to empirical methods and models, the application of the latter is always doubtful because of the errors related to the models themselves in addition to the errors relating to the parameters used.

In semi-arid areas, spatiotemporal irregularity and low rainfall further aggravates the problem. In this study we will apply the different models commonly used in Algeria, the formulas thus referenced are applied to evaluate the annual and interannual (liquid and solid) contributions of the Chat el-Baydhaa watershed, using the characteristics of the basin and rainfall data over a 35-year period from 1986-2021. It was possible to evaluate the liquid and solid yields and to plot the flood hydrographs for return periods of 5, 10, 50 and 100 years. The results obtained by each model are satisfactory

**Keywords :** Chat el-Baydhaa; hydrometric measurements; empirical models; liquid intake; flood hydrographs; return periods;

## ملخص

مشكلة حقيقية تواجهنا خلال الدراسات الهيدرولوجية في بلادنا هي نقص القياسات الهيدرومترية ، وجود عدد كبير من مستجمعات المياه في الجزائر بدون محطات قياس ، مما يجعل من الصعب تقييم حجم التدفقات السائلة والصلبة ويجبرنا الى اللجوء إلى الأساليب والنماذج التجريبية ، تطبيق هذا الأخيرة مشكوك فيها دائماً بسبب الأخطاء المتعلقة بالنماذج نفسها او الأخطاء المتعلقة بالعناصر المستخدمة.

في المناطق شبه الجافة ، يؤدي عدم الانتظام الزمني و المكاني وانخفاض هطول الأمطار إلى تفاقم المشكلة. في هذه الدراسة سوف نطبق النماذج المختلفة المستخدمة بشكل شائع في الجزائر ، ويتم تطبيق الصيغ المشار إليها لتقييم المساهمات السنوية والمتداخلة (السائلة والصلبة) لمستجمعات مياه شط البيضاء ، باستخدام خصائص الحوض وبيانات هطول الأمطار على مدى السنوات لمدة 35 سنة 1986-2021. و قد مكن ذلك من تقييم التدفقات السائلة والصلبة ورسم مخطط هيدروغرافي للفيضانات لفترات عودة تبلغ 10،5،50 و 100 سنة. النتائج التي حصل عليها كل نموذج يمكن اعتبارها مرضية.

**كلمات مفتاحية:** شط البيضاء ؛ القياسات الهيدرومترية ؛ نماذج تجريبية؛ تناول السوائل؛ هيدروغرافيا الفيضانات؛ فترات العودة

## **TABLE DES MATIERES**

### INTRODUCTION GENERALE

I. INTRODUCTION GENERALE .....	16
--------------------------------	----

### PARTI I : MATERIAL ET METHODE

II. PARTI I : MATERIAL ET METHODE .....	19
---	----

1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE .....	19
--	----

1.1. Aspect général.....	19
--------------------------	----

1.2. Situation géographique .....	19
-----------------------------------	----

1.3. Géomorphologie « Formations superficielles » .....	20
---	----

1.4. Géologie et Pédologie.....	21
---------------------------------	----

1.4.1. Géologie.....	21
----------------------	----

1.4.2. Pédologie.....	22
-----------------------	----

1.5. Hydrologie : .....	23
-------------------------	----

1.6. Climatologie.....	24
------------------------	----

Méthode d'étude : .....	25
-------------------------	----

Présentation du logiciel ArcGIS : .....	25
---	----

2. LES CARACTERISTIQUES MORPHO METRIQUES « Caractéristiques physiques »:.....	27
---	----

2.1. Les paramètres géométriques (de forme):.....	27
---	----

2.1.1. Superficie et périmètre: .....	27
---------------------------------------	----

2.1.2. Coefficient de compacité de Gravélius KC:.....	27
---	----

2.1.3. Le Rectangle équivalent : .....	28
--	----

2.1.4. Rapport d'allongement « Re» :.....	28
---	----

2.1.5. Rapport de circularité « Rc » :.....	29
---	----

2.1.6. Facteur de forme « Ff » :.....	29
---------------------------------------	----

2.1.7. Coefficient de compacité « Cc » :.....	29
---	----

2.2. Les paramètres de relief: .....	30
--------------------------------------	----

2.2.1. Hypsométrie: .....	30
---------------------------	----

2.2.2. Les altitudes : .....	30
------------------------------	----

2.2.3. Pentes du Bassin Versant : .....	31
---	----

a. La pente moyenne : .....	31
-----------------------------	----

b. L'indice global de pente « Ig » : .....	31
--	----

c. L'indice de Pente de Roche « Ip »:.....	31
--	----

2.3. Les paramètres hydrographiques : .....	32
---	----

2.3.1.	Le temps de concentration ( $T_c$ ) :	32
2.3.2.	Vitesse de ruissellement ( $V_c$ ):	32
2.3.3.	Densité de drainage ( $D_d$ ) :	33
2.3.4.	Coefficient de Torrentialité ( $C_t$ ):	33
3.	CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES DU SOUS BASSIN	33
3.1.	ETUDE DES FACTEURS CLIMATIQUES:	34
3.1.1.	Les précipitations:	35
3.1.2.	Températures:	36
3.1.3.	Synthèse climatique:	37
3.1.4.	L'Evapotranspiration :	38
3.1.5.	Le bilan-hydrique (Thornthwaite -1948) :	39
4.	ETUDE HYDROLOGIQUE DU BASSIN VERENT	40
4.1.	Etude des apports liquides :	40
4.1.1.	Apport moyen annuel :	40
4.1.2.	Caractéristiques de l'écoulement :	41
c)	Module de l'écoulement relatif ou spécifique ( $M_0$ ):	42
4.2.	Les apports fréquentiels :	44
4.2.1.	Distribution mensuelle des apports liquides :	44
4.2.2.	Estimation fréquentielle des apports :	44
4.3.	Etude des apports solides:	44
4.3.1.	Formule de TIXERONT :	44
4.3.2.	Formule de Sogreah :	45
4.3.3.	Estimation fréquentielle des apport :	45
4.3.4.	Pluies de courte durée:	45
4.4.	Etude des crues :	45
4.4.1.	le débit moyen journalier :	46
4.4.2.	l'intensité pour les différentes fréquences:	46
4.5.	Le débit maximal <b><math>Q_{max}</math></b> :	46
4.5.1.	Formule de TURRAZA :	46
4.5.1.	Formule de Giandotti	47
4.6.	Hydrogramme des crues :	47
4.6.1.	Pour le temps de montée :	47
4.6.2.	Pour le temps la décrue :	47

## PARTI II : RÉSULTAT

III. PARTI II : RÉSULTAT .....	49
1. LES CARACTERISTIQUES MORPHO METRIQUES « Caractéristiques physiques »:.....	49
1.1. L'extraction du réseau hydrographique et sont hiérarchisation sur Arc Gis .....	49
1.2. les paramètres hydromorphométriques des sous BV .....	52
1.3. La Carte hypsométrique :.....	53
1.4. Courbe hypsométrique:.....	54
1.5. Carte des pentes :.....	56
2. CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES DU SOUS BASSIN :.....	56
2.1. Les précipitations:.....	56
2.2. Températures:.....	58
2.3. Synthèse climatique :.....	59
2.4. L'Evapotranspiration :.....	61
2.5. Le bilan-hydrique: .....	61
3. ETUDE HYDROLOGIQUE DU BASSIN VERENT .....	63
3.1. Etude des apports liquides :.....	63
3.1.1. Apport moyen annuel :.....	63
3.1.2. Caractéristiques de l'écoulement :.....	63
3.1.3. Coefficient de variation (Cv) :.....	63
3.2. Les apports fréquentiels : .....	64
3.2.1 Estimation fréquentielle des apports :.....	64
3.3. Etude des apports solides et Etude des crues :.....	64
3.3.1. Estimation fréquentielle des apport / Pluies de courte durée / le débit moyen journalier / l'intensité pour les différentes fréquences :.....	64
3.4. Le débit maximal <b><i>Q<sub>max</sub></i></b> :.....	65
3.5. Hydrogramme des crues :.....	66
<b>CONCLUSION GENIALE</b>	
IV. CONCLUSION GENIALE .....	68
BIBLIOGRAPHIE.....	70

## **LISTE DES FIGURES**

Figure 01: carte de la situation de sous bassin Chat el Baydhaa (01-07) haut plateaux constantinois Réalisée sur ArcGis 10.8 (l'auteur ).....	20
Figure 2: Situation géographique du bassin versant des hauts plateaux constantinois (07) sur ArcGis 10.8 (l'auteur).....	23
Figure 03 :Découpage administratif du Sous B.V. de Chat el Baydhaa (L'auteur à partir d'un MNT).sur ArcGis 10.8 (l'auteur). ....	26
Figure 04:Extrait de la carte pluviométrique pour l'Algérie du Nord, Echelle : 1/2.000.000. (Moyennes de 60 ans : du 1er septembre 1921 au 31 août 1960 et du 1er septembre 1968 au 31 août 1989)_Source : (ANRH 1993).....	34
Figure 05: Carte du modèle numérique du terrain du bassin de Chat el Baydhaa avec comblement des vides.(l'auteur). ....	49
Figure 06: . Carte d'accumulation de l'écoulement des eaux superficielle (l'auteur) .....	49
Figure 07 : Influence du choix du seuil sur la densité du réseau hydrographique pour un MNTde (30m x 30m), un seuil de 1000 pixels sur ArcGis 10.8 (l'auteur). ....	50
Figure 08:Ordination des cours d'eau selon Strahler, pour le bassin versant de Chat el Baydhaa , pour un seuil hydrographique de 1000 pixels . sur ArcGis 10.8 (l'auteur).....	51
Figure 09 : Ordination des cours d'eau selon Strahler, pour le bassin versant de Chat el Baydhaa , pour un seuil hydrographique de 1000 pixels.sur ArcGis 10.8 (l'auteur).....	52
Figure 10: Carte hypsométrique du sous BV de Chat el Baydhaa -Réalisée sur ArcGis 10.8 (l'auteur). ....	53
Figure 11: Courbe Hypsométrique de sous bassin Chat el Baydhaa .....	55
Figure12: Carte des pentes du bassin versant de Chat el Baydhaa -Réalisée sur ArcGis 10.8 (L'auteur à partir d'un MNT).....	56
Figure13 : Les précipitations moyennes mensuelles de la wilaya de Sétif (1982-2021). ....	57
Figure 14 : Précipitations moyennes saisonnières station Sétif Période (1982-2021). ....	57
Figure15: Les précipitations moyennes annuelles de la wilaya de Sétif (1982-2021).....	58
Figure 16 : Variation des températures moyennes mensuelles à la station de Sétif (1982/2021). ....	58
Figure17: Températures annuelles moyennes au niveau du sous bassin Chat el Baydhaa . (1982-2021).Station de Sétif. ....	59

Figure18 : Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de la région de Sétif pour la période 1982-2021. ....	59
Figure19 : Représentation de l'étage climatique de la région de Sétif selon le climagramme d'EMBERGER.....	60
Figure20: Représentation graphique du bilan hydrologique de Sétif. ....	62
Figure21 :Variation de l'évaporation moyenne mensuelle de Sétif (1982-2021).....	62
Figure 22 : comparaison des débit maximal de crue calculés par les trois méthodes .....	65
Figure 23:Hydrogramme de crues pour différentes périodes de retour( Chat el Baydhaa ).....	66

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01: Liste des paramètres morphométriques de forme utilisés dans cette étude .....	29
Tableau 02: Classification d'O.S.T.R.O.M sur la base de l'indice global. ....	31
Tableau 03: La station météorologique de Sétif : .....	34
Tableau 04: Les précipitations saisonnières de la wilaya de Sétif 1982-2021.....	35
Tableau 05: Les précipitations moyennes annuelles de la wilaya de Sétif (1982-2021).....	35
Tableau 06: Les températures moyennes mensuelles de la wilaya de Sétif (1982-2021). ....	36
Tableau 07: Les Températures moyennes annuelles de la wilaya de Sétif (1982-2021). ....	36
Tableau 08: Relation entre précipitations-températures Sétif (1982-2021). ....	37
Tableau 09 : Distribution mensuelle des apports liquides .....	44
Tableau 10: Caractéristiques morphométriques de sous BV de Chat el Baydhaa . ....	52
Tableau 11 : Répartition des superficies en fonction des tranches d'altitude dans le sous bassin CHAT EL BAYDHAA .....	54
Tableau 12: Valeurs de l'indice d'aridité de la wilaya de Sétif .....	60
Tableau 13: Bilan hydrologique calculé à partir de la méthode de Thornthwaite (1982-2021). .....	61
Tableau 14: Les résultats des Apports moyen annuel .....	63
Tableau 15 : Les résultats des caractéristiques d'écoulement .....	63
Tableau 16: Les résultats des Coefficient de variation.....	63
Tableau 17: Les résultats des Variables réduites de GAUSS pour différentes fréquences .....	64
Tableau 18 : Les résultats des apports solides .....	64
Tableau 19: Estimation fréquentielle des ( $P_{jmax\%}$ ) et Pluies de courte durée ( $P_{tc}$ ) et le débit moyen journalier ( $Q_j$ ) et l'intensité ( $I$ ).....	65
Tableau 20 : Les résultats des débit maximal ( $Q_{max}$ ) .....	65

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

**MNT** : modèle numérique de terrain.

**SRTM**: Shuttle Radar Topography Mission.

**BV** : Bassin Versent.

**Fig.** : Figure.

**Tab** : Tableau.

**O.S.T.R.O** : Office Régional Scientifique et Technique d'Outre-Mer.

**SIG** : Systèmes d'Informations Géographiques.

**A.N.R.H** : l'Agence Nationale des Ressources Hydraulique.

**SBV** : Sous Bassin Versent.

**N** : Nord.

**E** : Est.

**Pmoy** : Précipitation moyenne.

**Pjmax**: Précipitation

**Tmax** : Température moyenne mensuelle maximal.

**Tmin** : Température moyenne mensuelle minimale.

**Tmoy** : Température moyenne.

**ETR** : évapotranspiration.

**P** : précipitation.

**Q2** : Quotient d'Emberger.

**IM**: indice d'aridité annuelle.

# **I. INTRODUCTION GENERALE**

## **I. INTRODUCTION GENERALE**

Dans une étude hydrologique généralement l'objectif principal est de déterminer le débit de projet, ce débit peut être estimé aisément à partir d'une série de mesure de débit instantané plus ou moins assez longue par des méthodes statistiques simples.

L'Algérie à l'instar des pays du monde, marque une grande insuffisance en matière de mesure hydrologique, des ruptures et des lacunes dans les séries de débits, de très courtes périodes de mesures et parfois inexistence des stations de jaugeage dans les bassins versant.

Cette situation, ramène les ingénieurs à l'usage des méthodes d'estimation des débits, des apports en eau et du transport solide par analogie ou par modèles empiriques en utilisant des paramètres physiques des bassins et précipitations.

Néanmoins, ces modèles sont douteux à défaut des erreurs engendrés par eux-mêmes ou par des erreurs qui peuvent être commettre lors de calcul des paramètres morphométriques et hydrographiques des bassins. Il n'est malheureusement pas envisageable de déboucher sur une standardisation complète des méthodes de calcul, comme cela peut exister par exemple pour le génie civil, le domaine d'étude étant trop complexe pour pouvoir être représenté par un seul modèle (Lang, et al. 2014)

L'Algérie à l'instar des pays en développement, marque une grande insuffisance en matière de mesure hydrologique, des ruptures et des lacunes dans les séries de débits, de très courtes périodes de mesures et parfois inexistence des stations de jaugeage dans les bassins versant, c'est le cas de notre zone d'étude le bassin versant de Chat el Baydhaa dépourvu d'aucune station de mesure de débit.

Notre étude donc porte sur une étude morphométrique et hydrologique du bassin versant de Chat el Baydhaa à fin de déterminer les débits de crue pour des périodes de retour de 5, 10, 20, 50 et 100 ans en utilisant des modèles dites débit-pluie, pour cela on a suivi les étapes suivantes:

Premièrement, une étude morphométrique du bassin, dans laquelle on a utilisé l'outil de travail SIG (ARCGIS 10.8) pour pouvoir déterminer les différents paramètres du bassin. Suivie d'une étude climatique qui c'est terminée par la définition des éléments et le type de climat de la zone d'étude, les résultats des deux premières parties sont exploités en dernière

étape pour calculer les caractéristiques hydrologiques du bassin et mettre en évidence le régime hydrologique, notre travail est fini par une conclusion générale.

## **II. PART I : MATERIAL ET METHODE**

## **II. PARTI I : MATERIAL ET METHODE**

### **1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**

#### **1.1.Aspect général**

chat el-Baydhaa est une zone humide constituée d'un sabkha, ou lac salé naturel temporaire, attaché à une prairie humide permanente recouverte d'une végétation halophyte appelée le chat. Elle n'est qu'entièrement immergée, le niveau d'eau pouvant rarement atteindre 1,5 mètre de profondeur. En période sèche, à partir de juin, des croûtes blanches de sel s'étendent à perte de vue (Espace\_réservé2) (Boumazbeur, A; Boulahlib, A 2005)

##### **1.1.1. pièces d'animaux sur place :**

Le site est une zone d'hivernage importante pour la sauvagine, notamment le canard des neiges (*Tadorna tadorna*) et le flamant rose (*Phoenicopterus roseus*), qui représentaient plus de 1 % de sa population totale au cours des deux dernières années (2000 et 2004), et l'année la plus récente (années 2000) représentant plus de 1% de sa population totale.

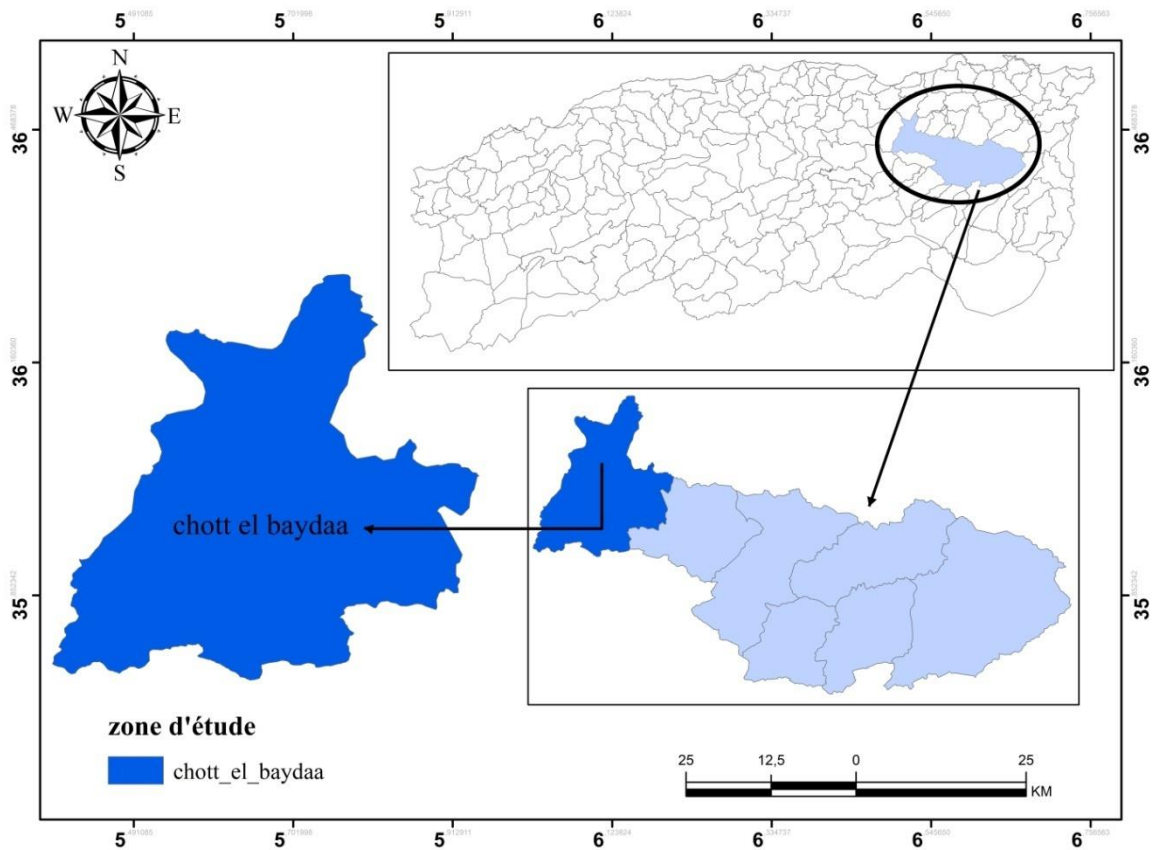
##### **1.1.2. La Végétation du site :**

Les espèces végétales qui déterminent la végétation en bordure du site sont les halophytes et les tyrophytes. Le site est à 90%, occupé une égale appelée sebkha, plan plan restant 10% est une prairie humide naturelle constituée d'espèces végétales halophiles et d'une étroite bande de terre appelée Chat. Relié à une prairie couverte d'halophytes. Végétation aux bords de la moitié de la gestion des membres de la famille des Chénopodiacées (par exemple *Salsola* ssp., *Sueda* ssp., *Salicornia* ssp. et *Atriplex* ssp.) (Khenniche et Nadjiba 2019)

#### **1.2.Situation géographique**

Le site d'étude fait partie de la communauté naturelle du Plateau de Sétif, plus précisément, le sous-bassin de Chate El-Beda (El-Eulma) à l'est de l'Algérie, qui appartient au bassin versant du Plateau algérien. Constantin. (Demdoum, A 2010)

Le site à cheval sur les provinces de Sétif et Batna, à 4 km au sud du village, est le chef-lieu de Daïra de Hammam Sokhna, dans la province de Sétif (Figure 1) , plus particulièrement la commune de Hammam Sokhna. Au sud de la commune de M'Sil, partie de la province de Batna. Le site a une superficie totale de plus de 12 223 hectares et se situe entre 874 et 887m d'altitude. (Barkat, Luc et Boumezbeur 2004)



**Figure 01:** carte de la situation de sous bassin Chat el Baydhaa (01-07) haut plateaux constantinois Réalisée sur ArcGis 10.8 (l'auteur ).

Le site est délimité par les coordonnées géographiques suivantes :

- ❖ Latitude: 35°54' 20" Nord et 35° 57' 80" Nord
- ❖ Longitude: 05° 53' 20" Est et 05° 53' 30" Est

Chat est confiné au nord par Bled El Mounchar et Hammam Sokhna, Mechta Fredas, Mechta Lachraf, Douar M'sil et Mechta Romada au sud, Douar Ouled Zaïm et Oum Laadjoul à l'est, et les confins de Wailaya, Batna et Ouest par Douar Tella, Mechta Baararou, Bled El Guergour, Mechta Ouled Agoun et la route d'El Eulma (Boumazbeur, A; Boulahlib, A 2005)

### 1.3. Géomorphologie « Formations superficielles »

Cette surface plane au début du Quaternaire représentait un lac unique dont il ne resterait que quelques témoins (sebkhas : Bazar, Meloul, El Mallah, El Baydhaa) (Radja 2013)

Trois formes physiographiques importantes se dégagent :

❖ Les Djebels :

Dans la partie nord de notre zone d'étude, le Djebel Garsa, le Kef El Manchar et le Djebel Tnoutit apparaissent à une altitude de plus de 1150m, la partie sud est limitée par les montagnes des points culminants : Djebels Fourhal (1748m), Drâa Akennchoub (1578m ), Djebel Mahdjouba (1492m) et Djebel Tafourar (1449m). (Benchikhi 2008) (Demdoum, A 2010)

❖ Surfaces plus ou moins planes :

L'épaisseur de la couche de remblai Plio-Quaternaire est généralement inférieure à 100 mètres, et la forme principale est garantie par les anciens glaciers (Demdoum, A 2010)

❖ La dépression ou la cuvette :

Y compris la sebkha affectée par les sédiments fins, elle ne présente pas d'accidents de terrain à faible pente (0 à 3 %). Les remblais peuvent avoir jusqu'à 300 à 500 mètres d'épaisseur

## **1.4. Géologie et Pédologie**

### **1.4.1. Géologie**

La Haute Plaine de Sétif appartient à la haute chaîne montagneuse qui constitue l'ensemble des terrains du nord de l'Algérie (Vila J. M 1980). Ces plaines sont de vastes étendues plates ou de niveau avec une altitude moyenne d'environ 940 mètres.

Compte tenu de l'extrême sensibilité des plantes au sel, un examen de la source du sel dans la zone d'étude est nécessaire. Des cartes géologiques (Betier, Royer et Laffite 1959) (Vila J. M 1977) montrent la morphologie et la structure des roches de la zone et permettent de distinguer les unités suivantes :

#### **A. Terrains peu ou pas tectonisés :**

Ces terrains sont ceux du quaternaire et du Mio-pliocène.

#### ❖ *Quaternaire*

Le terrain quaternaire est très accidenté, avec du sable, du limon, du gravier et surtout de l'argile. Parmi ces terres, on trouve quelques reliefs au niveau des Chats et des sebkhas, qui sont associés aux formes classiques de l'endhéisme.

#### ❖ *Mio-pliocène*

Le Me-Pliocène correspond à des sédiments lacustres fluviaux, généralement de couleur rouge assez prononcée ; une plaine du Pliocène moyen formée de calcaires lacustres recouverts de marnes grises, de galets contenant de grosses lentilles de conglomérat, et de sel ou de gypse abondant (Boudoukha 1988) Au nord-est du Chat el Baydhaa a, on trouve des calcaires lacustres et des conglomérats, tous rosâtres, et des affleurements de cette formation sont localisés autour du Djebel Garsa (Goumidi .N 1995).

### **B. Terrains tectonisés :**

Ces terres sont représentées par les Monts exotiques du Sud Sétif, qui sont formés par une série de blocs calcaires appartenant à l'Éocène de calcaires des affleurements Oum Laadjoul, Djebel Tafourar et Djebel Aghmarouel ; calcaires de l'affleurement Djebel Tafourar Dogger, derniers du Trias , un problème de dépôts lagunaires riches en gypse, sel gemme et argiles panachées, au Djebel Garsa . (Boudoukha 1988)

-Le Trias gypso-salifère joue un rôle important dans la qualité chimique des eaux en contaminant certains aquifères voisins . (T. Aliat 2007)

#### **1.4.2. Pédologie**

Les sols entourant le site, peu salés à salés, sont alcalins à structures dégradée, avec présence de calcaire et de gypse qui varient d'une façon irrégulière est sont caractérisés par une texture limoneuse, argilo-limoneuse, argilo-sableuse, limono-sableuse (Bechini et Radjai 1993).

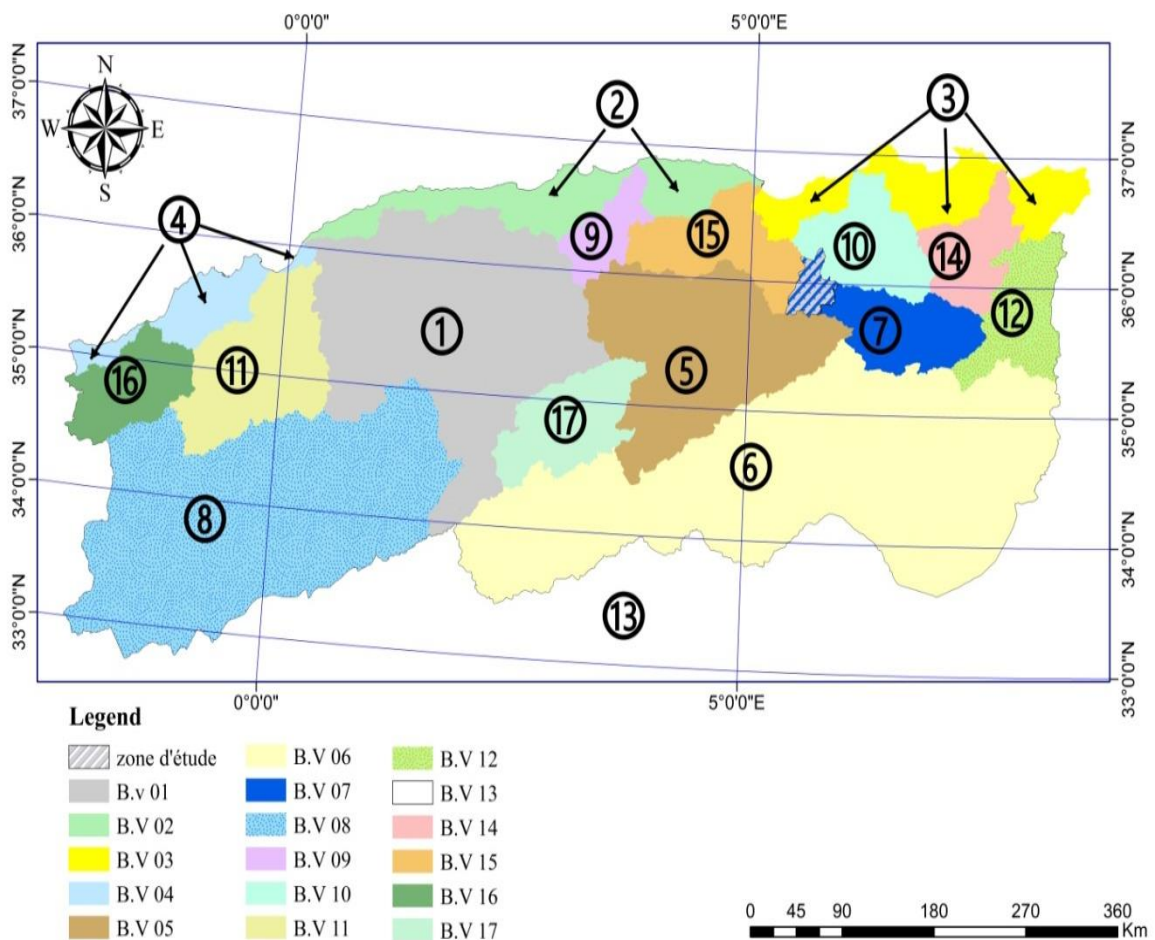
Le Ph basique est de 8,5, la conductivité moyenne varie entre 0,76 et 8,3 et la composition des sels est souvent dominée par ceux sulfatés et d'autres chlorurés (Barkat, Luc et Boumezbeur 2004)

### 1.5.Hydrologie :

Les Chats et les sebkhas appartiennent à un régime hydrographique endoréique, ce caractère endoréique est bien une conséquence de la sécheresse. (Saheb.M 2003).

Le Chat s'inonde en période pluvieuse et s'assèche totalement en été, son bassin versant reçoit un débit moyen annuel de 16 millions de m<sup>3</sup> dont une partie s'infiltré pour alimenter la nappe phréatique (Bechel 2005). Il ne s'inonde entièrement que rarement, son niveau d'eau peut alors atteindre 1,5 m de profondeur.

Le Chat est une basse dépression ou viennent s'accumuler eaux et sédiments, lors des années exceptionnelles elle joue le rôle de zone d'épandage des crues évitant ainsi l'inondation des zones avoisinantes . (Boumazbeur, A; Boulahlib, A 2005)



**Figure 2:** Situation géographique du bassin versant des hauts plateaux constantinois (07) sur ArcGis 10.8 (l'auteur).

## **1.6. Climatologie**

Le climat est un élément important dans l'étude du milieu, il est à la base de la distribution des végétaux et des animaux.. (Merdas, S 2007)

La région de Chat el Baydaa se caractérise par un climat semi-aride, avec des étés chauds et secs et des hivers rigoureux. Les pluies sont insuffisantes et irrégulières à la fois dans le temps et dans l'espace.

### **Méthode d'étude :**

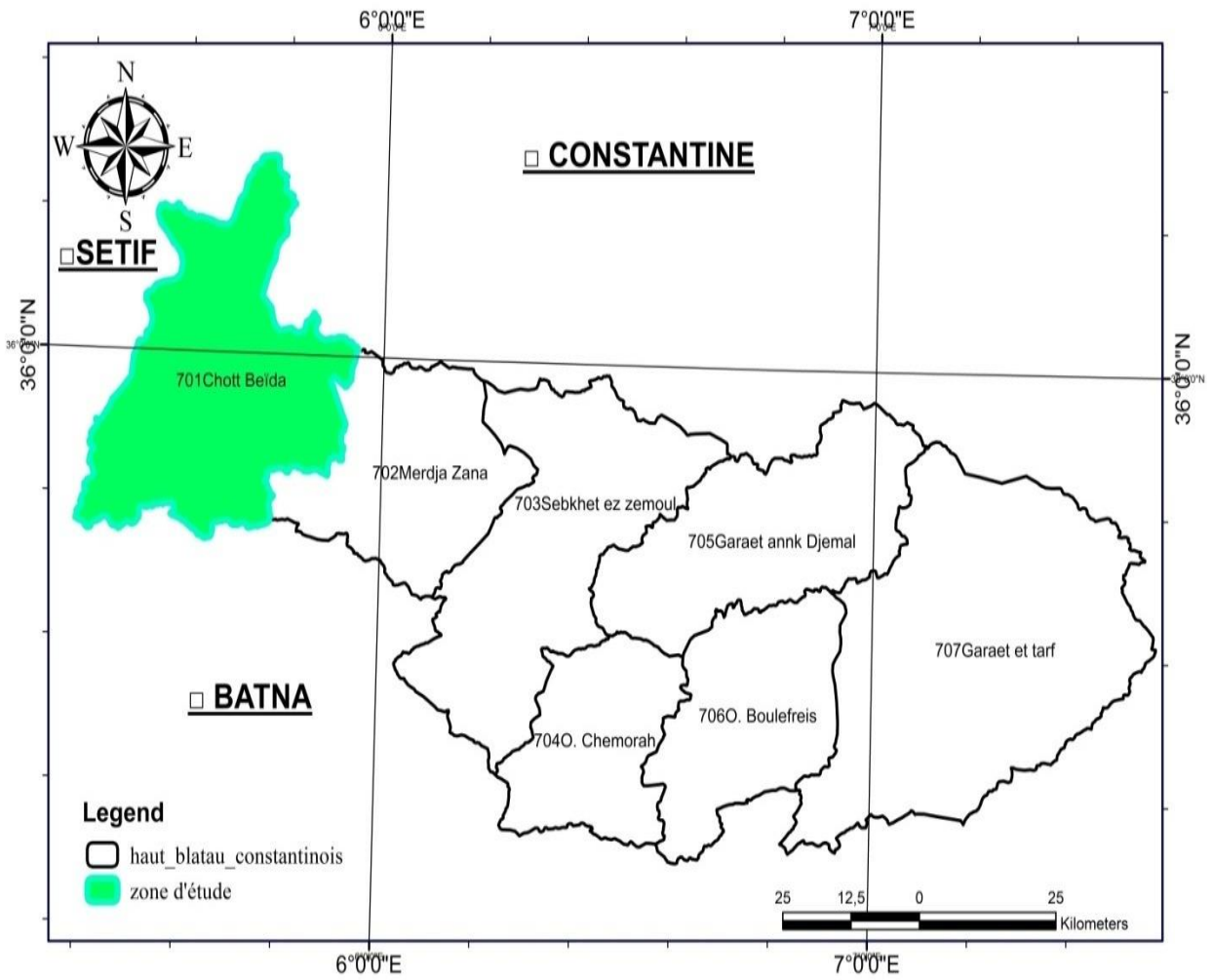
Afin de délimiter notre bassin versant nous avons effectués le traçage grâce au logiciel ArcGis à partir modèle numérique de terrain (MNT) fournit par le « United States géologique Survey » issu de la mission Shuttle Radar Topography (SRTM) (United states géologique Survey 2018).

### **Présentation du logiciel ArcGIS :**

L'outil utilisé pour cette analyse est Arc Gis, c'est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques.

ArcGIS permet la publication des informations géographiques afin qu'elles puissent être accessibles et utilisables par quiconque. ArcGIS permet de :

- Créer, partager et utiliser des cartes intelligentes
- Rassembler les informations géographiques
- Créer et gérer des bases de données géographiques
- Résoudre des problèmes avec l'analyse spatiale
- Créer des applications basées sur la carte
- Communiquer et partager des informations grâce à la puissance de la géographie et de la visualisation. (Aksouh 2017)



**Figure 03 :** Découpage administratif du Sous B.V. de Chat el Baydhaa (L'auteur à partir d'un MNT). sur ArcGis 10.8 (l'auteur).

## **1. LES CARACTERISTIQUES MORPHO METRIQUES « Caractéristiques physiques »:**

Les paramètres morphométriques d'un sous BV peuvent influencer le régime d'écoulement lors de crues ou d'étiages. Ils comprennent : des paramètres géométriques (superficie, périmètre, forme, rectangle équivalent), des paramètres de relief (courbes hypsométrique, les altitudes maximale, minimale, moyenne et médiane, la pente et indice de pente) et des caractéristiques du réseau hydrographique (topologie : ordre de structure du réseau des cours d'eau, longueur et pente caractéristique du réseau, densité de drainage, etc.). (Benzougagh, et al. 2019)

Notre analyse est organisée comme suit :

- Caractéristiques géométriques.
- Caractéristiques de relief.
- Caractéristiques hydrographiques.

### **1.1. Les paramètres géométriques (de forme):**

La forme d'un BV est la configuration géométrique telle qu'elle est projetée sur un plan horizontal. Elle influence directement le temps de réponse du bassin, c'est à dire sur le temps de parcours des eaux à travers le réseau de drainage et par conséquent influe sur l'écoulement de sous BV (l'hydrogramme). (Asnoui 2014)

#### **1.1.1. Superficie et périmètre:**

- La surface constitue l'aire de réception des précipitations qui alimentent un cours d'eau par Ecoulement. Le débit du cours d'eau à l'exutoire dépend donc en partie de la surface.

- Le périmètre est la caractéristique de longueur la plus utilisée le bassin versant (Dali.N 2018)

Les deux paramètres sont automatiquement calculés par ArcGIS (10.8).

La surface du sous bassin objet d'étude est de 1601,28 km<sup>2</sup> et un périmètre de 242,66km.

#### **1.1.2. Coefficient de compacité de Gravélius K<sub>C</sub>: (1914)**

La forme d'un BV peut être traduite par l'indice de compacité de graveleuse K<sub>C</sub>, il est défini comme le rapport du périmètre du bassin versant au périmètre du cercle qui a la même surface. (Belazreg 2019)

Il est calculé par la formule suivante:

$$K_C = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Où :

$K_C$  : indice de compacité de Gravélius.

A : surface du BV ( $\text{Km}^2$ ).

P: périmètre du bassin (Km).

$K_C$  est proche de 1 pour un bassin presque circulaire et supérieur à 1 pour un bassin allongé.

-  $K_C = 1.12$  : le bassin versant est ramassé.

-  $K_C > 1.12$  : le bassin versant est allongé.

### 1.1.3. Le Rectangle équivalent :

C'est une transformation purement géométrique dans laquelle le contour du bassin devient un rectangle de même périmètre les courbes de niveaux des droites parallèles aux petits côtés du rectangle et l'exutoire un des petits côtés du rectangle que nous avons appelé. Soit l et L la largeur et la longueur du rectangle. (Khaoula Djebaili 2021)

$$L = \frac{K_C \times \sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K_C} \right)^2} \right] \quad l = \frac{K_C \sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K_C} \right)^2} \right]$$

Avec :

$K_C$  : indice de compacité de Gravélius.

A : surface du BV ( $\text{km}^2$ ).

P : périmètre du BV (km).

La notion de rectangle équivalent a été introduite pour comparer l'influence des caractéristiques géométriques des bassins versants sur l'écoulement. Le bassin versant rectangulaire résulte d'une transformation géométrique du bassin réel dans laquelle on conserve la même superficie, le même périmètre (ou le même coefficient de compacité) c'est-à-dire la même répartition hypsométrique. (Benzougagh, et al. 2019)

### 1.1.4. Rapport d'allongement « Re » :

C'est le rapport du diamètre d'un cercle de même surface que le bassin, à la longueur maximale du bassin. C'est un paramètre important pour caractériser la forme du bassin versant.

Les valeurs de rapport d'allongement peuvent être divisées en 03 catégories : circulaire ( $>0,9$ ) ; ovale (0,9-0,8) ; et allongée ( $<0,7$ ). (Idriss. 2021)

### 1.1.5. Rapport de circularité « Rc » :

C'est le rapport entre la superficie du bassin étudié et celle du cercle dont la circonférence est égale au périmètre du bassin. (Dali.N 2018) La valeur du rapport circulaire varie de 0 à 1, avec la valeur 1 correspondant à un bassin ayant la forme d'un cercle. (Idriss. 2021)

### 1.1.6. Facteur de forme « Ff » :(Horton, 1945).

Il représente l'aire du BV par rapport à sa longueur, utilisé pour prédire l'intensité d'écoulement à l'exutoire du BV. Le facteur de forme est inversement proportionnel à la longueur du bief principal et est directement relié au débit de pointe à l'exutoire du BV. Un facteur de forme élevé (> 0,5) indique une forme BV plutôt circulaire, et un débit de pointe élevé d'une durée relativement courte. (Abdeddaim 2018)

### 1.1.7. Coefficient de compacité « Cc » :

Le Coefficient de compacité est défini comme le périmètre du bassin divisé par le périmètre d'un cercle de même surface du bassin. Le Coefficient de compacité est proportionnel à l'évaluation du risque d'érosion, ce qui nécessite la mise en oeuvre de mesures de protection et de conservation. (Horton 1945)

**Tableau 01:** Liste des paramètres morphométriques de forme utilisés dans cette étude

Paramètres:	Formules:	Références:
Rapport d'allongement (Re)	$Re = \frac{\sqrt{\left(4 \times \frac{A}{P}\right)}}{L}$	(Schumm 1956)
Rapport de circularité (Rc)	$Rc = 4\pi A / P^2.$	(Strahler 1964)
Facteur de forme (Ff)	$Ff = \frac{A}{L^2}$	(Horton 1945)
Rapport de compacité(Cc)	$C_c = 0,2821P/A^{0.5}$	

## 1.2. Les paramètres de relief:

### 1.2.1. Hypsométrie:

La répartition du BV par tranches d'altitude donne une importance capitale pour les études hydrologiques du fait que la plupart des facteurs météorologiques et hydrologiques sont influencés par l'altitude. (K. Benmia 2013, 67)

### 1.2.2. Les altitudes :

Il existe des altitudes caractéristiques d'hypsométrie :

-Altitudes maximales et minimales :

On obtiennes directement à partir des MNT et des cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du sous bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement c'est l'exutoire.

-Altitude moyenne :

Il se déduit à partir de la courbe hypsométrique et aussi de la lecture d'une carte topographique. L'altitude moyenne d'un bassin versant est donnée par l'équation suivante :

$$H_{\text{moy}} = \sum \frac{h_i \times A_i}{A_t}$$

Avec :

$A_i$  : fraction de surface entre deux courbes de niveau (km<sup>2</sup>).

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

$A_t$  : superficie totale du bassin versant (km<sup>2</sup>).

-Altitude médian :

Il correspond à l'altitude lue au point d'ordonnées 50% de la surface totale du sous bassin, sur la courbe hypsométrique. (Benzougagh, et al. 2019)

-Altitude H5% et H95%: sont les altitudes au-dessus des quelles s'inscrivent respectivement 5% et 95% de la surface totale du bassin versant, projetées sur la courbe hypsométrique.

### 1.2.3. Pentas du Bassin Versant :

#### a. La pente moyenne :

Elle influence sur l'état d'écoulement du cours d'eau au niveau du sous bassin. En effet, plus la pente est forte, plus la durée de concentration des eaux de ruissellement dans les affluents et le cours principal est faible, par conséquent le bassin réagira d'une façon rapide aux averses.

#### b. L'indice global de pente « Ig » :

Est calculé après construction de la courbe hypsométrique du bassin qui donne le pourcentage de la superficie du sous bassin versant situé au-dessus d'une altitude donnée en fonction de cette même altitude. Puisque dans un bassin, la pente diminue de l'amont vers l'aval, l'indice Ig diminue lorsque la surface augmente. (Cheikh, FAYE 2018)

$$I_g = \frac{D}{L}$$

D : étant la dénivelée  $h_5\% - h_{95}\%$ , définie sur la courbe hypsométrique ou même directement à l'œil sur la carte topographique.

L : étant la longueur du rectangle équivalent. (Laborde, J.P 2000)

**Tableau 02:** Classification d'O.S.T.R.O.M sur la base de l'indice global.

Classe	Type de relief	Indice global
<b>R1</b>	Relief très faible	$I_g < 0.002$
<b>R2</b>	Relief faible	$0.002 < I_g < 0.005$
<b>R3</b>	Relief assez faible	$0.005 < I_g < 0.01$
<b>R4</b>	Relief modéré	$0.01 < I_g < 0.02$
<b>R5</b>	Relief assez fort	$0.02 < I_g < 0.05$
<b>R6</b>	Relief fort	$0.05 < I_g < 0.1$
<b>R7</b>	Relief très fort	$0.1 < I_g$

#### c. L'indice de Pente de Roche « Ip »:

Est traduit la forme générale de la déclivité de son bassin. Tient compte de la forme de la courbe hypsométrique et de l'importance des différentes tranches d'altitude.

L'indice de pente de Roche  $I_p$ , tient compte de la forme de la courbe hypsométrique et de l'importance des différentes tranches d'altitude. il est donné par la formule suivante:

$$I_p = \sqrt{\frac{I_g}{0.8}} = \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{A_i \cdot d_i}{\pi}} \cdot \frac{1}{\sqrt{L}}$$

Avec :

L : longueur du rectangle équivalent (m).

l : largeur du rectangle équivalent (m).

di : équidistance entre deux courbes de niveau (m).

Ai : la fraction en (%) de la surface A comprise entre deux courbes de niveau de distance di.

### 1.3. Les paramètres hydrographiques :

#### 1.3.1. Le temps de concentration (Tc) :

Théoriquement le temps de concentration est le temps nécessaire à l'eau pour s'écouler depuis l'élément hydrauliquement le plus éloigné en amont du bassin jusqu'à l'exutoire. Ce paramètre est en fonction de la pente, la lithologie, l'intensité de précipitation en jouant le rôle d'empêchement ou d'encouragement de l'eau de s'écouler.

Il existe plusieurs formules pour le calcul du temps de concentration. Parmi les méthodes de calcul on cite:

➤ Formule de GIANDOTTI (II):

$$Tc = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}}$$

➤ Formules de KIRPICH :

$$Tc = 0,6615 \cdot L^{0,77} \cdot I^{0,385}$$

➤ Formule de CALIFORNIA (S.C.S) :

$$Tc = \left( \frac{0,87 \cdot L^3}{h_{max} - h_{min}} \right)^{0,385}$$

Avec :

Tc : temps de concentration du BV en heures.

A : surface du bassin en Km<sup>2</sup>.

L : longueur du cours d'eau principal (km).

H : différence entre l'altitude moyenne et celle de l'exutoire.  $H = h_{moy} - h_{min}$

I : pente moyenne du cours d'eau principal.

#### 1.3.2. Vitesse de ruissellement (Vc):

Il est donné par la formule suivante:

$$Vc = \frac{Lp}{Tc} (\text{Km/h}).$$

Avec:

Lp:longueur du cours d'eau principal (km).

Tc: temps de concentration du BV (h).

### 1.3.3. Densité de drainage (Dd) :

Elle correspond au rapport de la longueur totale du réseau hydrographique sur la surface du bassin versant (un terrain dont l'ensemble des eaux sont drainées par un même point) occupée, soit :

$$D_d = \frac{\sum Li}{A}.$$

Avec :

$\sum Li$ : La Somme des longueurs de tous les cours d'eau d'ordre i présents dans le bassin (Km).

**A** : superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>).

La longueur des cours d'eau est estimée sur MNT par ArcGis (10.8).

### 1.3.4. Coefficient de Torrentialité (Ct):

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

$$C_t = D_d \cdot F$$

Avec :

Dd : densité de drainage.

F : fréquence des thalwegs élémentaires.  $F = N/S$ .

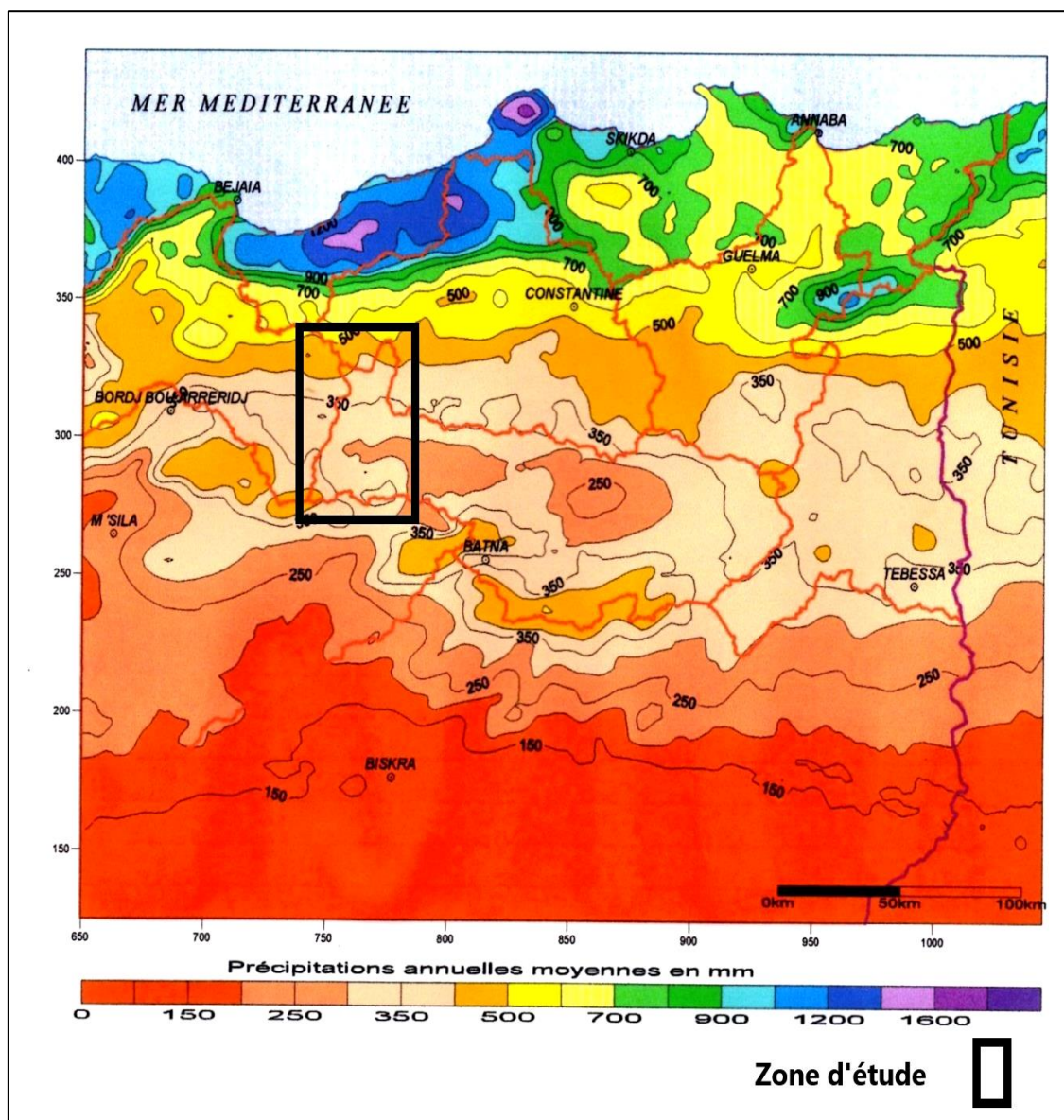
N : nombre des cours d'eau d'ordre i=1.

S :superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>).

## 2. CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES DU SOUS BASSIN

La zone d'étude Elle fait partie du grand bassin versant de Hauts plateaux Constantinois selon la codification de (A.N.R.H.). Il s'agit du bassin versant du code 07-01. (Fig 04).

-Extrait de la carte pluviométrique pour l'Algérie du Nord:



**Figure 04:**Extrait de la carte pluviométrique pour l'Algérie du Nord, Echelle : 1/2.000.000. (Moyennes de 60 ans : du 1er septembre 1921 au 31 août 1960 et du 1er septembre 1968 au 31 août 1989)\_Source : (ANRH 1993).

## 2.1.ETUDE DES FACTEURS CLIMATIQUES:

On a choisi la station la plus proche du site « CHAT EL BAYDHAA .» celle de Sétif.

**Tableau 03:** La station météorologique de Sétif :

Station	Type de station	Latitude	Longitude	Altitude	Période d'observation
Sétif	Météorologique	36,18°N	5,42°E	1038 mètres	1982-2021

### 2.1.1. Les précipitations:

La précipitation est la totalité de lame d'eau quantifiée par la pluviométrie, sous forme liquide ou solide (pluie, neige, grêle, ... etc.). Les précipitations constituent un facteur écologique d'importance fondamentale dans l'alternance de la saison sèche, qui joue un rôle régulateur des activités biologiques (Ramande 1984)

Pour l'analyse de la pluviométrie, nous avons choisi la période allant de 1982 à 2021, pour la station de Sétif, à laquelle nous pouvons calculer du bilan hydrique du sous bassin CHAT EL BAYDHAA .

#### a) La répartition des moyennes mensuelles des précipitations :

La répartition des moyennes mensuelles des précipitations de la période de (1982-2021) sont présentées dans le tableau.

**Tableau 04:** Les précipitations saisonnières de la wilaya de Sétif 1982-2021.

Saison	Automne			Hiver			printemps			Eté			Moy
Mois	Sept	Oct	Nov	Des	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	/
<b>P<sub>moy</sub>(mm)</b>	42,81	43,40	44,54	46,76	44,21	35,84	46,38	47,43	54,96	29,23	13,70	18,71	467,96
<b>P<sub>moy</sub>(mm)</b>	43,58			48,27			49,59			20,55			161,99
<b>P (%)</b>	26,90			29,80			30,61			12,69			100%

#### b) Variabilité annuelle des pluies :

**Tableau 05:** Les précipitations moyennes annuelles de la wilaya de Sétif (1982-2021).

<b>Année</b>	<b>1982</b>	<b>1983</b>	<b>1984</b>	<b>1985</b>	<b>1986</b>	<b>1987</b>	<b>1988</b>	<b>1989</b>	<b>1990</b>	<b>1991</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>
<b>P<sub>moy</sub></b>	721,1	266	544,4	519,3	669,4	530,4	547,7	530,7	526,5	562,7	715,7	753,9
<b>Année</b>	<b>1994</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>
<b>P<sub>moy</sub></b>	386,9	585,2	618,3	576,5	669	174,1	599,7	373,5	377	591	431	365
<b>Année</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
<b>P<sub>moy</sub></b>	350	443	407	391	410	414	289	163	316	365	275	267
<b>Année</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>								
<b>P<sub>moy</sub></b>	444,2	438,5	288,2	342								

### 3.1.2 Températures:

Le paramètre de la température est indispensable à la climatologie, vu qu'il rend compte de son pouvoir évaporateur qu'il exerce sur les surfaces mouillées, et enfin, qu'il est à l'origine du bon fonctionnement du cycle de l'eau. La température est l'un des éléments important pour la caractérisation du climat. (Ramande 1984)

#### a) Les températures moyennes mensuelles :

Le (Tab 09) montre les variations de la température moyenne mensuelle à la station de Sétif durant la période 1982 – 2021.

**Tableau06:** Les températures moyennes mensuelles de la wilaya de Sétif (1982-2021).

mois	Sep	Oct	nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avri	Mai	juin	juill	Aou	moy
T <sub>max</sub>	27,53	21,81	14,76	10,81	9,92	11,44	14,5	18,1	23,42	29,7	34,01	33,26	20,77
T <sub>min</sub>	14,92	10,64	5,59	2,31	1,16	1,78	3,87	6,42	10,45	15,18	18,83	18,72	9,16
T <sub>moy</sub>	21,22	16,22	10,16	6,52	5,53	6,61	9,16	12,2	16,93	22,43	26,4	25,97	14,95

#### b) Températures annuelles moyennes :

**Tableau7:** Les Températures moyennes annuelles de la wilaya de Sétif (1982-2021).

<b>Année</b>	<b>1982</b>	<b>1983</b>	<b>1984</b>	<b>1985</b>	<b>1986</b>	<b>1987</b>	<b>1988</b>	<b>1989</b>	<b>1990</b>	<b>1991</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>
<b>T<sub>moy</sub></b>	14,5	15,1	13,9	14,9	14,2	15,3	15,3	15,1	15,2	13,7	14,1	14,8
<b>Année</b>	<b>1994</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>
<b>T<sub>moy</sub></b>	16	14,7	14,2	15,6	14,9	15,7	15,8	16	15	14,5	14,1	14,1
<b>Année</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
<b>T<sub>moy</sub></b>	15,1	14,7	14,7	14,7	14,5	14,7	15,1	14,4	15,5	14,8	15,5	15,6
<b>Année</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>								
<b>T<sub>moy</sub></b>	14,6	15	15,6	16,3								

### 3.1.3 Synthèse climatique:

#### a. Diagramme Ombrothermique :

Le diagramme Ombrothermique de Begnoul et Gausson (1953), est une méthode graphique qui permet de définir la période humide et la période sèche de l'année, où sont portés en abscisses les mois et en ordonnées la précipitation moyenne mensuelle (P) en mm et les températures moyenne mensuelle en (T) °C. Avec  $P=2T$ .

**Tableau 8:** Relation entre précipitations-températures Sétif (1982-2021).

mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	mars	Avr	mai	Jui	juil	Aou
<b>P (mm)</b>	42,81	43,40	44,54	46,76	44,21	35,84	46,38	47,43	54,96	29,23	13,70	18,71
<b>T(C°)</b>	21,23	16,18	10,16	6,50	5,59	6,62	9,08	12,17	16,92	22,42	26,47	26,02
<b>2T(C°)</b>	42,45	32,36	20,31	13,00	11,18	13,25	18,17	24,35	33,84	44,85	52,94	52,04

#### b. Climagramme d'EMBERGER : (Quotient pluviométrique d'Emberger).

Le quotient pluviométrique d'Emberger (Q<sub>2</sub>) a pour objet de donner un descripteur quantitatif du climat d'un biotope donné (**Ramade, 2008**). Il permet de définir les cinq étages de climat méditerranéen du plus aride jusqu'à celui de haut montage .

La formule du quotient d'Emberger s'exprime comme suit :

$$Q = \frac{P}{\left(\frac{M+m}{2}\right) \times (M - m)} \times 100$$

Ce quotient a été simplifié par **STEWART en 1969** :

$$Q_2 = 3,43 \times \frac{P}{(M - m)}$$

**Q<sub>2</sub>** : Quotient d'Emberger.

**P** : précipitation moyenne annuelle (mm) (**Arlery, 1973**).

**M** : moyenne des maximums du mois le plus chaud.

**m** : moyenne des minimums du mois le plus froid.

**(M+m) / 2** : Température moyenne.

### c. L'indice d'aridité De Martonne : (1926)

En 1926, Emmanuelle Martonne élabore un système de classification des climats en utilisant une méthode statistique. Il utilise un indice regroupant des données hydrométrique et thermiques. Cette méthode statistique est caractérisée par la formule suivante :

$$IM = \frac{P}{(T + 10)}$$

Avec :

**IM** : indice d'aridité annuelle.

**P** : précipitation moyennes annuelle (mm).

**T** : température moyenne annuelle (°C).

#### 3.1.4 L'Evapotranspiration :

L'évaporation est la restitution de l'eau par l'atmosphère sous forme de vapeur à partir de la surface du sol, quelle que soit sa nature (Sol, végétaux, eau libre).

Pour comprendre les mécanismes d'évaporation de cette région, la méthode du bilan hydrique de Thornthwaite a été choisi pour calculer l'ETP et l'ETR à l'échelle mensuelle et annuelle sur la base des données de températures et de précipitations enregistrées à la station

#### Estimation de l'ETP par la formule de Thornthwaite, 1954 :

Thornthwaite (1954) considère que pour des étendues de surface assez vastes et des pas de temps assez longs, le facteur le plus prépondérant pour l'ETP est la température. La formule qu'il propose s'écrit:

$$ETP = 16 \times K \left( \frac{10 \times T}{I} \right)^\alpha . (\text{mm})$$

Où:

ETP: Evapotranspiration potentielle mensuelle en mm

T: température moyenne mensuelle du mois considéré en °C

$\alpha$ : Coefficient calculé par la formule suivante:

Avec:

I: indice thermique annuel:  $I = \sum i$

i : indice thermique mensuel :  $i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514}$

T : température moyenne mensuelle en (°C).

$\alpha$  : coefficient, tel que :  $\alpha = 0,016 \times I + 0.5$

### 3.1.5 Le bilan-hydrique (Thornthwaite -1948) :

Le bilan hydrologique est calculé au moyen du modèle de Thornthwaite (1948). Il est basé sur la résolution de l'équation suivante:

$$P = ETR + (I + R + \Delta RFU) = ETR + Peff$$

Avec :

P : précipitations.

I : infiltration.

R : ruissellement.

ETR : évapotranspiration réelle.

$\Delta RFU$ : variation de la Réserve Facilement Utilisable.

Peff : pluie efficace.

Pour établir le bilan hydrique, il faut d'abord calculer la RFU qui est la réserve facilement utilisable.

Nous admettons une RFU saturée à 80 mm d'eau comme préconisé par Thornthwaite :

$$RFU = 80 \text{ mm}$$

A partir des données des pluies mensuelles et l'ETP, calculés par la formule de Thornthwaite, plusieurs cas peuvent être envisagés :

- Si :  $P > ETP \Rightarrow ETR = ETP \Rightarrow RFU = (P - ETR) + RFU$  du mois précédent, il y'aura de l'excédent de l'eau ( $EX = P - ETR$ ) ;
- Si :  $P = ETP$  les précipitations sont suffisantes pour alimenter le sol mais il n'y aura pas de surplus pour alimenter la RFU ( $RFU = 0$ ) ;
- Si :  $P < ETP \Rightarrow ETR = P$  il y aura épuisement des réserves, dans ce cas, on aura un déficit du bilan ( $DA = ETP - ETR$ ).

Pendant la saison froide, le bilan hydrique est positif où les précipitations couvrent les besoins de l'ETP et permettent la formation d'une réserve facilement utilisable RFU.

L'ETR est égale à 449,1 mm. (Tab 08).

## 4. ETUDE HYDROLOGIQUE DU BASSIN VERENT

### 4.1. Etude des apports liquides :

#### 4.1.1. Apport moyen annuel :

Apport moyen annuel ( $A_{moy}$ ) :

A défaut de toute donnée hydrométrique dans le sous bassin, Les potentialités en eau du site s'évaluent à l'aide de l'apport moyen annuel  $A_{moy}$ . D'après une étude faite par l'A.N.R.H en 1977, il peut être déterminé par la formule suivante :

##### a) Formule de DERY :

$$A_{moy} = M_0 \cdot A \cdot K$$

$A_{moy}$  : Apport moyen annuel ( $Hm^3$ ).

$M_0$  : Module spécifique moyen annuel en ( $l/s/Km^2$ ).

$$M_0 = 11,8 \cdot P_{moy}^{2,82}$$

$P_{moy}$  : Pluie moyenne annuelle [m].

$A$  : superficie du bassin versant en  $Km^2$   $S=88,7$  ( $Km^2$ ).

$K$  : constante donnée  $K = 31,54 \cdot 10^{+3}$

##### b) Formule de MEDINGUER :

$$A_{moy} = L_e \cdot A$$

$A_{moy}$  : Apport moyen annuel ( $Hm^3$ ).

$L_e$  : lame d'eau écoulée [m].

$$L_e = 1,024 (P_{moy} - 0,26)^2.$$

$A$  : superficie du bassin versant en  $Km^2$   $S=88,7$  ( $Km^2$ ).

$P_{moy}$  : Pluie moyenne annuelle [m].

##### c) Formule de COUTAGNE :

$$A_{moy} = L_e \cdot A.$$

$A_{moy}$  : Apport moyen annuel ( $Hm^3$ ).

**Le** : Lamme d'eau écoulee en [m].

$$\mathbf{Le} = (0.06 - 0.00145 \cdot \sqrt{A}) \cdot \mathbf{P}_{\text{moy}}$$

**P<sub>moy</sub>** : Pluie moyenne annuelle en [m].

**A** : Surface du bassin en [km<sup>2</sup>].

**d) Formule de SAMIE :**

$$\mathbf{A}_{\text{moy}} = 0,915 \cdot \mathbf{P}_{\text{moy}}^{2.684} \cdot \mathbf{A}^{0.842}$$

**A<sub>moy</sub>** : Apport moyen annuel (Hm<sup>3</sup>).

**P<sub>moy</sub>** : Pluie moyenne annuelle [m].

**A** : Superficie du bassin [Km<sup>2</sup>].

#### 4.1.2. Caractéristiques de l'écoulement :

**a) Module de l'écoulement (Me):**

$$\mathbf{Me} = \frac{\mathbf{A}_{\text{moy}}}{\mathbf{T}}$$

**Me** : Module de l'écoulement (l/s).

**A<sub>moy</sub>**: Apport moyen annuel (l).

**T** : Temps d'une année en [secondes] .

**T = 31,536.10<sup>6</sup>Secondes.**

**b) Lamme d'eau écoulee (Le):**

$$\mathbf{Le} = \frac{\mathbf{A}_0}{\mathbf{S}_{\text{bv}}}$$

**Le** : Lamme d'eau écoulee en (m).

**A<sub>0</sub>**: Apport moyen annuel (m<sup>3</sup>).

**S<sub>bv</sub>** : Superficie du bassin (m<sup>2</sup>).

c) **Module de l'écoulement relatif ou spécifique ( $M_0$ ):**

$$M_0 = \frac{Me}{S_{bv}}$$

**Me** : Module de l'écoulement (l/s).

**S<sub>bv</sub>** : Superficie du bassin (Km<sup>2</sup>).

d) **Coefficient de l'écoulement ( $C_e$ ) :**

Il dépend du facteur topographique et géologique du bassin versant qui conditionnent la circulation superficielle et souterraine de l'eau, ce coefficient dépend aussi de la température de l'humidité, de l'évaporation et de la pluviométrie.

L'eau ruisselle beaucoup plus lorsque le sol est saturé et lorsque l'intensité de l'averse est supérieure à la vitesse d'absorption. (k. Benmia 2013)

Le coefficient d'écoulement est donné par la formule suivante :

$$C_e = \frac{Le}{P_{moy}}$$

**C<sub>e</sub>**: Coefficient de l'écoulement.

**P<sub>moy</sub>** : Pluie moyenne annuelle en [mm].

**Le** : Lamme d'eau écoulée en [mm].

e) **Coefficient de variation ( $C_v$ ) :**

Pour le calcul du coefficient de variation  $C_v$  et en absence d'une série d'observation, nous utilisons les formules empiriques. (k. Benmia 2013)

• **Formule de SOKOLOVSKY :**

On a :

$$C_v = a - 0.063 \text{Log}_{10} (S + 1)$$

Avec :

$$a = 0.78 - 0.29 \text{Log}_{10} (M_0)$$

**M<sub>0</sub>**: Module de l'écoulement relatif (l/s/km<sup>2</sup>).

**S** :Superficie du bassin (Km<sup>2</sup>).

**Cv=1,12611242**

- *Formule d'OURKGUIPROVODKHOZ :*

On a:

$$Cv = \frac{0.7}{M_0^{-0.127}}$$

**M0**: Module de l'écoulement relatif (l/s/km<sup>2</sup>).

**Cv=1,205895438**

- *Formule d'ANTONOV :*

$$Cv = \frac{0.7}{(S + 1000)^{0.097}}$$

**S** : Superficie du bassin (Km<sup>2</sup>).

**Cv=0,326456178**

- *Formule de Kristkly Menkel :*

$$Cv = \frac{0.83}{(S \times 0.06 \times M_0 \times 0.27)}$$

**S** : Superficie du bassin (Km<sup>2</sup>).

**M0**: Module de l'écoulement relatif (l/s/km<sup>2</sup>).

**Cv=1,725945739**

- *Formule d'Algérienne de N.N Padoun :*

$$Cv = \frac{0.93 K}{M_0^{0.23}}$$

**K** : Coefficient de réduction K = (0.25-1.00) on prend /K = 0.60

**M0**: Module de l'écoulement relatif (l/s/km<sup>2</sup>).

**Cv=1,517971317**

## 4.2. Les apports fréquents :

### 4.2.1. Distribution mensuelle des apports liquides :

Tableau 9 : Distribution mensuelle des apports liquides

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	P
P mm	42,81	43,40	44,54	46,76	44,21	35,84	46,38	47,43	54,96	29,23	13,70	18,71	467,96
A(Mm <sup>3</sup> )	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,11
A%	9,15	9,27	9,52	9,99	9,45	7,66	9,91	10,14	11,74	6,25	2,93	4,00	100,00

### 4.2.2. Estimation fréquentielle des apports :

Cette variabilité est envisagée par l'application de la loi log normale (GALTON) qui représente le mieux les apports fréquents

$$A\% = \frac{A_0}{\sqrt{Cv^2 + 1}} e^{\mu\sqrt{\ln(cv^2 + 1)}}$$

**A<sub>0</sub>**: Apport moyen annuel

**A<sub>0</sub>**=97.38 m<sup>3</sup> /an. (Turc)

**Cv** : Coefficient de variation calculé à partir du module spécifique de l'apport moyen annuel.

**μ** : Variable réduite de Gauss.

## 4.3. Etude des apports solides:

L'apport solide a été évalué par application des formules empiriques. Le manque de données de mesure du transport solide nous ramène à accepter toute méthode empirique qui nous permet de donner l'ordre de grandeur acceptable de l'écoulement solide

### 4.3.1. Formule de TIXERONT :

Cette formule a été établie à partir de 32 bassins versant Algériens et 9 bassins Tunisiens pour des durées d'observations comprises entre 2 et 22 ans, elle tient compte de la répartition du bassin versant en fonction de sa perméabilité. (k. Benmia 2013)

$$E_S = 350 \cdot L_e^{0.15}$$

Où :

**E<sub>S</sub>** : taux d'abrasion (t/km<sup>2</sup> /an)

**L<sub>e</sub>** : lame d'eau ruisselée en (mm)

$$A_s = E_s \cdot S$$

En tenant compte du poids spécifique moyen des sédiments  $\gamma=1.6T/m^3$ .

$$VS = E_s \times \frac{a}{\gamma}$$

#### 4.3.2. Formule de Sogreah :

$$Ta = 350 \cdot R_0^{0.15}$$

Avec :

$R_0$  : pluie moyenne interannuelle ou module intrannuelle (mm)

#### 4.3.3. Estimation fréquentielle des apports :

Ce paramètre peut être estimé en supposant une distribution d'une loi log-Normale.

$$P_{maxj\%} = \frac{Pj \max \%}{\sqrt{CV^2 + 1}} e^{\mu \sqrt{\ln(cv+1)}}$$

Où :

$Cv$  : Coefficient de variation.

$Pjmax\%$  : Pluie moyenne maximale journalière.

$\mu$  : Variable réduite de GAUSS.

#### 4.3.4. Pluies de courte durée:

Ce paramètre est obtenu par la relation de Montana :

$$P_{tc} = P_{maxj\%} \left( \frac{Tc}{24} \right)^{0.39}$$

$Pjmax (\%)$  : Pluie fréquentielle en mm.

$Tc$  : Temps de concentration en heures.

#### 4.4. Etude des crues :

La crue dépend essentiellement de l'abondance et de l'intensité de la pluie : son évolution obéit principalement à la puissance et l'intensité de l'averse. (Benaza et Benariba 2012-2013)

Les procédés dévaluation des probabilités de dépassement des crues maximales annuelles reposent en majorité sur le principe de l'ajustement d'une loi de probabilité de formes spécifiée à une série (plus au moins longue) de relevée de crue annuel. (CARRERE 1978 )

#### 4.4.1. le débit moyen journalier :

$$Q_j = \frac{(P_{j \max} \cdot R \cdot S \cdot 10^3 \cdot Ka)}{86400}$$

**Avec :**

**R :** coefficient de ruissèlement, choisi 0,25 (selon catégorie III de Casnave.A qui dit : Bassins peu perméables en pente faible ( $I_g < 10$ ) ou bassins ayant moins de 30% de leur surface imperméable avec pentes modérées à fortes ( $10 < I_g < 30$ ), ou bassins perméables avec très fortes pentes ( $I_g > 70$ )  $K_r = 20$  à 30%)

**$P_{j \max}$  :** Pluie fréquentielle en mm

**S:**Superficie du bassin versant

**Ka :** coefficient d'ajustement pris 0,9.

#### 4.4.2. l'intensité pour les différentes fréquences:

Les intensities pour les différentes fréquences sont calculées par la relation :

$$I = \frac{P_{tc}}{T_c}$$

**$P_{tc}$  :** Pluies de courte durée

**$T_c$  :** Temps de concentration (h)

#### 4.5 Le débit maximal $Q_{max}$ :

Le débit maximal peut être calculé par la méthode suivant :

$$Q_{max} = (Q_j \times P_{Tc} \times 24) / (P_{maxj} \times T_c)$$

##### 4.5.1 Formule de TURRAZA :

Cette méthode peut être appliquée en cas de manque de jaugeage en supposant que la durée de l'averse critique égale au temps de concentration. La formule de base de la méthode s'écrit sous la forme suivante :

$$Q_{P\%} = C \times I_{P\%} \times S / 3,6$$

Avec :  $Q_{P\%}$  = Débit maximum de fréquence (P%) en m<sup>3</sup>/s

$C$  = Coefficient de ruissellement lié à la probabilité d'occurrence (0.25)

$I_{P\%}$  = Intensité de la pluie de fréquence (P%) pour une durée égale au temps de concentration  $T_c$ .

$S$  = superficie du bassin versant en  $Km^2$

#### 4.5.1. Formule de Giandotti

$$Q_{max} = \frac{C_r \times S \times P_{Tc} \sqrt{(H_{moy} - H_{min})}}{4\sqrt{S} + 1,5L_p}$$

$P_{tc}$  : pluie de courte durée en mm

$C_r$  : Coefficient de ruissellement lié à la probabilité d'occurrence

$S$  : la superficie

$L_p$  : longueur du Cours d'eau principale obtenue à partir la logicielle global mapper par 20.3Km

#### 4.6. Hydrogramme des crues :

Les Hydrogrammes de crues pour diverses fréquences sont évalués par la méthode de Sokolovski qui assimile l'hydrogramme à deux équations paraboliques :

##### 4.6.1. Pour le temps de montée :

$$Q_{montée} = Q_{max} \cdot \left( \frac{T}{T_m} \right)^2$$

##### 4.6.2. Pour le temps la décrue :

$$Q_{montée} = Q_{max} \cdot \left( \frac{T_d - T}{T_d} \right)^3$$

Avec :

$t_m$  : Temps de montée de la crue;

$t_d$  : Temps de la décrue;

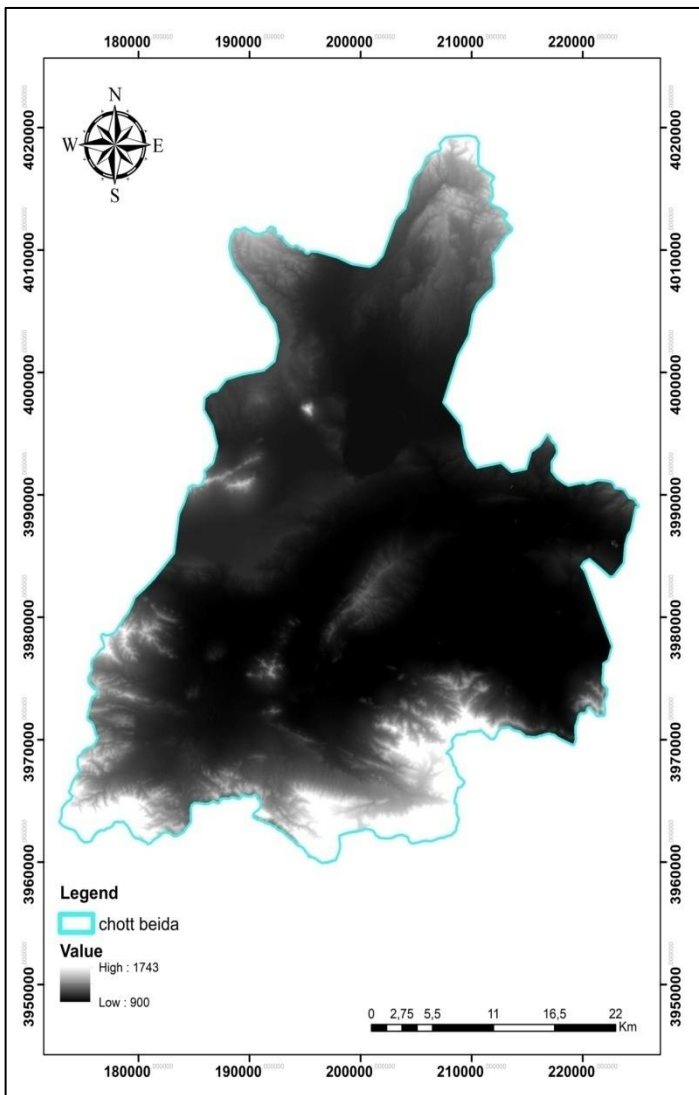
### **III. PARTI II : RÉSULTAT**

### III. PARTI II : RÉSULTAT

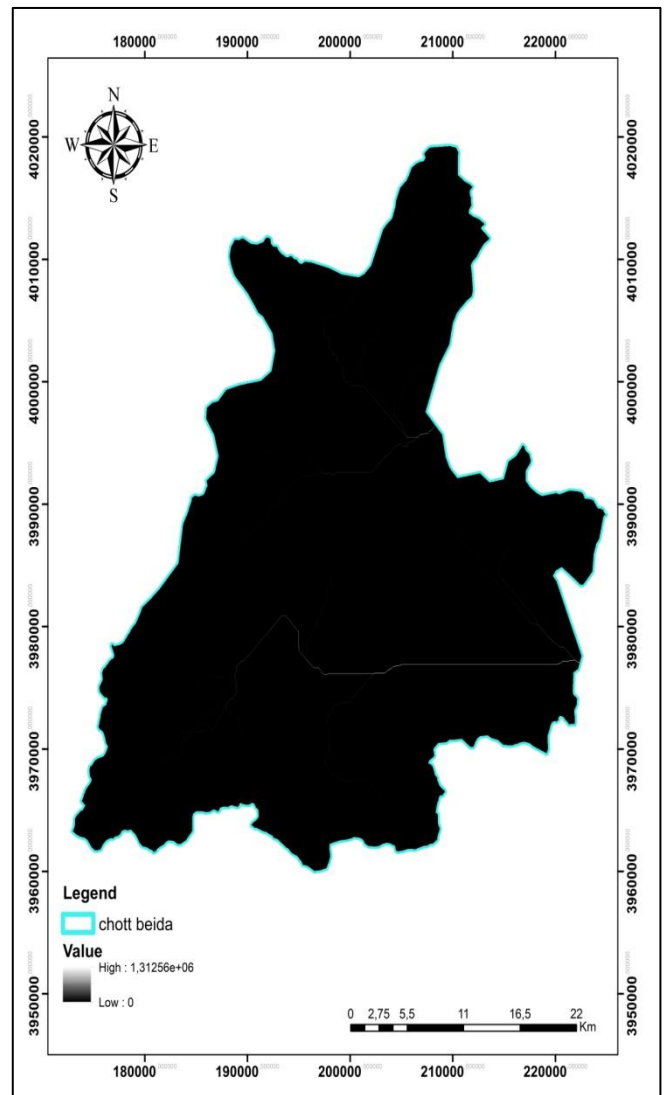
#### 1. LES CARACTERISTIQUES MORPHO METRIQUES « Caractéristiques physiques »:

##### 1.1.L'extraction du réseau hydrographique et sont hiérarchisation sur Arc Gis

Pour extraire le réseau hydrographique à partir du modèle numérique du terrain du bassin versant de Chat el Baydhaa , il faut procéder avant tout à la correction de ce dernier pour combler les lacunes qui peuvent exister, l'accumulation de l'écoulement des eaux superficielles (Fig.06)

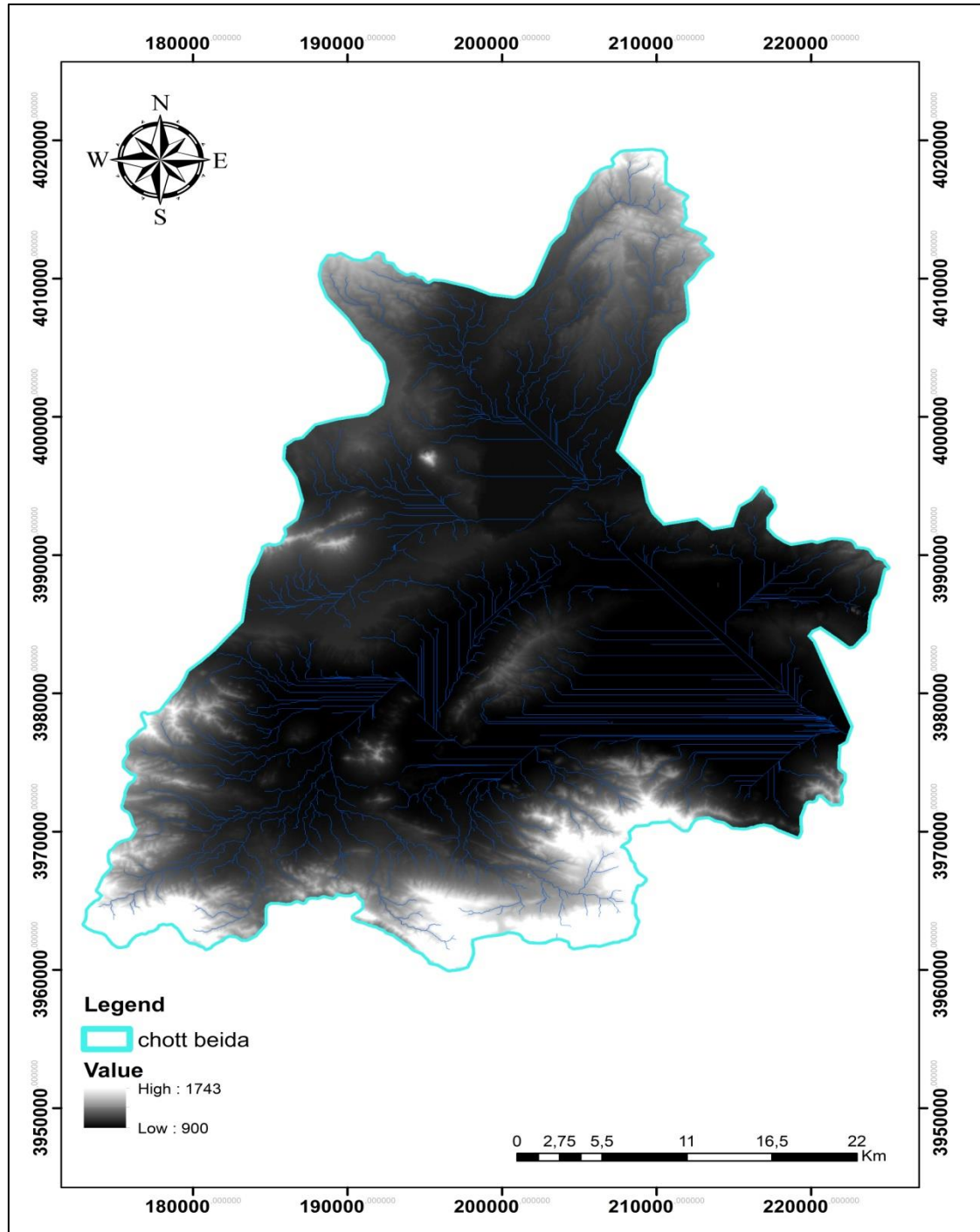


**Figure 05:** Carte du modèle numérique du terrain du bassin de Chat el Baydhaa avec comblement des vides.(l'auteur).



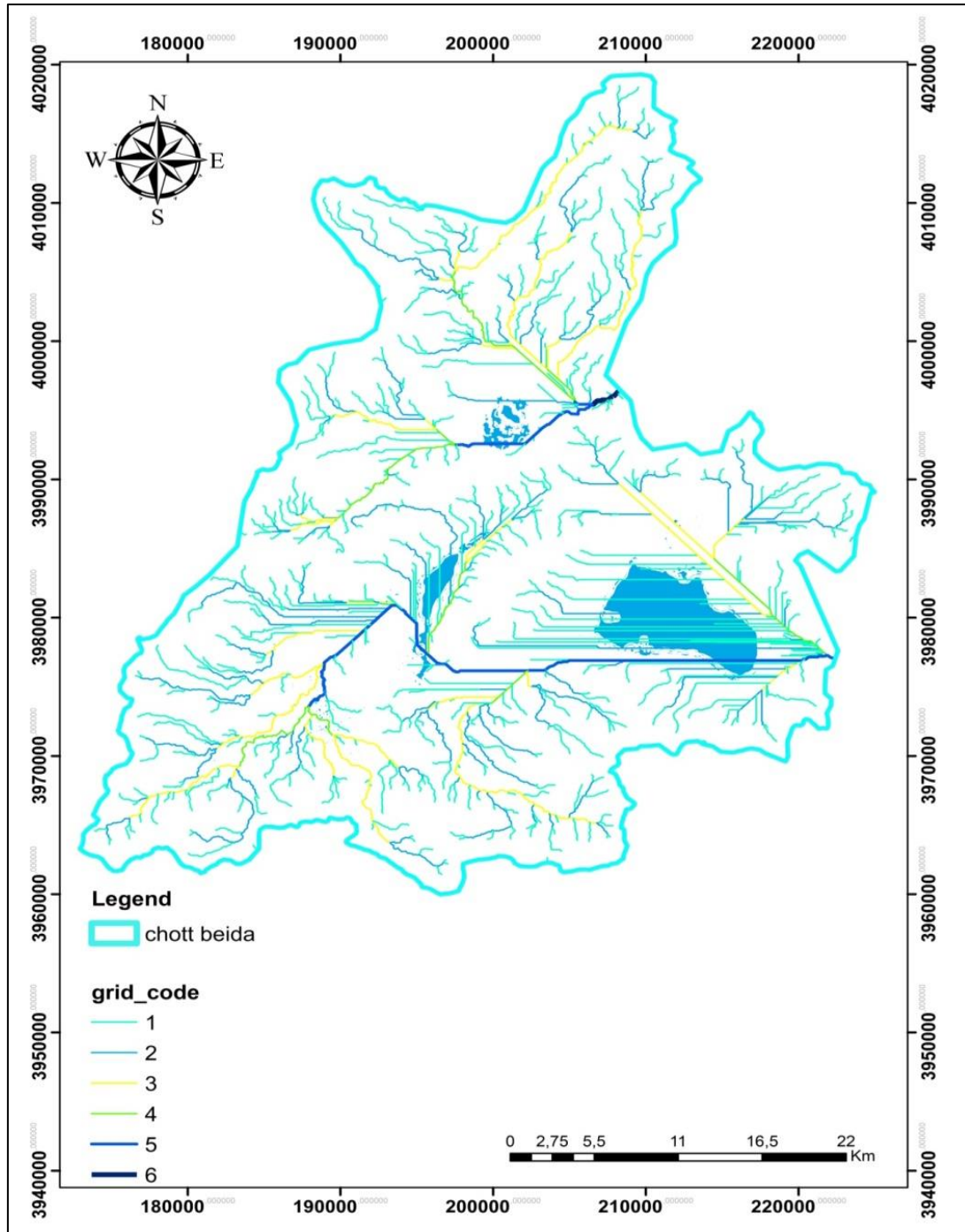
**Figure 06:** . Carte d'accumulation de l'écoulement des eaux superficielle (l'auteur)

-Influence du choix du seuil sur la densité du réseau hydrographique pour un MNT de (30m x 30m), un seuil de 1000 pixels (Fig.07)

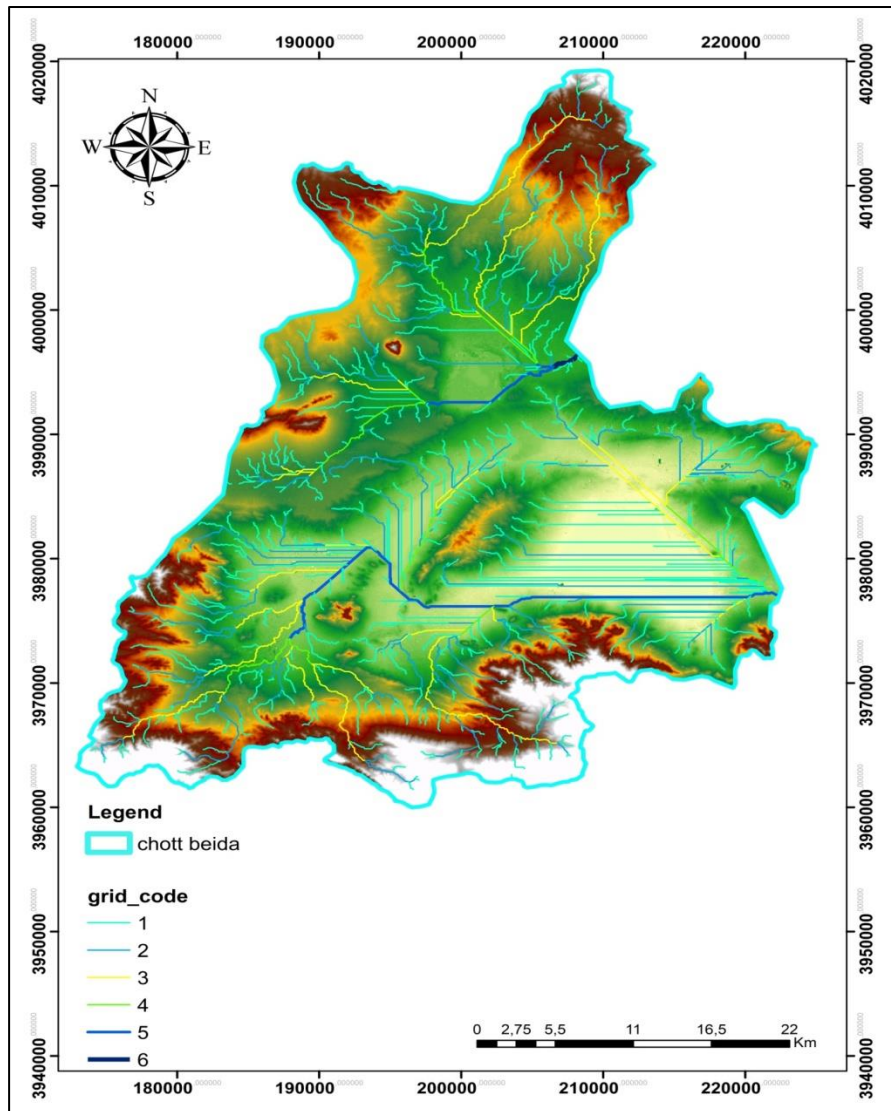


**Figure 07 :** Influence du choix du seuil sur la densité du réseau hydrographique pour un MNT de (30m x 30m), un seuil de 1000 pixels sur ArcGis 10.8 (l'auteur).

- Le réseau hydrographique extrait (Fig.08) ( fig.09) , permet d’analyser avec précision les caractéristiques hydrologiques du bassin versant de Chat el Baydhaa .



**Figure 08:**Ordination des cours d'eau selon Strahler, pour le bassin versant de Chat el Baydhaa , pour un seuil hydrographique de 1000 pixels . sur ArcGis 10.8 (l’auteur)



**Figure 09 :** Ordination des cours d'eau selon Strahler, pour le bassin versant de Chat el Baydhaa , pour un seuil hydrographique de 1000 pixels.sur ArcGis 10.8 (l'auteur).

### 1.2.les paramètres hydromorphométriques des sous BV

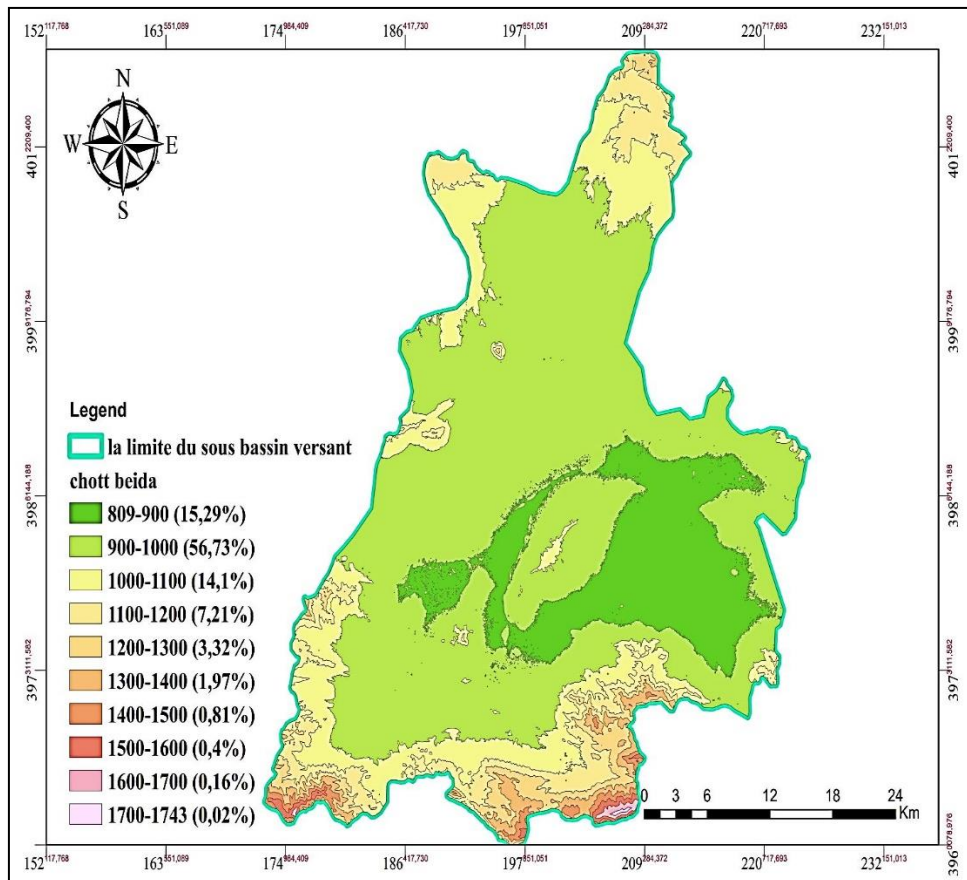
Tous les paramètres hydromorphométriques des sous BV sont donnés par le (Tab 14) :

**Tableau 10:** Caractéristiques morphométriques de sous BV de Chat el Baydhaa.

Paramètres	Symbole	Unité	Valeurs
Caractéristiques de forme	S	Km <sup>2</sup>	1601,28
	P	Km	242,66
	Kc	/	1,7
	L	Km	106,26
	L	Km	15,07
	Re	/	0,048
	Rc	/	0,34
	Ff	/	0,14

	Cc	/	1,71
<b>Caractéristiques de relief</b>	H <sub>max</sub>	M	1743
	H <sub>min</sub>	M	809
	H <sub>moy</sub>	M	989,55
	H <sub>5%</sub>	M	1240
	H <sub>95%</sub>	M	850
	H <sub>50%</sub>	M	959
	P <sub>moy</sub>	/	23,34
	I <sub>g</sub>	%	3,67
	I <sub>p</sub>	%	2,14
<b>Caractéristiques hydrographiques</b>	Tc	(h)	Formule de Giandotti: 22,43
			Formule de California :6,86
			la formule de Kirpich : 4,00
	Vc	(Km/h)	2,41
	Dd	$\text{Km.Km}^{-2}$	0,61
Ct	/	0,20	

### 1.3.La Carte hypsométrique :



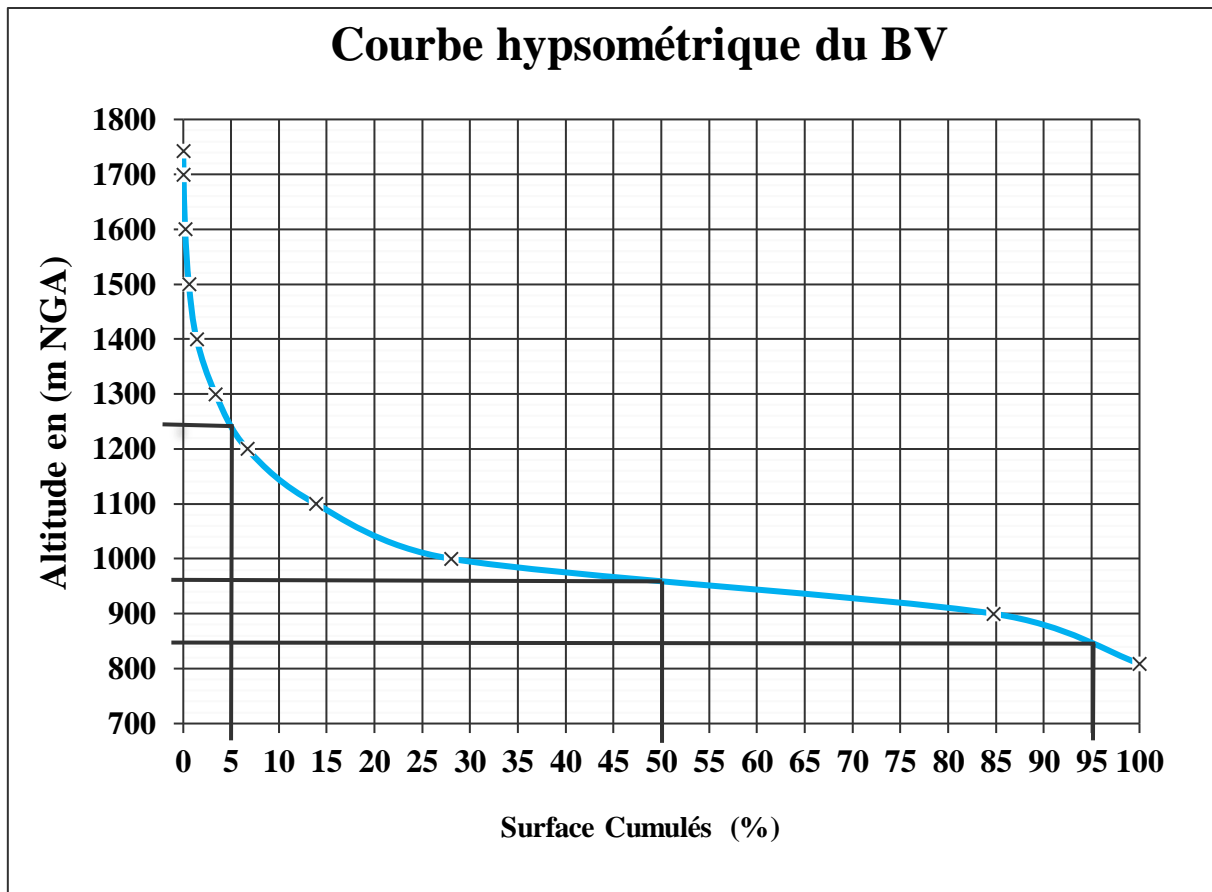
**Figure 10:** Carte hypsométrique du sous BV de Chat el Baydhaa -Réalisée sur ArcGis 10.8 (l'auteur).

#### 1.4.Courbe hypsométrique:

À partir de La Carte hypsométrique du BV de Chat el Baydhaa on a réalisé le (Tab 15)et la courbe hypsométrique du bassin (Fig.11), est tracée à partir de ces données.

**Tableau 11** : Répartition des superficies en fonction des tranches d'altitude dans le sous bassin Chat el Baydhaa.

<b>Tranche d'altitude (m)</b>	<b>H<sub>moy</sub> (m)</b>	<b>Superficies partielles (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Superficies cumulés (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Superficies partielles %</b>	<b>Superficies cumulés %</b>
1743	0	0	0	0%	0%
1743 à 1700	1721,5	0,4	0,4	0,02%	0,02%
1700_1600	1650	2,61	3,01	0,17%	0,19%
1600_1500	1550	6,37	9,38	0,40%	0,58%
1500_1400	1450	13,01	22,39	0,82%	1,39%
1400_1300	1350	31,63	54,02	1,97%	3,37%
1300_1200	1250	53,18	107,2	3,31%	6,68%
1200_1100	1150	115,59	222,79	7,19%	13,88%
1100_1000	1050	226,8	449,59	14,13%	28,02%
1000_900	950	909,77	1359,36	56,70%	84,72%
900_809	854,5	245,18	1604,54	15,29%	100%
		1604,54		100%	



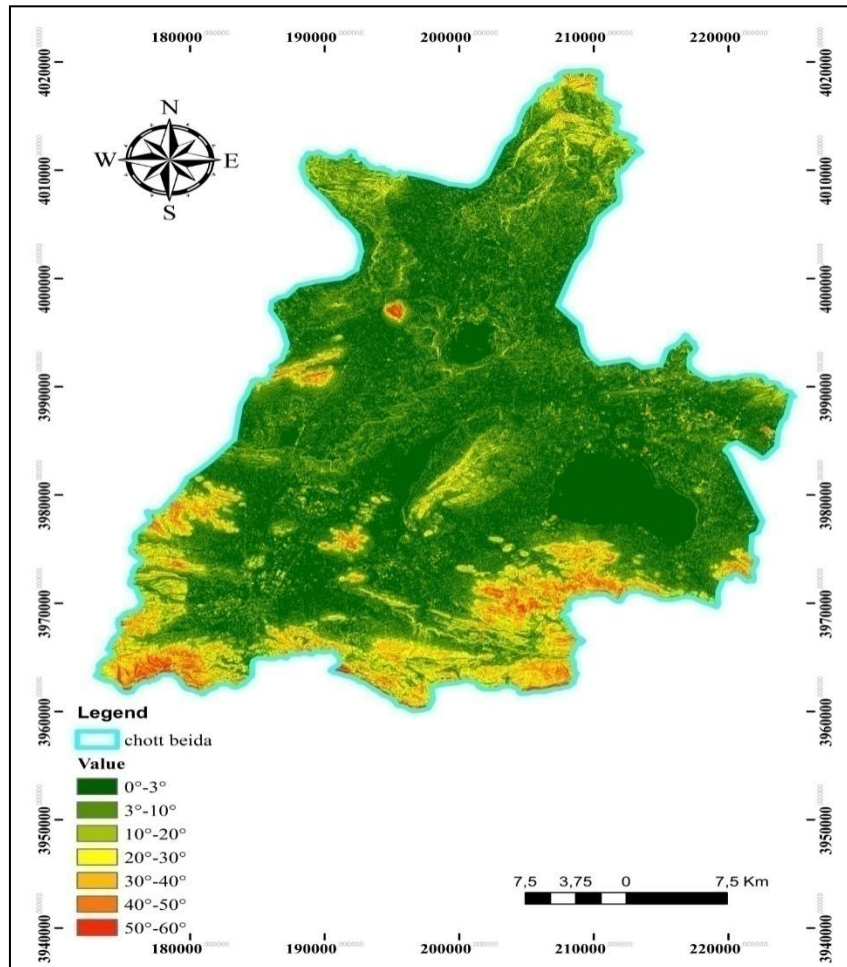
**Figure 11:** Courbe Hypsométrique de sous bassin Chat el Baydhaa.

**Les altitudes caractéristiques :**

Les altitudes caractéristiques du bassin versant de Chat el Baydhaa sont comme suit :

- L'altitude minimale correspond à 809 m.
- L'altitude maximale correspond à 1743 m.
- L'altitude médiane correspond à 959 m.
- L'altitude moyenne Pour le cas de notre bassin versant  $H_{moy} = 989,55$  m.
- Altitude 5% correspond à 1240m.
- Altitude 95% correspond à 850m.

## 1.5. Carte des pentes :



**Figure12:** Carte des pentes du bassin versant de Chat el Baydhaa -Réalisée sur ArcGis 10.8 (L'auteur à partir d'un MNT).

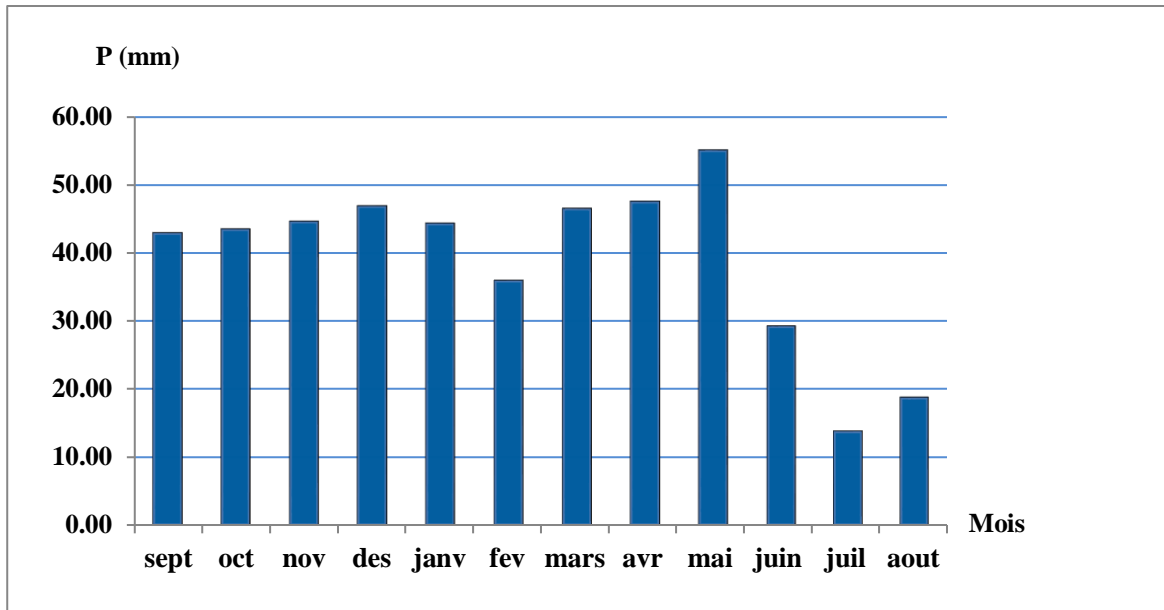
## 2. CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES DU SOUS BASSIN :

### 2.1. Les précipitations:

#### a. Les précipitations moyennes mensuelles :

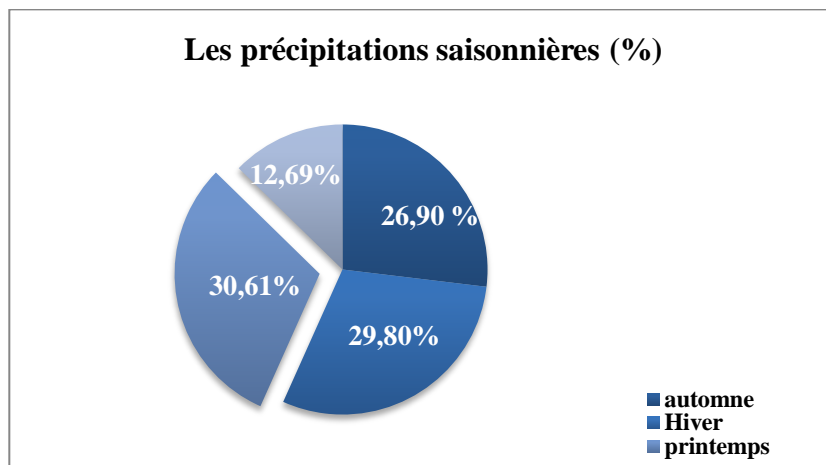
Les figures13 et 14 montrent les variations des précipitations moyennes, mensuelles et saisonnières respectivement durant la période récente (1982–2021).

Le mois le plus pluvieux est celui de Mai avec 54.96 mm, alors que le mois le plus sec est Juillet avec moins de 13.7 mm.



**Figure13 :** Les précipitations moyennes mensuelles de la wilaya de Sétif (1982-2021).

**b. Les précipitations saisonnières :**



**Figure 14 :** Précipitations moyennes saisonnières station Sétif Période (1982-2021).

**c. Variabilité annuelle des pluies :**

La présentation brute de la série de précipitation permet d'en visualiser l'évolution chronologique hauteurs de pluies annuelles. L'année 1993 est la plus arrosée sur toute la période avec 753.9 mm contre un minimum enregistré en 2013 d'environ 163 mm.

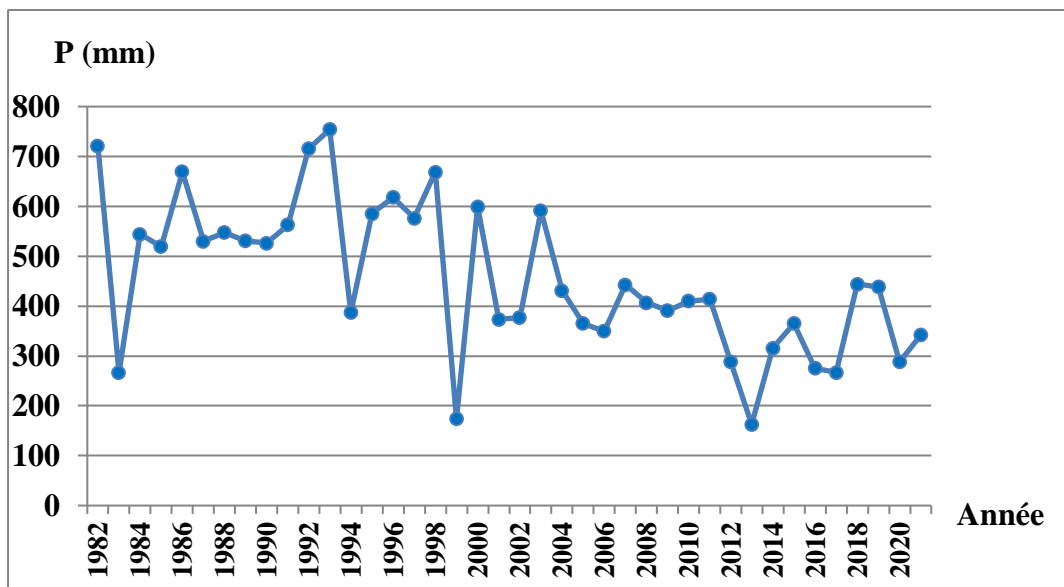


Figure15: Les précipitations moyennes annuelles de la wilaya de Sétif (1982-2021).

## 2.2.Températures:

### a. Les températures moyennes mensuelles :

d'après le graphique suivant, le mois le plus chaud est Juillet avec une température moyenne de 26.4 °C, alors qu' un très faible température moyenne a été enregistrée en Janvier, soit 5.53 °C.

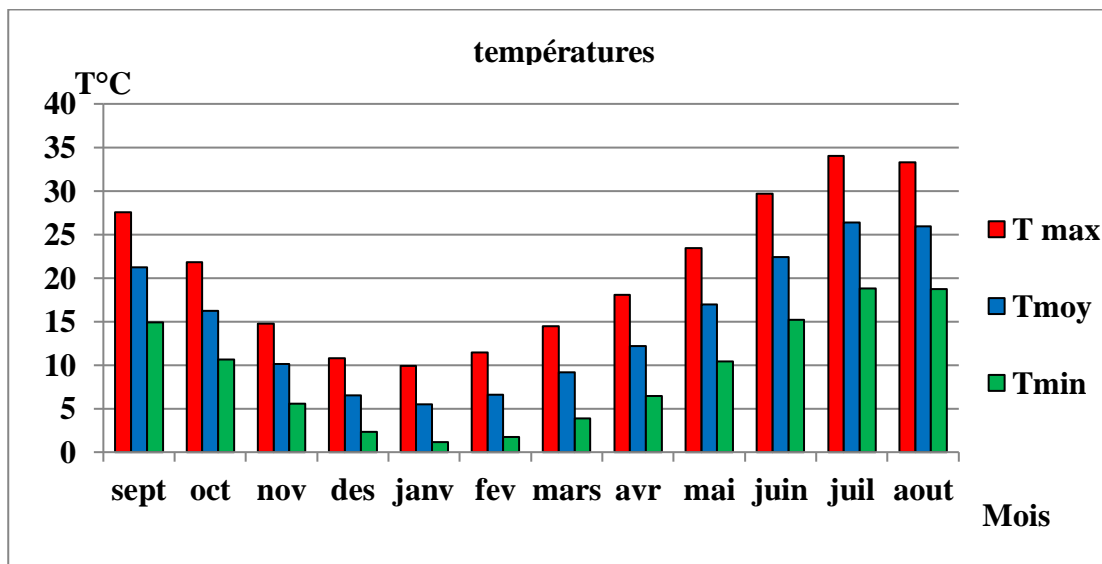
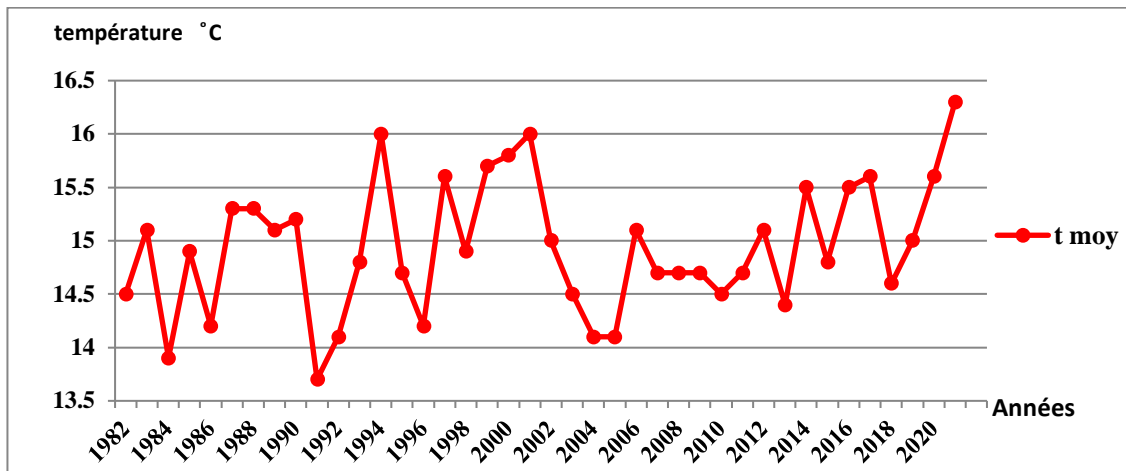


Figure 16 : Variation des températures moyennes mensuelles à la station de Sétif (1982/2021).

### b. Températures annuelles moyennes :

Sur la période d'étude, l'année 2021 est considérée la plus chaudes avec une température moyenne annuelle de 16.3 °C, la plus faible valeur de température moyenne annuelle est celle de l'année 1991 avec 13.7 °C.

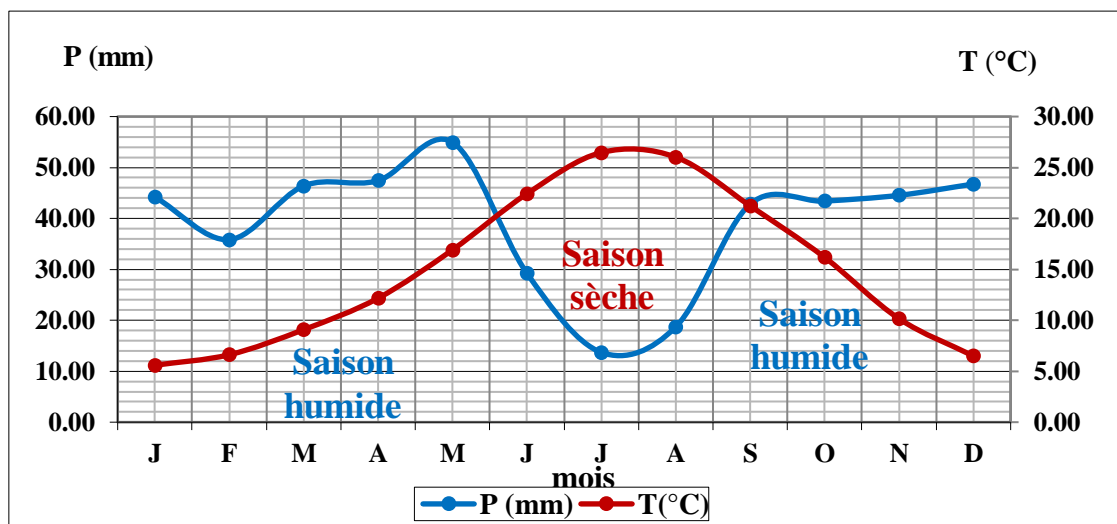


**Figure17:** Températures annuelles moyennes au niveau du sous bassin Chat el Baydhaa. (1982-2021).Station de Sétif.

### 2.3.Synthèse climatique :

#### 3.1.Diagramme Ombrothermique :

Le diagramme ombrothermique a pu distincte deux principales saison, une longue période humide s'étale de Septembre à la fin du mois de Mai et une saison sèche d'environ trois mois.



**Figure18 :** Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de la région de Sétif pour la période 1982-2021.

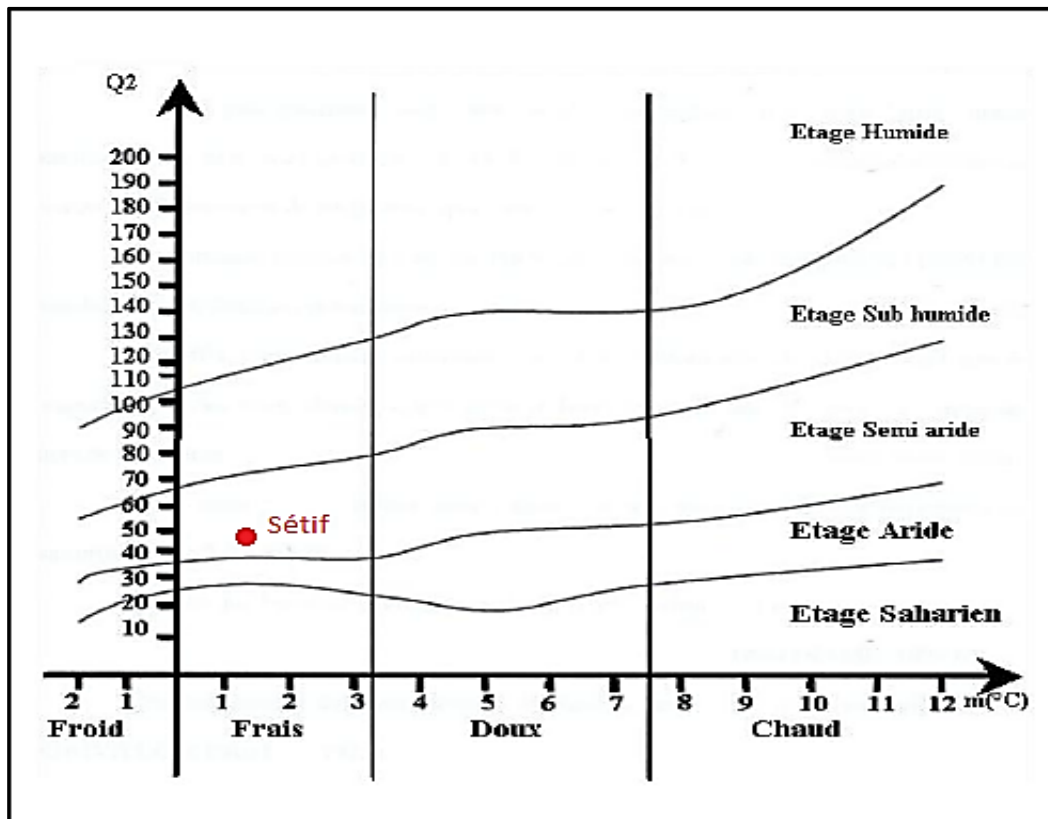
#### 3.2. Climagramme d'EMBERGER :

On a :

$T = 14,95$      $P = 467,96 \text{ mm}$      $M = 34,01^\circ\text{C}$      $m = 1,16^\circ\text{C}$

Donc:  $Q2 = 48,86$

D'après la figure suivante notre zone d'étude se situe dans l'étage climatique semi aride.



**Figure19 :** Représentation de l'étage climatique de la région de Sétif selon le climagramme d'EMBERGER.

### 3.3. L'indice d'aridité De Martonne :

L'application de la formule d'indice d'aridité de De Martonne, donne les résultats récapitulés dans le tableau Suivant : la valeur de 18.76 confirme le caractère semi-aride de la zone.

**Tableau 12:** Valeurs de l'indice d'aridités de la wailaya de Sétif .

Station	P(mm)	T (°C)	IM
Sétif	467,97	14,95	18,76

#### 2.4.L'Evapotranspiration :

Les résultats de calcul de l'évapotranspiration sont présentés dans le tableau et les figures suivantes :

#### 2.5.Le bilan-hydrique:

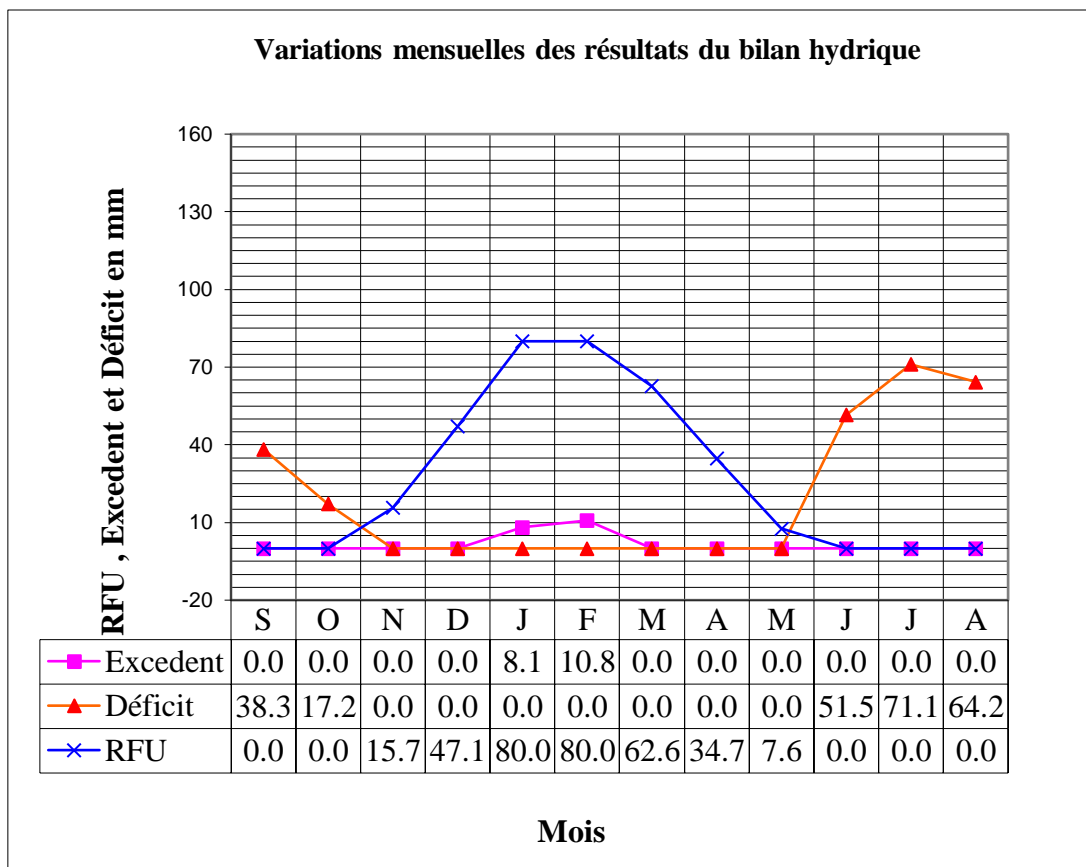
Dans le bilan on remarque que l'ETP est supérieure à P pendant 08 mois de l'année ce qui augmente l'évaporation, plus de 96% de pluie s'évapore annuellement. Un déficit agricole très important surtout à l'été, en hiver on peut voir un faible écoulement durant les mois de Janvier et Février.

**Tableau 13:**Bilan hydrologique calculé à partir de la méthode de Thornthwaite (1982-2021).

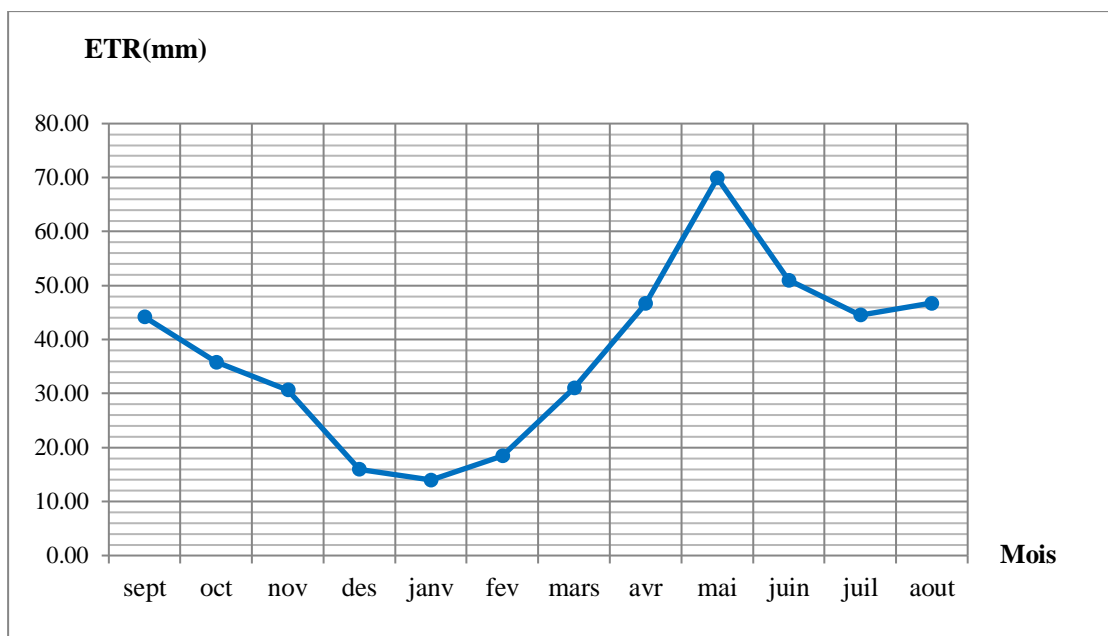
Période	T <sub>p</sub> (°C)	i	K	ETP <sub>c</sub> (mm)	Pr (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Sept	21,23	8,9	0,85	82,5	44,21	0,0	44,21	38,3	0,0
Oct	16,18	5,9	0,84	53,0	35,84	0,0	35,84	17,2	0,0
Nov	10,16	2,9	1,03	30,7	46,38	15,7	30,7	0,0	0,0
Des	6,50	1,5	1,10	16,0	47,43	47,1	15,97	0,0	0,0
Janv	5,59	1,2	1,23	14,0	54,96	80,0	14,0	0,0	8,1
Fev	6,62	1,5	1,23	18,5	29,23	80,0	18,47	0,0	10,8
Mars	9,08	2,5	1,25	31,1	13,70	62,6	31,1	0,0	0,0
Avr	12,17	3,8	1,17	46,7	18,71	34,7	46,67	0,0	0,0
Mai	16,92	6,3	1,04	69,9	42,81	7,6	69,91	0,0	0,0
Juin	22,42	9,7	0,97	102,5	43,40	0,0	50,98	51,5	0,0
Juil	26,47	12,5	0,84	115,6	44,54	0,0	44,54	71,1	0,0
Aout	26,02	12,1	0,83	111,0	46,76	0,0	46,76	64,2	0,0
Année	14,9	68,9		<b>691,3</b>	<b>468,0</b>		<b>449,09</b>	242,2	18,91

Vérification des résultats : A l'échelle annuelle:

- $ETP - ETR = DEF = 242,2 \text{ mm.}$
- $P - ETR = EXC = 18,91 \text{ mm.}$



**Figure20:** Représentation graphique du bilan hydrologique de Sétif.



**Figure21 :** Variation de l'évaporation moyenne mensuelle de Sétif (1982-2021).

### 3. ETUDE HYDROLOGIQUE DU BASSIN VERENT

#### 3.1. Etude des apports liquides :

##### 3.1.1. Apport moyen annuel :

Les apports moyens annuels calculés varient entre 25,99 et 121,23 selon la formule utilisée

**Tableau 14:** Les résultats des Apports moyen annuel

Méthode :	Apport moyen interannuel (Mm <sup>3</sup> ) :
SAMIE	71,87
COUTAGNE	121,23
DERY II	25,99
L'ANRH	59,49
Valeur moyenne	69,64

##### 3.1.2. Caractéristiques de l'écoulement :

Les calculs ont abouti à une lame d'eau écoulee annuellement de l'ordre de 60,81 mm, soit 13% des pluies tombées sur le bassin. Le module d'écoulement est de 20,64 l/s.

**Tableau 15 :** Les résultats des caractéristiques d'écoulement

Sous Bassin versant	A <sub>0</sub>	A <sub>moy</sub>	M <sub>e</sub> (l/s)	M <sub>0</sub> (l/s/km <sup>2</sup> )	L <sub>e</sub> (mm)	C <sub>e</sub> (%)
CHAT EL BAYDHAA A	97377,93	651000000	20,64	0,013	60,81	0,13

##### 3.1.3. Coefficient de variation (Cv) :

Le Coefficient de variation varie de 0,33 à 1,72 selon la formule de calcul.

**Tableau 16:** Les résultats des Coefficient de variation

Formule:	Cv
formule de Sokolovsky :	1,126
formule d'Ourkuiprovodkhoz :	1,20
formule d'ANTONOV :	0,33

formule de Kristkly Menkel :	1,72
formule d'Algérienne de N.N Padoun :	1,52

### 3.2. Les apports fréquents :

#### 3.2.1 Estimation fréquentielle des apports :

Les résultats des Variables réduites de GAUSS pour différentes fréquences sont résumés dans le tableau 21, les apports moyens peuvent atteindre plus de 751 millions de mètre cube pour une période de retour de 100 ans.

**Tableau 17:** Les résultats des Variables réduites de GAUSS pour différentes fréquences

Période de retour	5	10	50	100
Fréquence P%	80	10	2	1
La variable de Gouss	-0,841	1,282	2,054	2,327
Apport Mm <sup>3</sup>	18,17	220,23	545,60	751,97

### 3.3. Etude des apports solides et Etude des crues :

Les résultats des apports solides sont résumés dans le tableau, les écoulements et les ruissellements de surface peuvent charrier annuellement entre 0.57 et 0.88 millions de mètre cube de matière solide.

**Tableau 18 :** Les résultats des apports solides

Formule de	Le (mm)	Es (t/Km2/an)	As (t/an)	$\gamma_s$ (t/m3)	Vs (m3/an)
<b>TIXERONT</b>	27,4	575,0831313	920869,1165	1,6	575543,198
Formule de	Ro (mm)	Es (t/Km2/an)	As (t/an)	$\gamma_s$ (t/m3)	Vs (m3/an)
<b>Sogreah</b>	467,9565283	880,2354821	1409503,473	1,6	880939,671

#### 3.3.1. Estimation fréquentielle des apport / Pluies de courte durée / le débit moyen journalier / l'intensité pour les différentes fréquences :

Les résultats des Estimation fréquentielle des (Pjmax%) et Pluies de courte durée (Ptc) et le débit moyen journalier (Qj) et l'intensité (I) sont résumés dans le tableau 23.

**Tableau 19:** Estimation fréquentielle des ( $P_{jmax\%}$ ) et Pluies de courte durée ( $P_{tc}$ ) et le débit moyen journalier ( $Q_j$ ) et l'intensité ( $I$ )

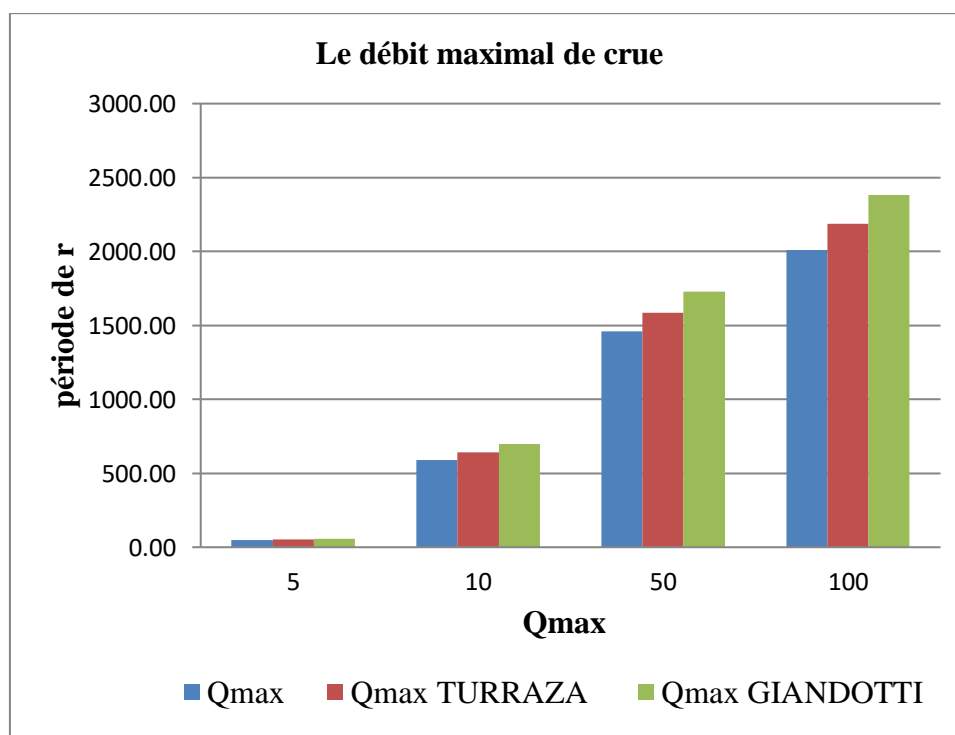
période de r	$P_{jmax\%}$	$P_{tc}$	$Q_j$	$I$
5	3,40	3,33	45,42	0,15
10	41,25	40,37	550,45	1,80
50	102,20	100,00	1363,71	4,46
100	140,85	137,83	1879,54	6,15

### 3.4. Le débit maximal $Q_{max}$ :

Les résultats de débit maximal ( $Q_{max}$ ) sont résumés dans les tableaux suivants, les résultats de calcul par les trois méthodes sont très proches pour une période de retour.

**Tableau 20 :** Les résultats de débit maximal ( $Q_{max}$ )

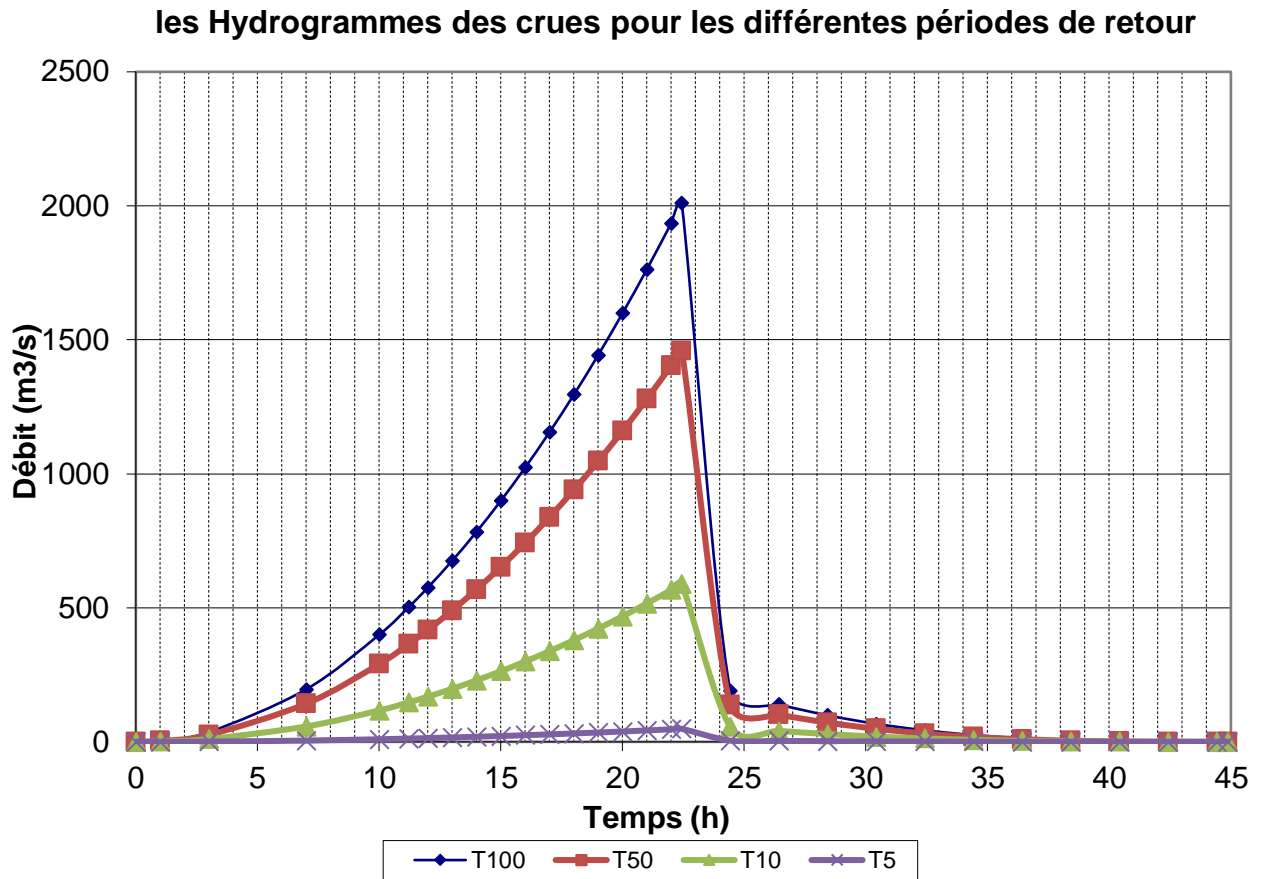
période de r	$Q_{max}$	$(Q_{max})$ « Formule de TURRAZA »	$(Q_{max})$ « Formule de GIANDOTTI »
5	48,60	52,85	57,58
10	589,09	640,49	697,88
50	1459,43	1586,77	1728,96
100	2011,47	2186,97	2382,95



**Figure 22 :** comparaison des débit maximal de crue calculés par les trois méthodes

### 3.5.Hydrogramme des crues :

Les débits de crues des différentes périodes de retour de chaque sous bassin sont donnés donne les Hydrogrammes correspondants(figure23)



**Figure 23:**Hydrogramme de crues pour différentes périodes de retour( Chat el Baydhaa )

On remarque que le débit durant la crue augmente progressivement jusqu'à atteindre son maximum alors que le décrue s'effectue d'une manière très rapide.

## **IV. CONCLUSION GENIALE**

## IV. CONCLUSION GENIALE

Le bassin versant de CHAT EL BAYDHAA est l'un des grands bassins des hauts plateaux constantinois codé (07-01) par l'ABH, doté d'un climat semi-aride avec un hiver froid et un été chaud et sec.

Le travail exposé dans ce mémoire consiste à utiliser le logiciel ArcGis pour essayer de connaître et analyser les différents paramètres morphométriques du bassin versant de CHAT EL BAYDHAA à partir d'un MNT. Et d'utiliser des modèles empiriques pour estimer les apports liquides et solides ainsi que la détermination des débits fréquentiels dans le bassin.

Les principaux résultats obtenus sont :

➤ le bassin versant de Chat el Baydhaa une superficie de 1601,28 km<sup>2</sup> et le Périmètre est de 242,66 km est caractérisé par une forme allongée avec un indice de Gravelius de 1,7, un rapport d'allongement de 0,048 et un rapport de circularité de 0,34.

➤ Le relief du bassin versant objet d'étude est très fort avec des altitudes caractéristiques comme suit : l'altitude minimale correspond à 809 m, l'altitude maximale correspond à 1743m, l'altitude médiane correspond à 959m, l'altitude moyenne est de 989 ,55 m, altitude 95% correspond à 850m, et l'altitude 5% correspond à 1240m.

Le réseau hydrographique présente des ramifications nombreuses ; avec une densité du drainage très faible estimée à 0,61 km/km<sup>2</sup> caractérise un réseau hydrographique faiblement développé, Coefficient de compacité avec une valeur de 1,71 et facteur de forme de 0, 14, la valeur de Vitesse de ruissellement est 2,41(km/h) avec un temps de concentration est estimé à 6,86 heures.

Le diagnostic physico- géographique et la connaissance du bassin versant, permettront de caractériser les principaux facteurs naturels intervenant dans l'alimentation en eau et dans l'écoulement ; facteurs orographiques et morphologiques, lithologiques, climatiques et biogéographiques. Leur interaction est déterminante dans le comportement hydrologique de ces bassins. L'étude hydrologique qui a porté sur le bassin versant de Chat el Baydhaa basée sur le traitement statistique des données hydrométriques, mettes en relief les aspects fondamentaux de l'écoulement et l'évaluation des débits et des volumes de crues.

La région étudiée a un climat semi-aride. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 468 mm pour une température moyenne annuelle de 14.9 °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 449 mm.

Les pluies journalières maximales fréquentielles allant de 41.25 mm pour T=10 ans à 140.85 mm par jour pour une période de retour de 100 ans.

les différents formules utilisées données des apports en eau annuel varient entre 25.99 Mm<sup>3</sup> et 121.23 Mm<sup>3</sup>, et des apports solide de 0.57 Mm<sup>3</sup> à 0.88 millions de mètres cubes par an.

Les formule de TURRAZ et de GIANDOTTI utilisées pour estimation des débits des crues pour les périodes de 5,10,20 et 100 ans ont données des valeurs très proches , avec un débit centennale successivement de 2186.95 m<sup>3</sup>/s et 2282.97 m<sup>3</sup>/s.

## BIBLIOGRAPHIE

- Abdeddaim, Hakima. *CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'INFLUENCE DE LA STRUCTURE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE SUR LE RISQUE HYDROLOGIQUE*(Doctorat En Sciences Hydrauliques). Université Mohamed Khider – Biskra, 2018.
- Aksouh, Amina,. *MEMOIRE DE MASTER-Caractérisation des intensités de pluie dans la région centre-est de l'algerie en terme d'évolution temporelle et spatiale*. ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE-ARBAOUI Abdallah -, 2017.
- Aliat, Tewfik. *Les relations Sol-Végétation dans le Chott El Beida, Hammam Sokhna, wilaya de Sétif*. Batna, Thèse Magister en Agronomie: Université El Hadj Lakhdar, 2007.
- Aliat, Toufik. «Les écosystèmes humides des hautes plaines orientales algériennes.» *Thèse de doctorat* . Setif: Université Ferhat Abbas Sétif 1, 2017.
- Amina, AKSOUH. *MEMOIRE DE MASTER\_ Caractérisation des intensités de pluie dans la région centre-est de l'algerie en terme d'évolution temporelle et spatiale*. ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE-ARBAOUI Abdallah -DEPARTEMENT Hydraulique Urbaine, 2017.
- ANRH, AGENCE NATIONAL DES RESSOURCES HYDRIQUES. [*Document cartographique*]. *Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord au 1/500 000*. Ministère de l'Équipement, éd. I.N.C., Alger., 1993.
- Asnoui, Fatiha. *MEMOIRE Master, Etude du transport solide en suspension dans le Bassin Versant d'oued AL ABD*. Université ABOU BEKR BELKAID, 2014.
- Bacha, B, et L Bechim. *Approche bioécologique des zones humides et des oiseaux d'eau de la région Sud-Constantinoise*. Mém. Ing. Eco, 2005.
- Barkat, Said, Hoffmann Luc, et Ammar Boumezbeur. «ATLAS des zones humides Algériennes d'importance internationale (4<sup>e</sup> édition).» 2004: 98-100p.
- Bechel. *Développement des ressources en eau et de l'agriculture. Etude préliminaire et conditions de réalisations*. USA. 4 volumes, BECHTEL. Incorporated, 2005.
- Bechini, Habib, et Fouaz Radjai. *Diagnostic écologique de la végétation et bioécologie de l'avifaune du Chott el Beida (wilaya de Sétif, hauts plateaux de l'est algérien)*. Batna: Université El Hadj Lakhdar, 1993.
- BECHTEL. *Développement des ressources en eau et de l'agriculture. Etude préliminaire et conditions de réalisations*. BECHTEL. Incorporated, USA. 4 volumes. 1975.
- Belazreg, Nour EL Houda. «Fonctionnement hydrologique des bassins versants à réseaux hydrographiques différents, (Mémoire de Master Spécialité : Hydraulique).» 2019: 07.
- Benaza, Chahinez, et Kheira Benariba. *ETUDE DE CONCEPTION DU BARRAGE SUR L'OUED SIDI AISSA WILAYA DE TESSEMSSILT*. Mémoire de fin d'études: Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen, 2012-2013.
- Benchikhi, Ghbouli. *Origine de la salinité des eaux souterraines-cas des hautes plaines sétifiennes (Nord-Est Algérien)*. Document interne, Sciences & technologie A-N°28 Décembre. 2008.

Benmia , kouider. *EVALUATION DE LA PERFORMANCE DES BARRAGES DE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS CAS DE LA VILLE DE GHAZAOUET*. Université Aboubakr Belkaïd - Tlemcen: Mémoire MAGISTER En hydraulique, 2013.

Benmia, Kouider. *EVALUATION DE LA PERFORMANCE DES BARRAGES DE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS CAS DE LA VILLE DE GHAZAOUET*. Université Aboubakr Belkaïd - Tlemcen : Mémoire MAGISTER En hydraulique., 2013.

Benzougagh, Brahim, Abdallah Dridri, Larbi Boudad, Driss Sdkaoui, et Baamar Brahim. «Apport des SIG et teledetection pour l'évaluation des caracteristiques physiques du bassin versant d'oued Inaouene (Nord-Est Maroc) et leurs utilites dans le domaine de la gestion des risques naturels.» 2019: 122-125.

Betier, G, L Royer, et R Laffite. *Carte géologique feuille n° 119*. Saint Donat. Service de la carte géologique de l'Algérie, 1959.

Boudoukha, Abderrahmane. *Etude hydrogéologique et modélisation du système aquifère fermé d'El.Eulma - Ain Lahdjar (région Est de Sétif - Algérie)*. France, Thèse, Doctorat: Université de Franche-comté., 1988.

Boumazbeur, A; Boulahlib, A. *Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar (FDR), chott El-Beida. Conservation des forêts de Sétif*. Alger, Direction Générale des Forêts, 2005.

—. «Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar (FDR), chott El-Beida. Conservation des forêts de Sétif.» 2005: 2-4, 7, 10p.

Bouزيد.A. *Bioécologie des oiseaux d'eau dans les chotts d'Ain El Beida et d'Oum Er-Raneb (Région d'Ouargla)*. Thèse de Magister en Agronomie, 2003.

CARRERE, ALAIN. "*Barrages*". 1978 .

Cheikh, FAYE. «Caractérisation d'un bassin versant par l'analyse statistique des paramètres morphométriques : cas du bassin versant de la Gambie. (Bassin continental Guineo-Sénégalais).» *Revue Marocaine de Géomorphologie*. N°2., 2018: p116.

Dali.N. *Contribution a l'actualisation et gestion durable des ressources en eau des bassins des hauts plateaux constantinois*. [Thèse de Doctorat en sciences]. Université Badji Mokhtar \_annaba, 2018.

Demdoum, A. *Etude hydrogéochimique et impact de la pollution sur les eaux de la région d'el Eulma*. Thèse Doctorat, Univ. Constantine., 2010.

Goumidi .N, Kaouche .S. *Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine de Hammam Sokhna (wilaya de Sétif)*. Mém. Ing. Géo, 1995.

Horton, R. *Erosional development of systems and their drainage basins*. *Hydrophysical approach to quantitative morphology*. Geol Soc Am Bull., 1945.

Idriss., Kouedjou. «ANALYSE MORPHOMETRIQUE DU BASIN VERSANT DE LA MENOUA POUR UNE MEILLEURE GESTION DES RISQUES MORPHOHYDROLOGIQUES.» *Am. J. innov. res. appl. sci.*, 2021: 192.

- Khaoula Djebaili, Imen Djebaili. «Analyse morphométrique et hydrologique du bassin versant de L'oued labiod à l'aide du système d'information géographique. (Mémoire Master) University of Abbes Laghrour Khenchela.» 2021: 14.
- Khenniche, Aboubaker, et Bendjeda Nadjiba. «FDR pour le Site n° 1415, Chott El Beïdha-Hammam Essoukhna, Algérie.» 2019: s3 p2 , s4 p1.
- Laborde. «Les chroniques mensuelles de pluies de bassin : un préalable à l'étude des écoulements en Algérie.» *Colloque International "Gestion du risque eau en pays semi-aride"*. Tunis, 2003. 10-12.
- Laborde, J.P. «Éléments d'hydrologie de surface. Cours. Centre nationale de la recherche scientifique. Université de Nice-Shophia Antipolis.» 2000: 204-20.
- Lang, M, Arnaud P, Carreau Julie, Deaux N, Dezileau L, et Garavaglia, A. F. «Résultats du projet ExtraFlo (ANR2009-2013) sur l'estimation des pluies et crues extrêmes.» *La Houille Blanche - Revue internationale de l'eau*, 2014: 5-13.
- Merdas, S. *Bilan des incendies de forêts dans quelques wilayas de l'est Algérien; cas de Bejaia, Jijel, Sétif et Bordj Bou-Arredj*. Thèse Magister en Ecologie, 2007.
- O.T.I. *Projet d'étude devant permettre la définition de programme de développement sur la zone de rénovation rurale des hautes plaines Sétifiennes. Ingénieros Culsultores, Madrid, 3 Tomes. 1974.*
- Pouget, M. *les relations sol-végétation dans les steppes sud-Algéroises*. O.R.S.T.O.M. Paris, 1980.
- Radja, Habib Bechini et Fouaz. *Diagnostic écologique de la végétation et bioécologie de l'avifaune du Chott el Beida (wilaya de Sétif, hauts plateaux de l'est algérien)*. Université El Hadj Lakhdar - Batna-, Algérie - Master, 2013.
- Ramande, F. *Eléments D'écologie. Ecologie Fondamentale*. Ed. Mac. Graw, 1984.
- Saheb.M. *Cartographie de la végétation des sebkhas de Guellif et Ougla Touila (Oum El Bouagui) et écologie de l'avifaune. Thèse de Magistère*. Oum El Bouagui: Centre universitaire d'Oum El Bouagui, 2003.
- Schumm. *Evolution of drainage systems and slopes in Badlands at Perth Amboy*. New Jersey. Natl Geol Soc Am Bull, 1956.
- Strahler, A. *Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks*, VT Chow (ed), *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw Hill Book Company, New York, 1964.
- Vila J. M. *Cartes géologiques, feuille n° 118 Bir El Arch, feuille 145 Boughzel, feuille n° 144 Ain Lahdjar*. Edit. Sonatrach. 1977.
- . *La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algero-Tunisiens*. Paris VI, Thèse. Doctorat, 1980.