



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITEE ABBES LAGHROUR –KHENCHELA-

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DEPARTEMENT DE L'ECOLOGIE ET DE L'ENVIRENEMENT

MEMOIRE

PRESENTEE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME

DE MASTER EN ECOLOGIE

OPTION : PROTECTION DES ECOSYSTEMES

THEME :

**EVOLUTION DES EXTREMES PLUVIOMETRIQUES DANS UN
CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS UNE ZONE SEMI
ARIDE (CAS DE LA WILAYA DE TEBESSA).**

REALISE PAR : BOUMACHROUK RAMZI

DEVANT LE JURY COMPOSE DE:

PRESIDENT : ZIOUCH OMAR RAMZI

DOCTEUR A L'UNIVERSITE DE KHENCHELA

EXAMINATRICE : DALI NAOUEL

DOCTEUR A L'UNIVERSITE DE KHENCHELA

DIRECTEUR : DAIFALLAH TAREK

DOCTEUR A L'UNIVERSITE DE KHENCHELA

2019-2020

Dédicace et Remerciements :

Dédicace

Je dédie ce travail

À mes chers parents et mes chères sœurs, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

À toute ma famille mes amis pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,

À mes amis de la promotion.

Merci d'être toujours là pour moi.

Remerciements

J'avais envie d'adresser mes sincères remerciements à Dr. Daifallah Tarek.

*En tant que Directeur de mémoire, il m'a guidé dans mon travail et m'a aidé
à trouver des solutions pour avancer.*

Mes remerciements aux membres de jury,

*Dr Ziouch Omar Ramzi et Dr Dali Naouel d'avoir accepté d'examiner et
enrichi mon modeste travail.*

*Je remercie également toute l'équipe pédagogique de l'université
de Khenchela.*

Résumé :

Résumé :

L'un des majeurs problèmes de changement climatique dans notre région d'étude (Tébessa) sont les pluies extrêmes qui provoquent des inondations dévastatrices. Une étude de ce problème d'objectif d'évaluer l'évolution de ces extrêmes pluviométriques dans notre région pour avoir des solutions et adapter à ce problème de pluies extrêmes. D'après notre étude des données climatologiques de la station météorologique de Tébessa sur une période de 38 ans (1982-2019), notre région se caractérise par un climat semi-aride, une baisse : des précipitations annuelles, de nombre de jours de pluie, des pluies maximales journalières, nombre de jours avec des précipitations (≥ 1 mm, ≥ 5 mm, ≥ 10 mm, ≥ 15 mm) avec une hausse dans le nombre de jours avec des précipitations ≥ 20 mm et de la lame d'eau moyenne précipitée par jour de pluie. En cas de pluies exceptionnelles, il existe une possibilité d'inondations dévastatrices comme la dernière en 2018.

Mots clés: changement climatique, pluies, inondation, extrêmes pluviométriques, climatologiques, station météorologique, semi-aride, baisse, hausse, précipitations, pluies exceptionnelles.

Abstract:

One of the major climate change issues in our study area (Tébessa) is the extreme rains which cause devastating floods. A study of this problem with the objective of evaluating the evolution of these extremes of rainfall in our region in order to have solutions and adapt to this problem. According to our study of climatological data from the meteorological station of Tébessa over a period of 38 years (1982-2019), our area is characterized by a semi-arid climate, a decrease in: annual precipitation, number of rainy days, maximum daily rainfall, number of days with precipitation (≥ 1 mm, ≥ 5 mm, ≥ 10 mm, ≥ 15 mm) with an increase in the number of days with precipitation ≥ 20 mm and water layer average precipitation per rainy day. In case of extreme rainfall, there is a possibility of devastating floods like the last one in 2018.

Key words: climate change, extreme rains, floods, semi-arid, climatological, meteorological station, precipitation, decrease, increase, exceptional rains.

ملخص:

من أهم مشاكل التغير المناخي في منطقة دراستنا (تبسة) هي هطول الأمطار الغزيرة و التي تسبب فيضانات مدمرة. يجب دراسة هذه المشكلة بهدف تقييم تطور هذه الظاهرة في منطقتنا من أجل التوصل إلى حلول والتكيف مع هذه المشكلة. حسب دراستنا للبيانات المناخية من محطة الأرصاد الجوية في تبسة على مدى 38 سنة (1982-2019)، تتميز منطقتنا بمناخ شبه جاف، انخفاض في: هطول الأمطار السنوي، عدد الأيام الممطرة، الحد الأقصى اليومي لهطول الأمطار و عدد أيام هطول الأمطار (≤ 1 مم، ≤ 5 مم، ≤ 10 مم، ≤ 15 مم) مع زيادة في عدد الأيام التي يكون فيها هطول الأمطار ≤ 20 مم وزيادة في متوسط تساقط المياه لكل يوم ممطر. في حالة هطول الأمطار بغزارة شديدة هناك احتمال حدوث فيضانات مدمرة مثل التي حدثت عام 2018.

الكلمات الدالة: التغير المناخي، الأمطار الغزيرة، فيضانات، محطة الأرصاد الجوية، شبه جاف، انخفاض، زيادة، أمطار استثنائية.

Chapitre 1 :

Figure 1 : Carte de situation géographique de la région du Tébessa.....	5
Figure 2 : Carte du relief de la wilaya de Tébessa.....	7
Figure 3 : Carte d'occupation du sol de la wilaya de Tébessa.....	7
Figure 4 : Réseau hydrographique des plaines de la région d'étude.....	9

Chapitre 2 :

Figure 5 : Variation des précipitations moyennes annuelles de la station de Tébessa (1982-2019).....	12
Figure 6 : Variation des précipitations moyennes mensuelles de la station de Tébessa (1982-2019).....	15
Figure 7 : Répartition saisonnière des précipitations (d'après infoclimat 1982-2019).....	16
Figure 8 : Variation du coefficient pluviométrique avec les précipitations annuelles (1982/2019).....	17
Figure 9 : Température mensuelle pour la station de Tébessa (1982-2019).....	18
Figure 10 : Evolution de température (moyennes annuelles, moyennes maximales annuelles, moyennes minimales annuelles) pour la station de Tébessa (1982-2019).....	19
Figure 11 : Diagramme Ombrothermique de la station de Tébessa (1982-2019).....	20
Figure 12 : Climagramme D'EMBERGER de la station de Tébessa (1982-2019).....	21
Figure 13 : Diagramme de l'humidité du sol par la méthode d'EUVERTE station de Tébessa (1982/2019).....	24
Figure 14 : Table permettant d'obtenir la valeur de coefficient d'ajustement k.....	27

Chapitre 3 :

Figure 15 : Evolution des écarts à la moyenne des précipitations annuelles (1982-2019).....	37
Figure 16 : Tendance de la précipitation moyenne annuelle à la station de Tébessa (1982-2019).....	39
Figure 17 : Tendance des pluies maximales journalières à la station de Tébessa (1982-2019).....	39
Figure 18 : Tendance de nombre de jour de pluie à la station de Tébessa (1982-2019).....	40
Figure 19 : Tendance de la lame d'eau moyenne précipitée par jour de pluie (1982-2019).....	40
Figure 20 : Tendance du nombre de jours avec des précipitations ≥ 1 mm à Tébessa.....	41
Figure 21 : Tendance du nombre de jours avec des précipitations ≥ 5 mm à Tébessa.....	41
Figure 22 : Tendance du nombre de jours avec des précipitations ≥ 10 mm à Tébessa.....	41
Figure 23 : Tendance du nombre de jours avec des précipitations ≥ 15 mm à Tébessa.....	42
Figure 24 : Tendance du nombre de jours avec des précipitations ≥ 20 mm à Tébessa.....	42
Figure 25 : Probabilité de non dépassement des pluies journalières Maximales station de Tébessa.....	43

Chapitre 2 :

Tableau 1 : Caractéristiques de station pluviométrique de Tébessa
(source web : Infoclimat).....12

Tableau 2 : L'année la plus pluvieuse et sèche de la station de Tébessa.....13

Tableau 3 : Régimes pluviométriques du monde (Tiré de Champoux, Toutant, 1988).....13

Tableau 4 : Précipitations moyennes mensuelles de la station de Tébessa
(d'après infoclimat 1982-2019).....14

Tableau 5 : Précipitation moyenne saisonnière (d'après infoclimat 1982-2019).....15

Tableau 6 : Répartition moyenne mensuelle de température à la station de Tébessa
(1982-2019).....18

Tableau 7 : Données du diagramme ombrothermique de Gaussen
de station de Tébessa (1982-2019).....19

Tableau 8 : Données du climagramme D'EMBERGER de Tébessa (1982-2019).....21

Tableau 9 : Coefficient pluviométrique de la région de Tébessa.....23

Tableau 10 : Rapports P/T mensuelles de station de Tébessa (1982-2019).....24

Tableau 11 : Valeurs de l'évapotranspiration potentielle de la région de Tébessa
(1982-2019).....27

Tableau 12 : Bilan hydrique de la région de Tébessa (1982 – 2019).....30

Chapitre 3 :

Tableau 13 : Liste des indices utilisés dans l'analyse des événements extrêmes.....35

Tableau 14 : Caractéristiques des précipitations à la station météorologique
de Tébessa (PTOT, PJ, SDII, Px1J, P1, P5, P10, P15, P20)
Moyennes ± écart-type calculées sur la période 1994-2018.....38

Liste des abréviations :

APS. Algérie Presse Service.

BH. Bilan Hydrique.

Cm. Centimètres.

DA. Déficit Agricole.

DD. Degrés Décimaux.

E. Est.

ETP. Évapotranspiration Potentielle.

ETR. Évapotranspiration Réel.

EX. Excédent.

I. Infiltration.

IMFREX. Impact des changements anthropiques sur la fréquence des phénomènes extrêmes de vent, de température et de précipitation.

JP. Jour de Pluie.

Km². Kilomètre.

M. Mètre.

Max. Maximum.

Min. Minimum.

Mm. Millimètre.

N. Nord.

P. Précipitation.

PTOT. Pluviométrie Total.

Px1J. Précipitation maximale Journalière.

R. Ruissèlements.

RFU. Réserve Facilement Utilisable.

RU. Réserve Utile.

SDII. Simple Day Intensity Index.

T. Température.

°C. Degrée Celsius.

°K. Degrée Kelvin.

Table de matière :

Table de matière :

page :

Dédicaces et remerciements

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

1. Introduction.....	2
2. Chapitre 1 : présentation de la région d'étude.....	4
2.1. Situation géographique.....	5
2.2. Le relief.....	6
2.2.1. Au nord.....	6
2.2.2. Au sud.....	6
2.3. Le climat.....	7
2.4. Hydrographie.....	8
2.4.1. Tébessa Hammamet.....	10
2.4.2. El Ma el Abiod.....	10
2.4.3. Chreia.....	10
2.5. Conclusion.....	10
3. Chapitre 2 : étude climatique.....	11
3.1. Précipitation.....	12
3.1.1. Précipitation moyenne annuelle.....	12
3.1.2. Régime pluviométrique de la région de Tébessa.....	13
3.1.3. Précipitation moyenne mensuelle.....	14
3.1.4. Précipitation moyenne saisonnière.....	15
3.2. Coefficient pluviométrique.....	16
3.3. La neige.....	17
3.4. La température.....	17
3.4.1. Température moyenne mensuelle.....	17
3.4.2. Température moyenne annuelle.....	19

3.5. Diagramme Ombrothermique de Gaussen.....	19
3.6. Détermination de type de climat.....	20
3.6.1. Climagramme d'Emberger.....	20
3.6.2. L'indice d'aridité de Martonne.....	22
3.6.3. Continentalité pluvial moyenne.....	22
3.7. Humidité du sol : méthode d'Euverte.....	24
3.8. Le vent.....	25
3.9. L'humidité.....	25
3.10. Les paramètres du bilan hydrique.....	25
3.10.1. L'évapotranspiration potentielle.....	25
3.10.2. L'évapotranspiration réelle.....	28
3.10.3. Ruissèlement.....	28
3.10.4. Infiltration.....	29
3.10.5. Bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite.....	29
3.10.6. Interprétation de résultats du bilan hydrique.....	31
3.10.7. Conclusion.....	32
4. Chapitre 3 : analyse statistique.....	33
4.1. Matériels et méthodes.....	34
4.1.1. Analyse des données pluviométrique annuelles et quotidiennes.....	34
4.1.2. Détermination de la saison des pluies : début, fin et longueur.....	36
4.1.3. Caractérisation des périodes de retour (loi de Gumbel).....	36
4.2. Résultats.....	37
4.2.1. L'écart a la moyenne des précipitations annuelles.....	37
4.2.2. Tendances des indices pluviométriques.....	39
4.2.3. Estimation de la récurrence des évènements pluvieux a Tébessa.....	42
4.3. Discussion.....	45
4.4. Conclusion.....	46
5. Conclusion général.....	47
6. Références bibliographiques.....	49

Introduction :

1. Introduction :

Suite à l'évolution des changements climatiques, les tempêtes, les inondations et la sécheresse sont plus fréquentes. Tous ces signes traduisent l'accélération d'un changement climatique, appelé aussi réchauffement global ou planétaire. Ce dernier est devenu un problème qui occupe le monde actuel et qui inquiète les hydrologues et les climatologues qui craignent des conséquences désastreuses sur la vie de l'être humain et l'environnement.

La définition des extrêmes est inhérente au choix de la méthode utilisée pour en calculer l'évolution. L'impact ainsi estimé des changements climatiques sur les événements extrêmes dépend donc aussi de la méthodologie employée pour le caractériser. L'impact des changements climatiques sur les événements extrêmes de précipitations est très difficile à évaluer à partir des simulations de scénarios de changement climatique. En effet, lorsque ces événements sont d'origine convective, ils se situent à une échelle non résolue par les modèles. Lorsqu'ils sont associés à des passages répétés de perturbations à nos latitudes, leur représentation dépend de l'aptitude des modèles à reproduire l'occurrence des régimes de temps associés. Une première méthode, mise en application par Kharin et Zwiers (Kharin V.V., Zwiers F.W., 2000), consiste à définir les extrêmes à partir de l'ajustement des paramètres de lois statistiques de distribution des événements extrêmes sur les résultats des simulations pour différentes périodes d'une vingtaine d'années. Une autre méthode de détermination de l'évolution des extrêmes consiste à définir ces événements à partir d'une estimation de l'écart type de la distribution des précipitations du climat actuel. Cette méthode a été mise en application par Palmer et Räisänen (PALMER T.N., RÄISÄNEN J., 2002). Une troisième méthode a également été récemment mise en œuvre dans le cadre du projet IMFREX (Impact des changements anthropiques sur la fréquence des phénomènes extrêmes de vent, de température et de précipitation). Cette méthode consiste à corriger les distributions des intensités des pluies simulées par comparaison avec les distributions des intensités de pluie observées (Comptes Rendus Geoscience 2005).

La variabilité climatique et ses conséquences sur les systèmes biologiques et les sociétés humaines posent aujourd'hui de sérieux problèmes de sécurité. Les variabilités climatiques actuelles signes des changements climatiques se caractérisent par de longues périodes de sécheresse et d'inondation avec pour conséquences des effets négatifs sur le cycle hydrologique, l'environnement et les activités socio-économiques (GIEC., 2007). Le réchauffement climatique que connaît le monde actuellement est à l'origine de

l'accroissement des phénomènes extrêmes responsables des risques hydro-climatiques dont les inondations, les glissements de terrains, les records de sécheresse etc. Ces risques devraient à l'avenir se multiplier et gagner en intensité avec des conséquences qui pourraient se révéler catastrophiques pour les sociétés humaines (GIEC., 2007). Parmi ces risques, les inondations représentent un danger pour les biens et les personnes dans la plupart des régions du globe.

Aujourd'hui, les inondations sont au rang de premier risque naturel dans le monde (FOUCHIER C., 2010). Le risque d'inondation est défini comme la combinaison de l'aléa et de la vulnérabilité (SALEY M.B., et al., 2005) L'inondation étant causé par des événements extrêmes par définition rares, il donc difficile de la prévenir et a le modéliser (FAO., 2007).

L'Algérie en particulier a connu durant son histoire de nombreuses périodes de sécheresses d'ampleur variable les sécheresses les plus sévères sont celles relevées durant les années 1980 à 1990 où le déficit pluviométrique a été estimé à 50% pour les régions du centre et de l'Ouest de l'Algérie. et à 30% à l'est. L'année 1988/1989 a été classée comme année sèche pour l'Algérie (Kettab A., Ait Mouhoub D., 2002). Cette sécheresse a eu un impact négatif sur le régime d'écoulement des oueds, sur l'alimentation de la nappe phréatique et sur le niveau de remplissage des barrages. Elle a été suivie par de nombreuses inondations qui ont été marquées sur tout le territoire algérien (BENAZZOUZ A., 2011). En Algérie, les inondations sont devenues de plus en plus complexes à gérer. En effet, la construction de nombreux ouvrages et aménagements, de même que l'installation de résidences permanentes sur les rives des cours d'eau, ont eu pour conséquence d'augmenter, ou du moins modifier, le risque face aux crues exceptionnelles.

L'objectif de cette étude est de connaître l'évolution des extrêmes pluviométriques dans un contexte de changement climatique.

- Le premier chapitre est une présentation de la zone d'étude.
- Le deuxième chapitre est une étude climatique sur un ensemble des données climatique d'une station météorologique de Tébessa.
- Finalement, le troisième chapitre s'intéresse à une caractérisation d'évolution des extrêmes pluviométriques à Tébessa par une analyse statistique des données.

Chapitre 1 :

2. chapitre 1 : présentation de la région d'étude

2.1. Situation géographique :

La Wilaya de Tébessa couvre une superficie de 13 878 km² et occupe une position stratégique en Extrême-Est algérien. Elle se caractérise par sa situation à la frontière des hauts plateaux orientaux du pays. C'est une ville carrefour à la jonction du désert et de la Tunisie. Géographiquement se situe entre 34 ° 15'N et 36 ° 00'N de latitude et 7 ° 15'E et 8 ° 30' E de longitude.

Elle est limitée : (figure 1)

- au nord : par la wilaya de Souk Ahras;
- au sud : par la wilaya d'El Oued;
- à l'est : par la Tunisie ;
- à l'ouest : par les wilayas d'Oum El Bouaghi et Khenchela.

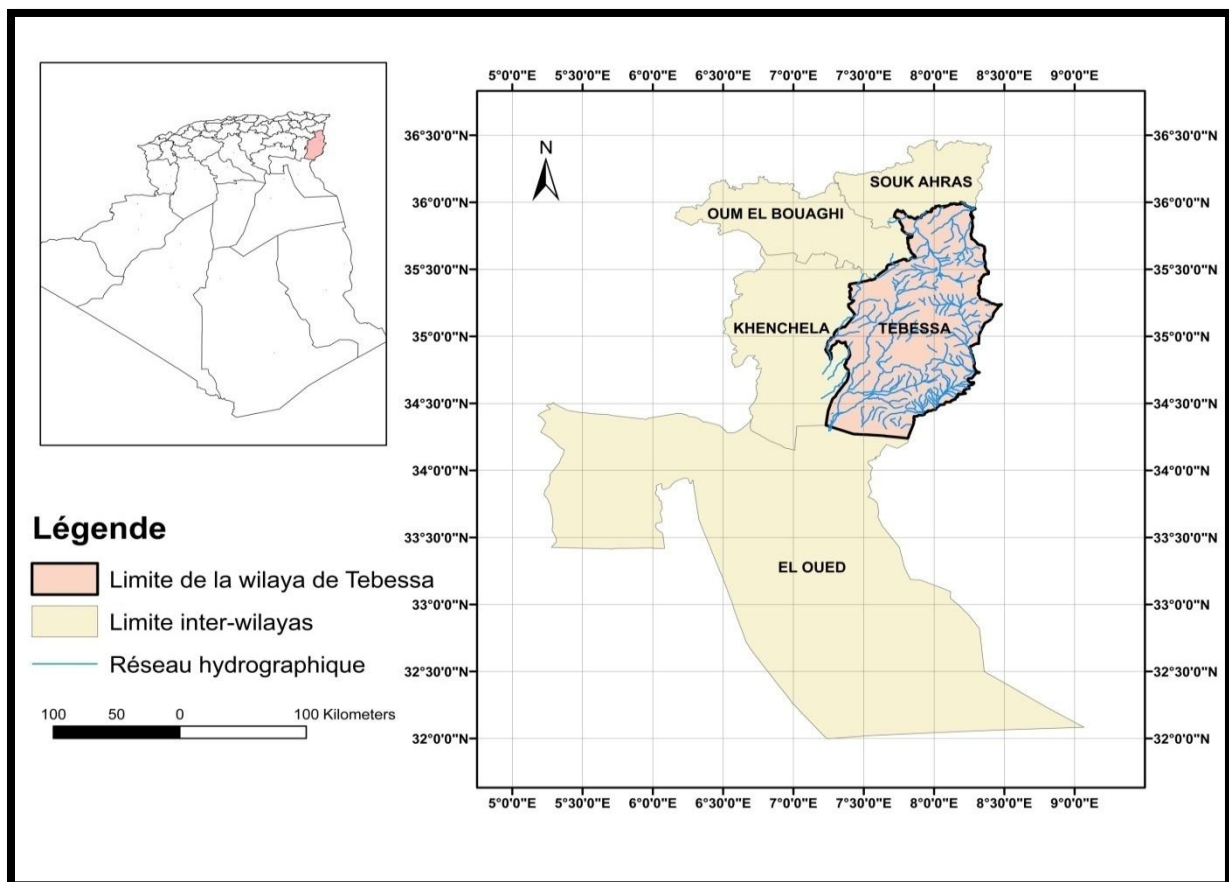


Figure 1 : Carte de situation géographique de la région du Tébessa.

2.2. Le relief :

Par sa situation géographique, La wilaya est constituée de deux zones géographiques :

2.2.1. Au Nord :

Le domaine Atlasique à structure plissée constitué par: Les Montagnes de Tébessa dont:

- Les Hauts plateaux qui offrent des paysages couverts d'une végétation steppique à base d'Alfa et d'Armoise (Plateau de Dermoun-Saf-Saf-El-Ouesra – Berzguen). (ANDI, 2013), ces plateaux d'altitudes entre 400m et 800 m comportent les communes d'Ouenza, Elouinet et El Meridj (Figure 3).
- Les Hautes plaines encaissées et encadrées par les reliefs décrits Précédemment, ce sont les plaines de Tébessa, Morsott, Mchentel, Bhiret-Larneb. (ANDI, 2013), d'après la carte de couverture du sol élaborée, la zone de Tébessa jusqu'à Cheréa caractérisées par des terres agricoles aménagées pour des cultures irriguées et non irriguées. avec des altitudes dépassent les 800 m atteignent 1800 à l'ouest de Cheréa.

2.2.2. Au Sud :

Le domaine saharien à structure tabulaire constitué par le Plateau saharien qui prend naissance au-delà de la flexure méridionale de L'Atlas saharien (Sud du Djebel –Onk, Djebel-Abiod). (ANDI, 2013), avec des altitudes inférieures à 400 m (Figure 2).

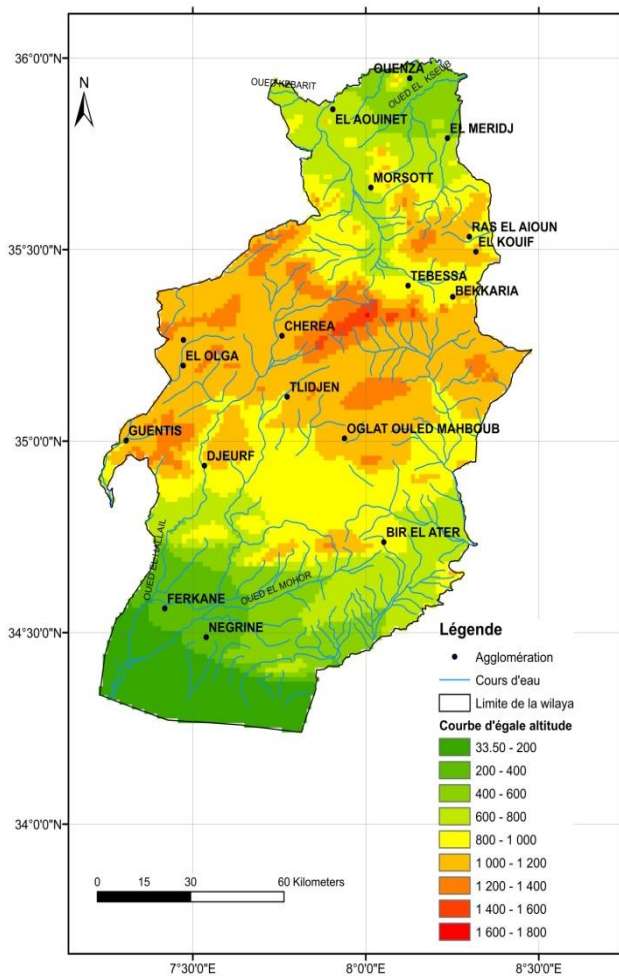


Figure 2 : Carte du relief de la wilaya de Tébessa.

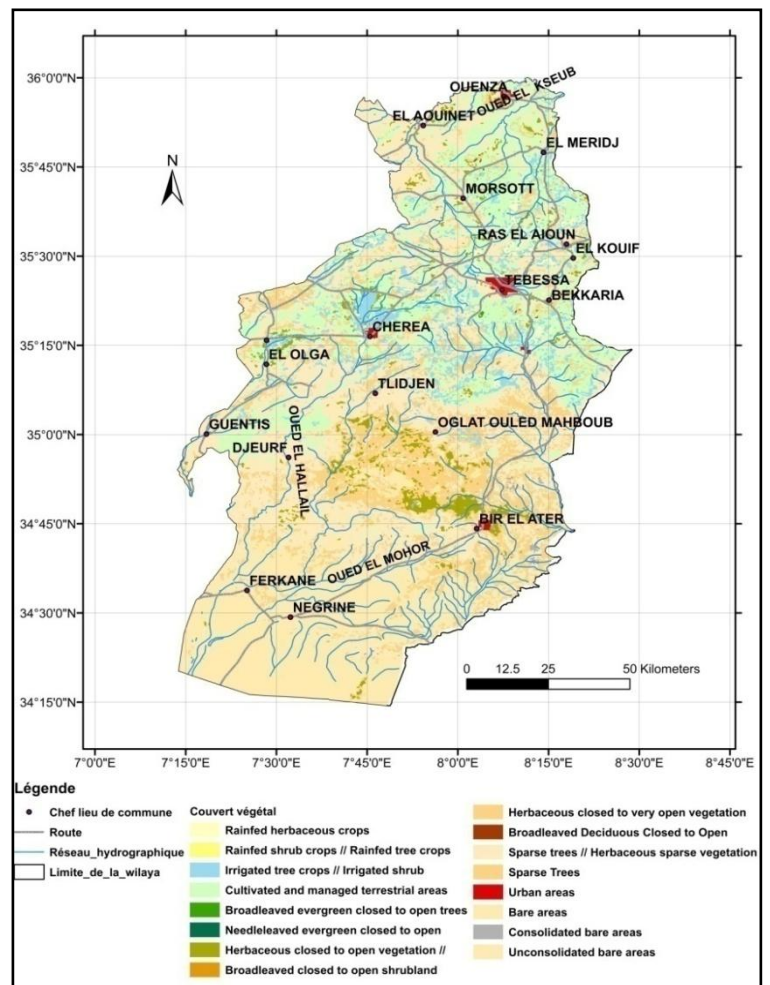


Figure 3 : Carte d'occupation du sol de la wilaya de Tébessa.

2.3. Le climat :

La Wilaya de Tébessa se distingue par quatre étages bioclimatiques (ANDI, 2013) :

- Le Subhumide (400 à 500 mm/an) très peu étendu il couvre que quelques Ilots limités aux sommets de quelques reliefs (Djebel-Serdies et Djebel-Bouroumane).
- Le Semi-aride (300 à 400 mm/an) représenté par les sous étages frais et Froid couvre toute la partie Nord de la Wilaya.
- Le Subaride (200 à 300 mm/an) couvre les plateaux steppiques de Oum-Ali – Saf-Saf-El-Oesra – Thlidjene et Bir El-Ater.

- L'Aride ou saharien doux (moins de 200 mm/an), commence et s'étend au-delà de L'Atlas saharien et couvre les plateaux de Negrine et Ferkane.

Ce qui ne permet pas une suffisance par l'alimentation à partir des réserves de surface surtout vue le manque - l'absence presque totale - d'ouvrages importants.

2.4. Hydrographie :

La wilaya de Tébessa est couverte par deux (02) grands systèmes hydrographiques :

- Le Bassin versant de Medjerda, lui-même subdivisé en 04 sous Bassins couvrant la partie Nord de la wilaya. L'écoulement y est exoréique assuré par une multitude de cours d'eau dont les plus importants sont: Oued Mellague, Oued Chabro, Oued Serdies, Oued Kebir. La plaine de Tébessa et la plaine de Hammamet en font partie.
- Le Bassin versant d'Oued Melghir, qui couvre la partie sud de la Wilaya. L'écoulement y est endoréique, il est drainé par Oued Cheria, Oued Helail, Oued Mechra, Oued Saf-Saf, Oued Gheznet, Oued Djarech, Oued sendess, qui aboutissent et alimentent les zones d'épandage situées au sud. Aucun ouvrage de mobilisation des eaux superficielles n'existe à l'heure actuelle. La plaine d'El Ma El Abiod et le plateau de Chéria en font partie. (site de wilaya de Tébessa).

La plaine de Tébessa est drainé par l'Oued Chabro à écoulement vers le nord, est considéré comme limite administrative pour plusieurs communes qui les traverse, il prend naissance à l'Est de la plaine entre El-Kouif (rive nord) et Bekkaria (rive sud), au centre il traverse entre la commune de Boulhaf Eddir (rive nord) et les communes de Tébessa, Hammamet et Bir D'hab (rive sud), il parcourt un long trajet pour atteindre son exutoire à la commune de El-Aouinet (BOUTERAA M., 2012).

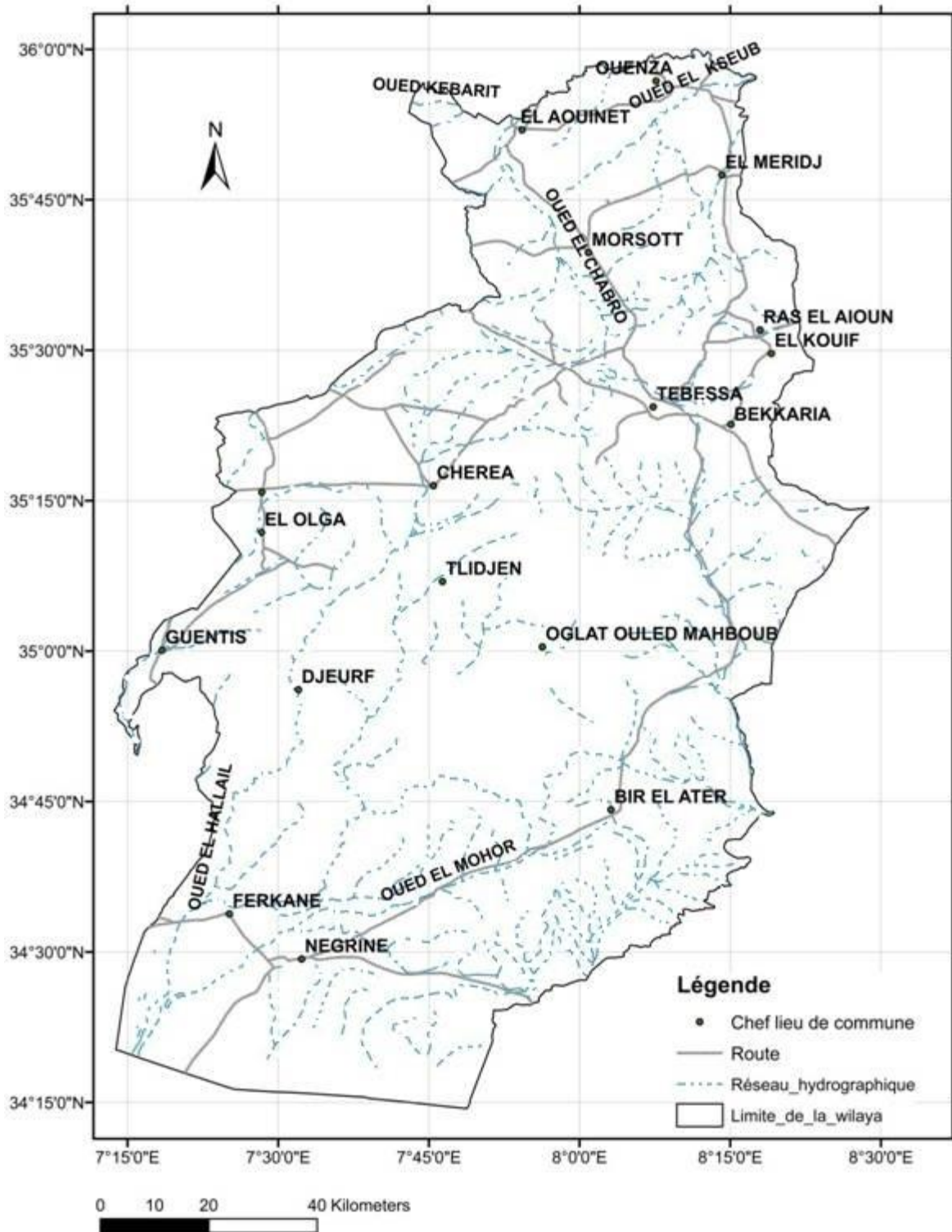


Figure 4 : Réseau hydrographique des plaines de la région d'étude.

Chaque plaine, appartient à un sous bassin versant différent, a par conséquent sa propre Ramification de réseau hydrologique.

2.4.1. Tébessa-Hammamet :

La plaine fait partie du bassin de Medjerda et du sous bassin de Mellague, elle est drainée par un certain nombre d'oueds dont les plus importants sont ceux de Chabro et Bouakous (SEGHIR K., 2008).

2.4.2. El Ma El Abiod :

La plaine alluviale d'El Ma El Abiod est drainée principalement par l'Oued Labiod, À écoulement pérenne intermittent du Nord vers le Sud. Tous les affluents ont un écoulement Temporaire très limité, à la suite de fortes précipitations. (ROUABHIA A., 2006)(ZEREG S., 2010).

2.4.3. Chéria :

Le plateau de Chéria est drainé par Oued Chéria à écoulement intermittent vers le Sud. Il est alimenté par un chevelu de chenaux qui prennent naissance des monts entourant la Plaine. (ZEREG S., 2010).

2.5. Conclusion :

Dans ce premier chapitre qui est consacré à la présentation de la zone d'étude, et en raison de manque d'information, on a été contraint d'élaborer quatre cartes : i) une première pour présenter la situation géographique de la Wilaya ; ii) une deuxième carte qui montre l'hypsométrie de la zone ; iii) la troisième pour présenter la couverture du sol et iv) la carte du chevelu hydrographique. L'examinassions de ces cartes mis en évidence l'ampleur des conséquences des inondations dans la zone en montrant que l'altitude est passée de 1800 m au centre de la Wilaya à moins de 50 m, la couverture terrestre au Sud diminue et le réseau hydrologique plus ou moins dense est propice au ruissellement et à l'érosion.

Chapitre 2 :

3. Chapitre 2 : étude climatique

3.1. Précipitations :

Ce chapitre présente l'analyse des paramètres climatiques a fin d'avoir une idée plus ou moins claire sur le climat, établir un bilan hydrologique et essayer de caractériser le climat de la région d'étude. Les données climatologiques utilisées dans cette étude pour caractériser le climat de la zone sont reprises de la station pluviométrique de Tébessa obtenues du Site web Infoclimat. Les coordonnées de cette station sont mentionnées dans le tableau suivant : **Tableau 1** : Caractéristiques de station pluviométrique de Tébessa (source web : Infoclimat).

Station	Latitude en DD (degrés décimaux)	Longitude en DD (degrés décimaux)	Altitude en mètre.
Tébessa	35.41	8.13	813m

3.1.1. Précipitations moyennes annuelles :

La précipitation moyenne annuelle établie sur un grand nombre d'année (hauteur moyenne des précipitations annuelles tombant à un endroit donné) est aussi appelée sa valeur normale, son module annuel ou sa valeur interannuelle.

Les données des précipitations moyennes annuelles dans le graphe (Figure 5) durant la période (1982-2019) pour la station de Tébessa. Avec un tableau (2) qui représente l'année la plus pluvieuse et sèche de la station.

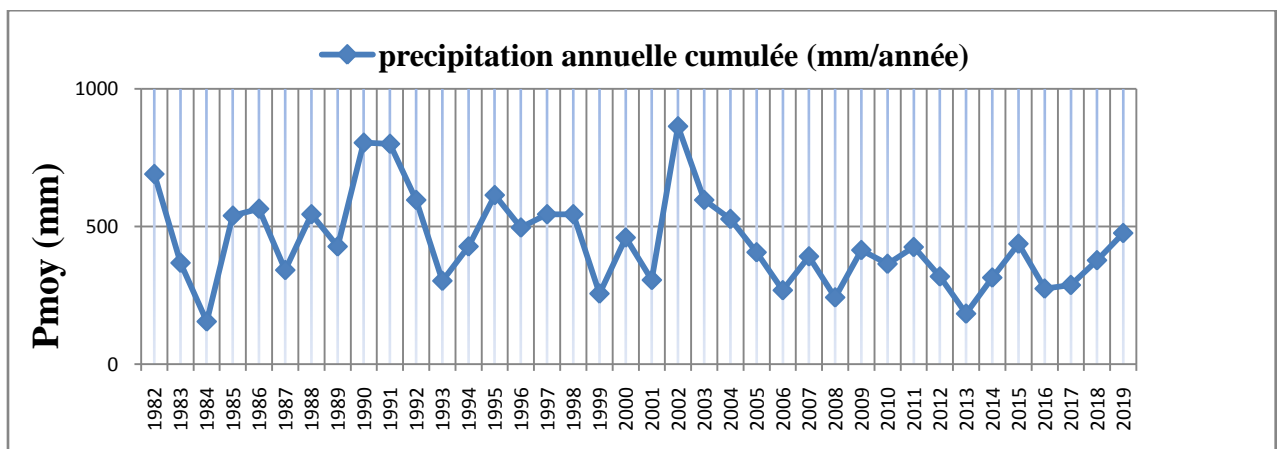


Figure 5 : Variation des précipitations moyennes annuelles de la station de Tébessa (1982-2019).

Tableau 2 : L'année la plus pluvieuse et sèche de la station de Tébessa

Station de Tébessa	Valeur de précipitation maximale	L'année la plus pluvieuse	Valeur de précipitation minimale	L'année la plus sèche	Moyenne
	863.6 mm	2002	154.5 mm	1984	445.73 mm

- Pour les différents périodes, on remarque une variabilité des apports annuels des précipitations, la grande valeur de pluviosité annuelle dans la station de Tébessa est enregistrée en 2002 avec une valeur égale a 863.6 mm, et la plus petite valeur enregistrée en 1984 avec des précipitations de 154.5 mm. La pluie moyenne interannuelle est de l'ordre de 445.73mm.

3.1.2. Régimes pluviométriques de la région de Tébessa :

On utilise la valeur de précipitation moyenne annuelle pour contre le régime par la classification suivante (tableau 3) :

Tableau 3 : Régimes pluviométriques du monde (Tiré de Champoux, Toutant, 1988).

Nom	Caractéristiques
Régime équatorial humide	- plus de 200 cm de précipitations annuelles moyennes. - à l'intérieur des continents et sur les côtes. - région typique de ce régime : bassin de l'Amazone.
Régime subtropical humide en Amérique	- entre 100 et 150 cm de précipitation annuelle moyenne. - à l'intérieur des continents et sur les côtes. - région typique de ce régime : pointe sud-est de l'Amérique du Nord.
Régime subtropical sec	- moins de 25 cm de précipitation annuelle moyenne. - à l'intérieur des continents et sur les côtes ouest. - région typique de ce régime : le sud du Maghreb.

Régime intertropical sous l'influence des alizés	<ul style="list-style-type: none"> - plus de 150 cm de précipitation annuelle moyenne. - sur des zones côtières étroites ; humidité. - région typique de ce régime : côtes est de l'Amérique centrale.
Régime continental tempéré	<ul style="list-style-type: none"> - entre 10 et 50 cm de précipitation annuelle moyenne - à l'intérieur des continents ; il en résulte des déserts ou des steppes - région typique de ce régime : plaines de l'ouest du continent nord-américain
Régime océanique tempéré	<ul style="list-style-type: none"> - plus de 100 cm de précipitation annuelle moyenne. - sur les côtes ouest des continents. - région typique de ce régime : la Colombie britannique, l'Europe.
Régime polaire et arctique	<ul style="list-style-type: none"> - moins de 30 cm de précipitation annuelle moyenne. - se situe au nord du 60e parallèle ; formation de grands déserts froids. - région typique de ce régime : le Grand Nord canadien.

- On a une valeur de précipitation moyenne annuelle entre 10 et 50 cm donc le régime c'est un régime continental tempéré.

3.1.3. Précipitations moyennes mensuelles :

Les données des précipitations mensuelles sur la période (1982-2019) recueillies à la station de Tébessa ont permis de calculer les modules pluviométriques mensuels présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4 : Précipitations moyennes mensuelles de la station de Tébessa (d'après infoclimat 1982-2019).

mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
valeur	31.7	27.1	42.6	39.2	51.5	43.2	19	36.5	52.1	45.2	40.2	36.1

- Ce tableau montre la variation des précipitations d'un mois à l'autre des moyennes mensuelles des hauteurs pluviométriques enregistrées dans la station de Tébessa. Avec

un maximum de l'ordre de 52.1 mm qui s'observe au mois de septembre, et un minimum de l'ordre de 19 mm qui s'observe au mois de juillet. Nous pouvons mieux voir cela grâce au graphe suivant :

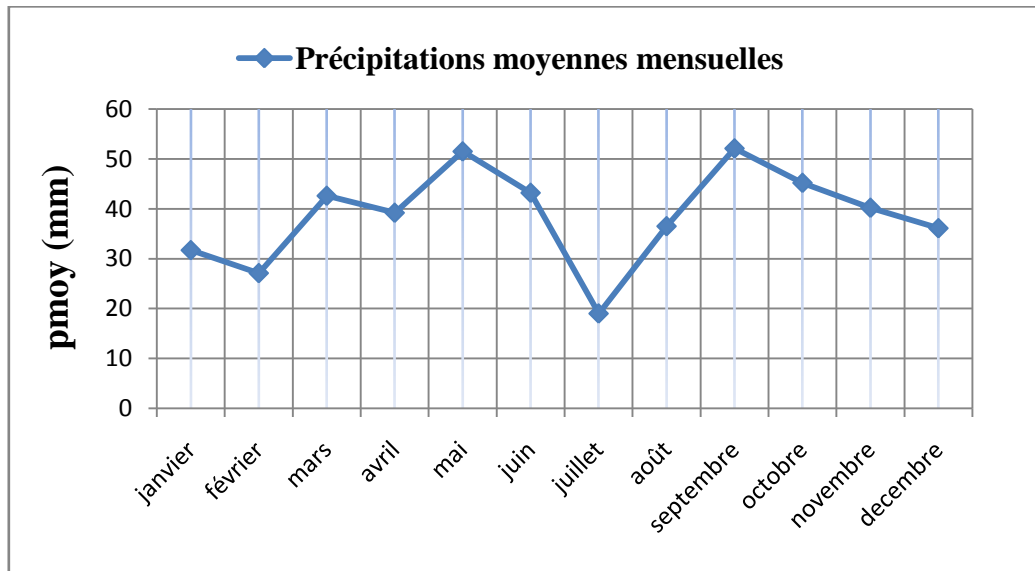


Figure 6 : Variation des précipitations moyennes mensuelles de la station de Tébessa (1982-2019).

3.1.4. Précipitation moyenne saisonnière :

La subdivision des pluies de l'année pour chaque saison est faite suivant les saisons agricoles (automne : S O N/ l'hiver : D J F/ printemps : M A M/ été : J J A).

Tableau 5 : Précipitation moyenne saisonnière (d'après infoclimat 1982-2019).

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Été		
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Station	mm		%	mm		%	mm		%	mm		%
TEBESSA	137.5		29.61	94.9		20.44	133.3		28.7	98.7		21.25

La répartition mensuelle des précipitations dans l'année et ses variations conditionnent, en relation avec les facteurs thermiques, l'écoulement saisonnier et par là même le régime des cours d'eau, l'érodabilité des sols et le transport des matériaux en suspension (BOUANANI A ., 2005).

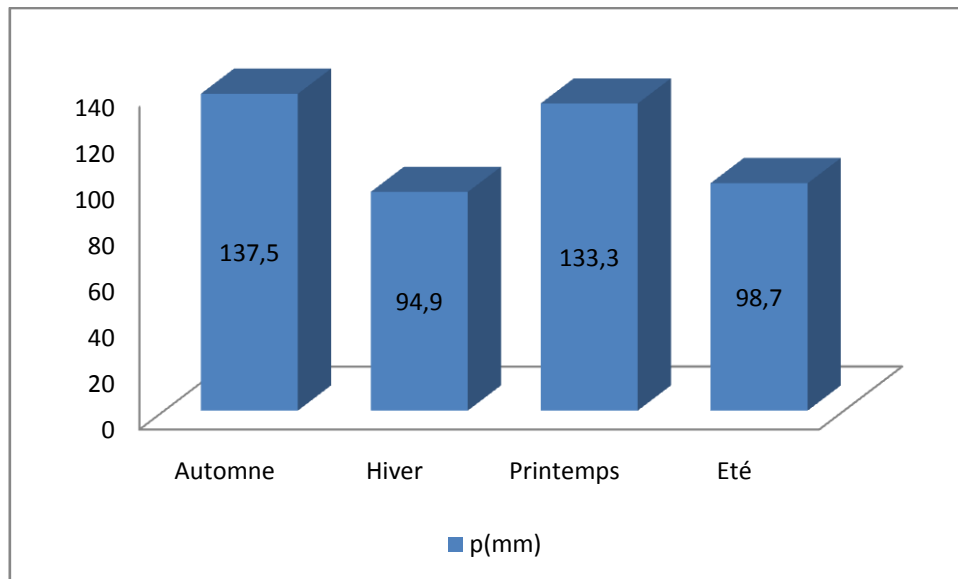


Figure 7 : Répartition saisonnière des précipitations (d’après infoclimat 1982-2019).

- Une forte précipitation saisonnière est enregistrée pendant l’automne et le printemps avec une valeur de 137.5 mm et 133.3 mm qui représente 29.61% et 28.7%.
- Une faible précipitation saisonnière est enregistrée pendant l’hiver et l’été avec une valeur de 94.9 mm et 98.7 mm qui représente 20.44% et 21.25%.

3.2. Coefficient pluviométrique (H) :

Ce coefficient permet de déterminer pour une station donnée si l’année est excédentaire ou déficitaire, il est défini par le rapport de la pluviométrie P d’une année à la pluviométrie moyenne \bar{P} pour une période de n années :

$$\text{Avec : } H = \frac{P}{\bar{P}}$$

H : Coefficient pluviométrique.

P : Hauteur annuelle des pluies en mm.

\bar{P} : Pluviométrie moyenne en mm.

L’année est d’autant plus excédentaire lorsque que H est supérieur à l’unité ($H > 1$) et si ($H < 1$) l’année est dite déficitaire. Dans notre cas : $\bar{P} = 445.73\text{mm}$.

La figure ci-dessous montre les variations de H au cours des années d’observation :

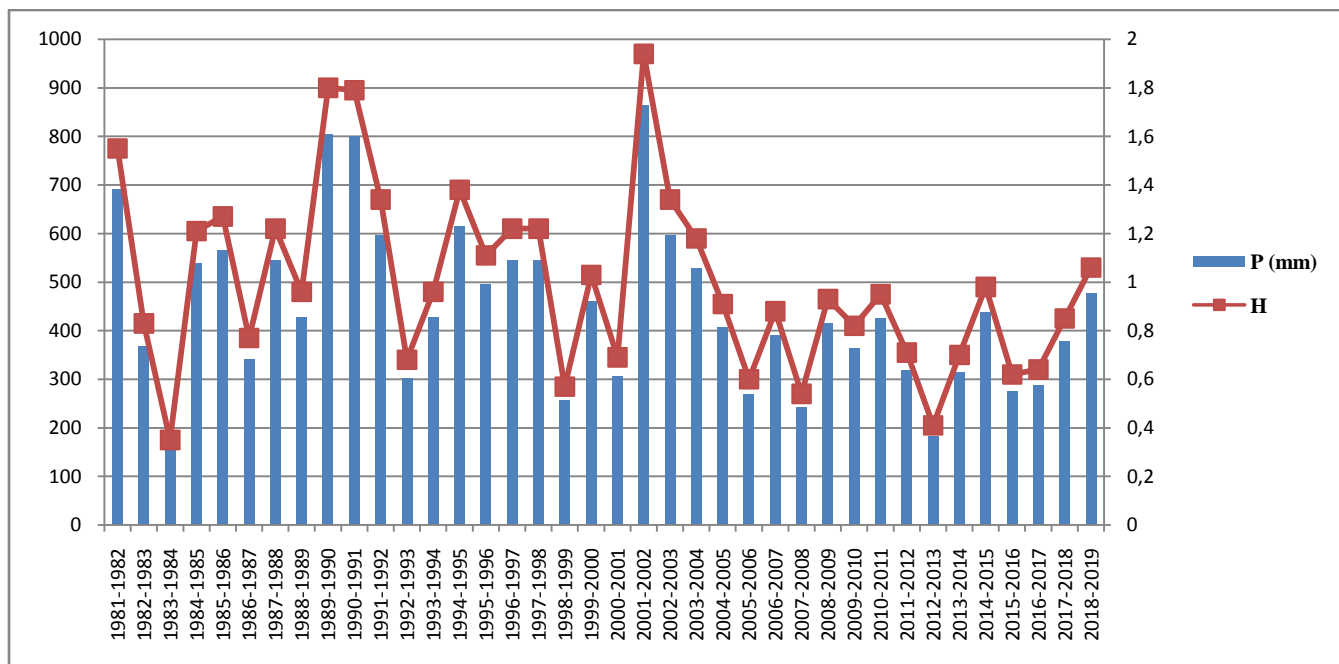


Figure 8 : Variation du coefficient pluviométrique avec les précipitations annuelles (1982/2019).

D'après la figure 8, on remarque que l'année 1983/1984 est la plus sèche ; alors que l'année la plus arrosée c'est l'année 2001/2002.

3.3. La neige :

Les montagnes de bordure et en particulier Djebel Doukane, Mestiri et Tazbent et leur prolongement reçoivent en hiver des précipitations neigeuses qui peuvent être importantes. Les premières neiges font leur apparition à partir du mois de janvier et les dernières à la fin du mois de mars.

D'après P.Seltzer la région se situe dans la zone d'enneigement moyen au sol de 5 à 10 jours par an. Ce phénomène a un rôle important si l'on considère la superficie des montagnes bordant la région de Youkous les bains. Les précipitations neigeuses suivies par une lente fonte favorisant au maximum l'infiltration d'ailleurs. Les débits des exurgences de Youkous sont fortement influencés (GHALMI S., 2012).

3.4. La température

3.4.1. Température moyenne mensuelle :

Le paramètre de la température est indispensable à la climatologie et fortement influencer par le changement climatique, vu qu'il rend compte de son apport d'énergie à la végétation,

de son pouvoir évaporateur. Elle joue un rôle très important pour la détermination du bilan hydrique, et enfin, qu'il est à l'origine du bon fonctionnement du cycle de l'eau.

Tableau 6 : Répartition moyenne mensuelle de température à la station de Tébessa (1982-2019).

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Valeur minimale	2	2.5	4.6	7.4	11.4	15.8	18.5	18.4	15.4	11.3	6.6	3.2
Valeur maximale	12.2	13.5	16.7	20.8	26	31.7	35.5	34.6	29.2	23.4	17.4	13.1
Valeur moyenne	7	7.9	10.6	14	18.7	23.7	26.9	26.5	22.3	17.8	12	8.1

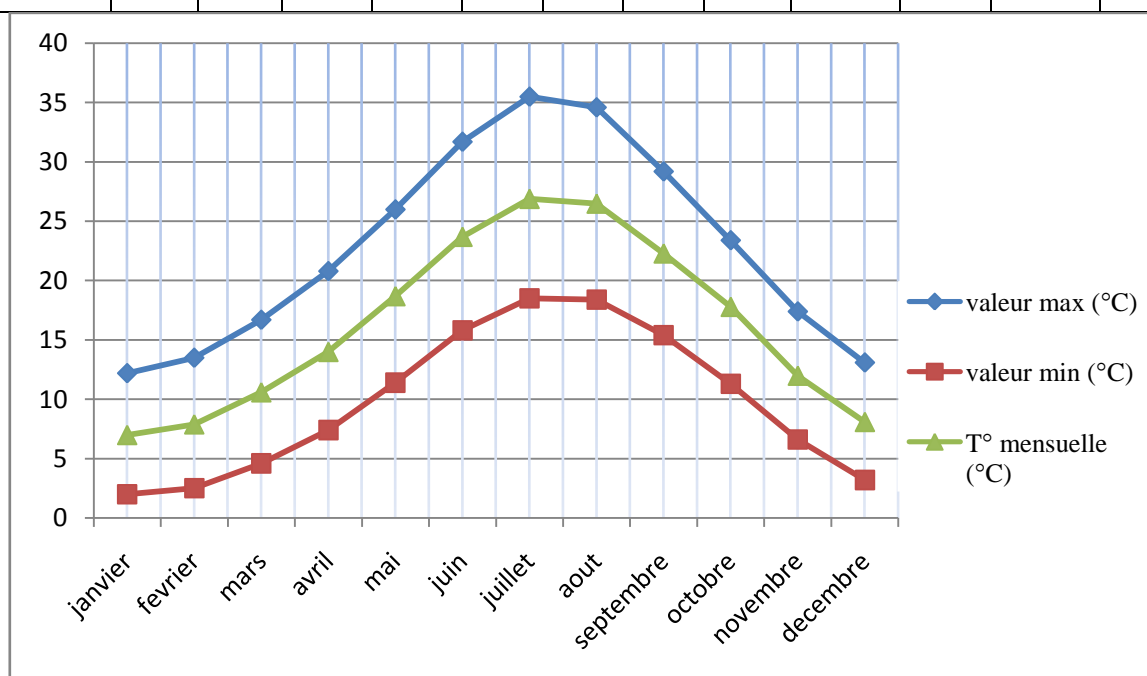


Figure 9 : Température mensuelle pour la station de Tébessa (1982-2019).

La figure 9, indique la répartition moyenne mensuelle de la température, et montre que :

- Le mois le plus froid est le mois de janvier avec valeur de 7 °C.
- Le mois le plus chaud est celui de juillet avec une température moyenne mensuelle de 26.9 °C.
- La température moyenne annuelle de cette période (1982-2019) est de 16.29 °C.

3.4.2. Température moyenne annuelle :

D'après la figure 10 suivante nous montrent que l'année la plus chaude est l'année 2001 avec une valeur maximale de 17.3 °C, et l'année la plus froide est celle de 2009 avec une valeur minimale de 15.4 °C.

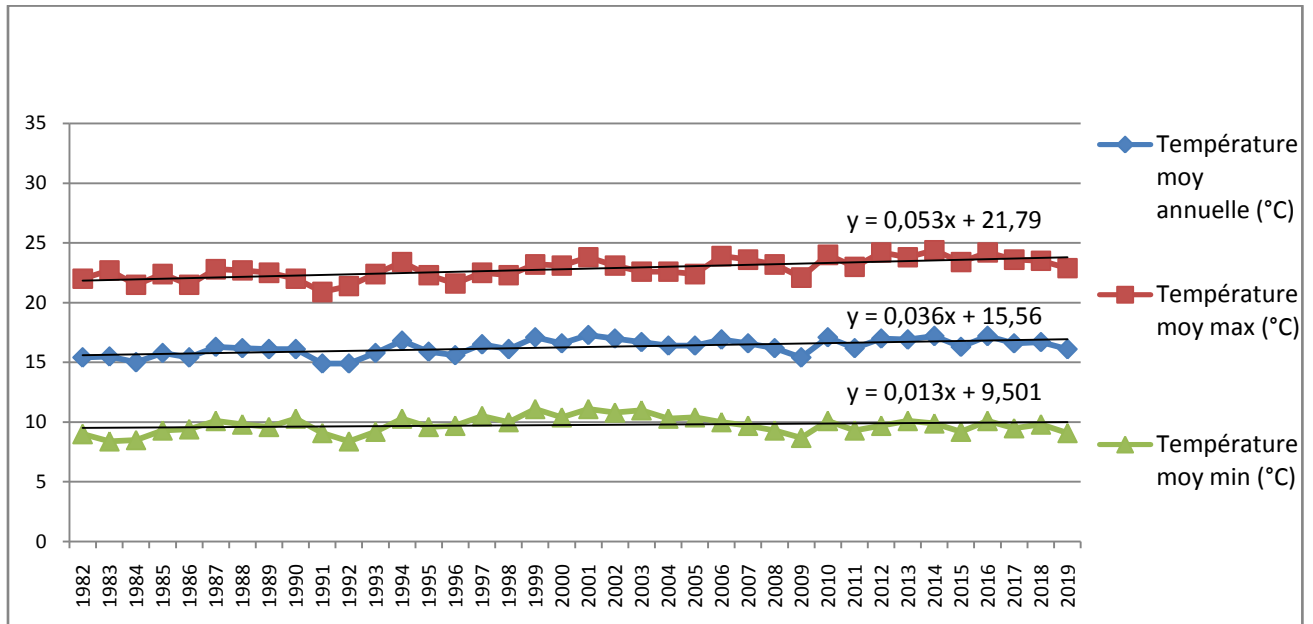


Figure 10 : Evolution de température (moyennes annuelles, moyennes maximales annuelles, moyennes minimales annuelles) pour la station de Tébessa (1982-2019).

3.5. Diagramme Ombro-Thermique de GAUSSEN :

Il permet de déterminer les périodes humides ou seches, par un total pluviométrique (moyenne en millimètres). Et la température moyenne mensuelle (°C).

Tableau 7 : Données du diagramme ombrothermique de Gaussien de station de Tébessa (1982-2019).

mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
P (mm)	31.7	27.1	42.6	39.2	51.5	43.2	19	36.5	52.1	45.2	40.2	36.1
T (°C)	7	7.9	10.6	14	18.7	23.7	26.9	26.5	22.3	17.8	12	8.1

D'après le diagramme ombrothermique de Gaussien de la région de Tébessa (figure 11) il y a deux périodes :

- Une saison humide et pluvieuse au début du mois de Septembre jusqu'au la fin du mois de Mai.
- Une saison sèche au début du mois de Juin jusqu' au la fin du mois d'Aout.

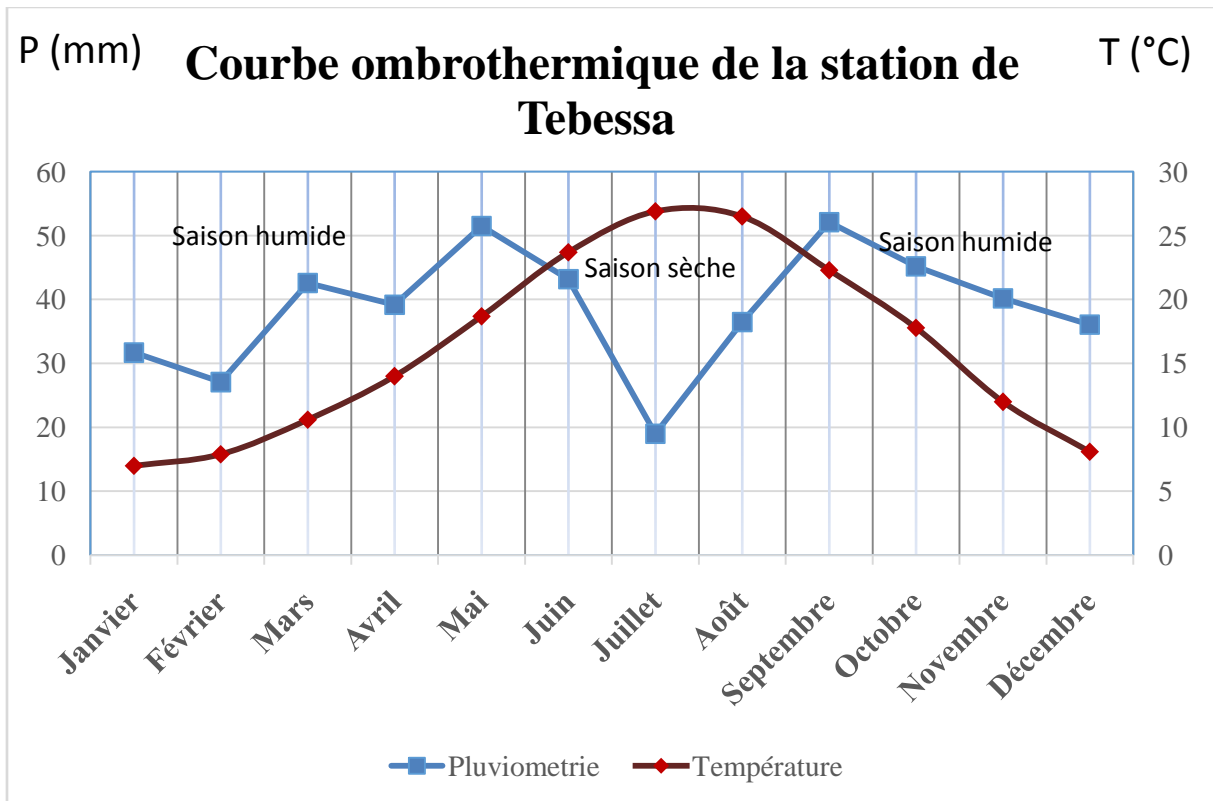


Figure 11 : Diagramme Ombrothermique de la station de Tébéssa (1982-2019).

3.6. Détermination du type du climat :

3.6.1. Climagramme D'EMBERGER :

On utilise le climagramme d'Emberger pour connaître le type de climat de la zone d'étude dans notre cas Tebessa, dans la quelle il est comporté en ordonnées les valeurs de Q_2 données

par la relation suivante : $Q_2 = 2000 \frac{P}{(M^2 - m^2)}$

Avec :

P : La précipitation moyenne annuelle en (mm).

M : La température maximum du mois le plus chaud en degré kelvin (°K).

m : La température minimum du mois le plus froid en degré kelvin (°K).

NOTE : $T (^{\circ}\text{K}) = T (^{\circ}\text{C}) + 273,15$

Tableau 8 : Données du climagramme D'EMBERGER de Tébessa (1982-2019).

Station	P (mm)	Température maximale		Température minimale		Q ₂
		°C	°K	°C	°K	
Tébessa	445.73 mm	35.5	308.45	2	275.15	45.87

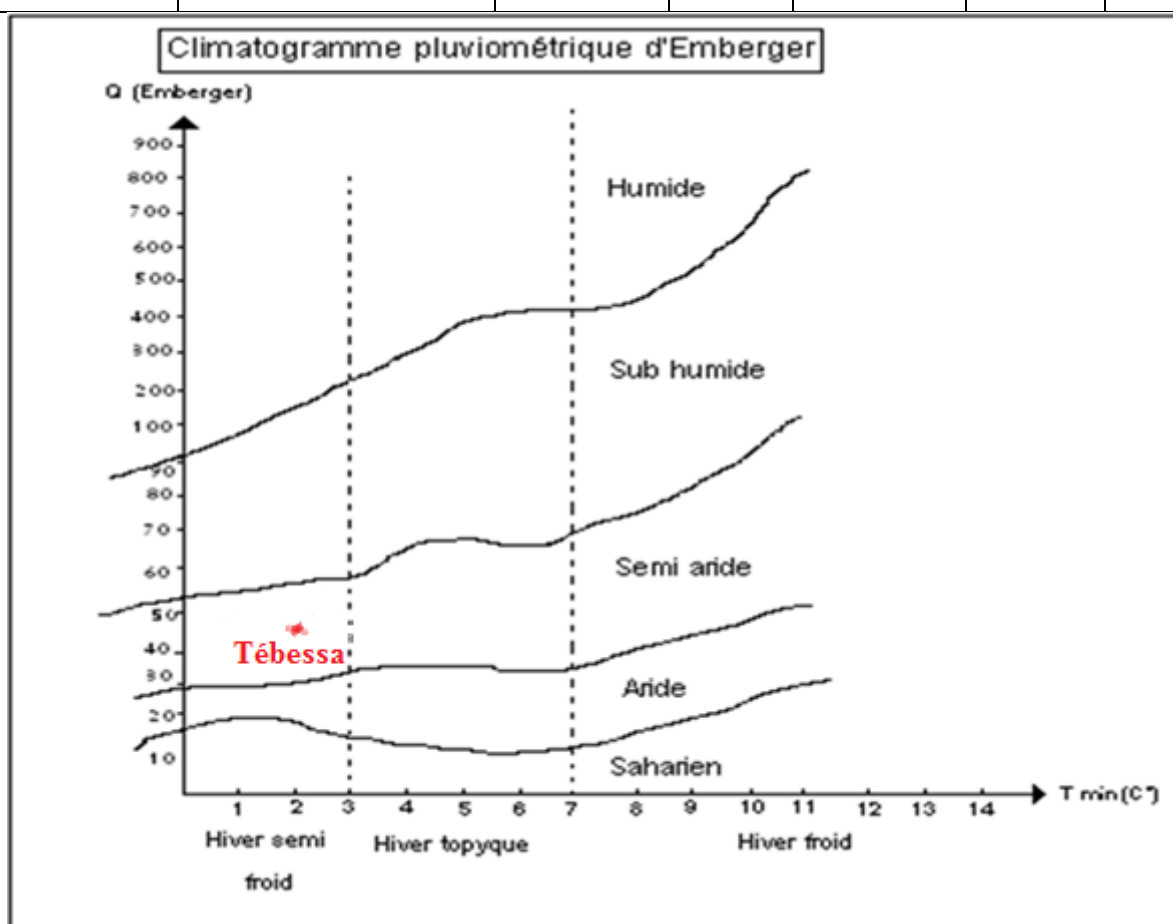


Figure 12 : Climatogramme D'EMBERGER de la station de Tébessa (1982-2019).

Le climatogramme d'EMBERGER de la station de Tébessa a la période de 1982-2019 indique que la région de Tébessa appartient à l'étage bioclimatique semi-aride à Hiver semi-froid frais.

3.6.2. L'indice D'aridité de MARTONNE :

Pour la détermination du type de climat, E. De Martonne a proposé une formule climatologique appelée indice d'aridité qui est fonction de la température moyenne annuelle et une faible pluviométrie présent à un endroit donné :

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

Avec : I : L'indice d'aridité

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

T : Température moyenne annuelle (°C).

Dans le cas de notre région : I = 16.95 tel que : P = 445.73 mm et T = 16.29 °C.

Selon De Martonne :

- I < 5 : le climat est hyper aride.
- 5 < I < 7.5 : le climat est désertique.
- 7.5 < I < 10 : le climat est steppique.
- 10 < I < 20 : le climat est semi-aride.
- 20 < I < 30 : le climat est tempéré.
- I > 30 : le climat est humide (écoulement abondant).

Les résultats de l'indice d'aridité trouvés pour la station de Tébessa montrent que le climat de notre zone d'étude est de types semi-aride.

3.6.3. Continentalité pluviale moyenne :

La continentalité pluviale moyenne permet de définir le type de climat continental, elle s'exprime par le rapport (R) de la somme des coefficients pluviométriques relatifs mensuels des mois les plus chauds et la somme des mois les plus froids, on a alors la classification

Suivante : Si : $1 < R < 1.75$: climat semi continentale.

$R < 1$: climat continentale.

- CALCULS DES COEFFICIETS PLUVIOMETRIQUES :

$$C_p = 365P_i / P_{ni}$$

Avec : P : précipitations moyenne mensuelles en mm.

Pi : précipitation du mois de rang en mm.

ni : nombre de jours du mois.

Cp : exprime le caractère plus au moins pluvieux du mois considéré dans l'ensemble de l'année.

$$Cp = 365/ni * Pi / P = KPi/P \quad \Rightarrow \quad Cp = KPi/P$$

Où: K : c'est le coefficient dépendant du nombre de jours du mois considéré.

Si ni= 31 jours K=365/31=11.77.

Si ni= 30 jours K= 365/30=12.16.

Pour le mois de février 28 jours chaque 3 ans, et une fois 29 jours.

$$K = 365/(28*3+29)^{1/4} = 12.92$$

Pour la station de Tébessa : P = 445.73 mm.

Tableau 9 : Coefficient pluviométrique de la région de Tébessa.

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
K	11.77	12.92	11.77	12.16	11.77	12.16	11.77	11.77	12.16	11.77	12.16	11.77
Pi	31.7	27.1	42.6	39.2	51.5	43.2	19	36.5	52.1	45.2	40.2	36.1
KPi	373.11	350.13	501.4	476.67	606.16	525.31	223.63	429.61	633.54	532	488.83	424.9
Cp	0.84	0.79	1.12	1.07	1.36	1.18	0.5	0.96	1.42	1.19	1.1	0.95

$$Cp \text{ (mois froids)} = 0.84 + 0.79 + 1.12 + 1.07 + 1.1 + 0.95 = 5.87$$

$$Cp \text{ (mois chauds)} = 1.36 + 1.18 + 0.5 + 0.96 + 1.42 + 1.19 = 6.61$$

$$R = 6.61/5.87 = 1.13$$

D'après la classification ci dessus on peut dire que le climat de cette région est de type Semi continentale.

3.7. Humidité de sol : méthode d'EUVERTE :

C'est un indicateur climatique utilisé pour déterminer l'évolution de l'humidité de sol, calculé par le rapport des précipitations moyennes mensuelle et la température moyenne mensuelle P/T.

- Si : $P/T < 1$: Régime très sec.
 $1 < P/T < 2$: Régime sec.
 $2 < P/T < 3$: Régime subhumide.
 $P/T > 3$: Régime humide.

Tableau 10 : Rapports P/T mensuelles de station de Tébessa (1982-2019).

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
P (mm)	31.7	27.1	42.6	39.2	51.5	43.2	19	36.5	52.1	45.2	40.2	36.1
T (°C)	7	7.9	10.6	14	18.7	23.7	26.9	26.5	22.3	17.8	12	8.1
P/T	4.53	3.43	4.02	2.8	2.75	1.82	0.71	1.38	2.34	2.54	3.35	4.46
Régime	humide	humide	humide	subhumide	subhumide	sec	très sec	sec	subhumide	subhumide	humide	humide

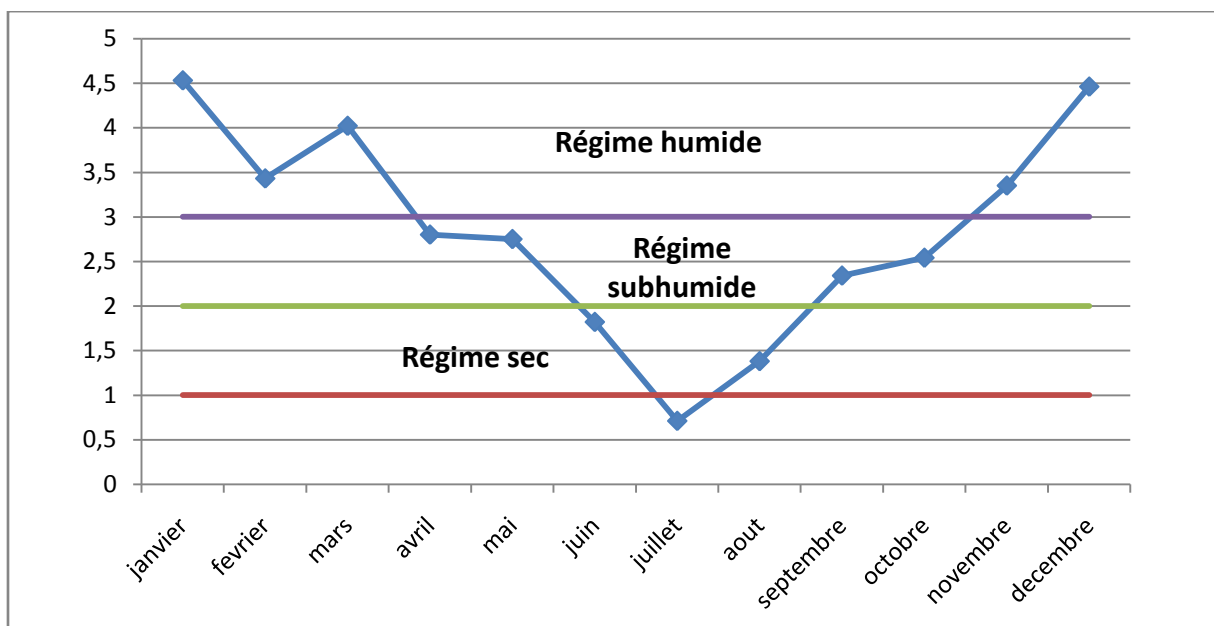


Figure 13 : Diagramme de l'humidité du sol par la méthode d'EUVERTE station de Tébessa (1982/2019).

3.8. Le vent :

Les vents sont caractérisés par leur vitesse et leur intensité. Les vents prédominant sont de direction Sud Est – Nord Ouest et jouent un rôle important dans les précipitations En Hiver. Les vents du Nord Ouest sont souvent secs et froids. En été les vents du Sud sont Fréquents (le sirocco) qui peuvent être chaud et sec d'où l'augmentation de l'évaporation, et Une sécheresse qui diminue l'humidité et augmente le déficit d'écoulement. (GHALMI S., 2012).

3.9. L'humidité :

L'humidité représente la quantité d'eau retenue dans l'air, Il a été pris en considération une série de 25 ans (1985/1986 à 2009/2010). D'après cette série, le mois de juillet étant le mois le plus sec avec un pourcentage de 41.41 % et le mois le plus humide c'est le mois d'avril avec un pourcentage maximal égal à 69.63 %. (GHALMI S., 2012).

3.10. LES PARAMETRES DE BILAN HYDRIQUE :

Dans les études hydrogéologiques d'une région, on utilise le bilan d'eau qui consiste à évaluer la répartition entre les différentes composantes du bilan hydrique : l'écoulement (Ruissellement (**R**)), l'infiltration (**I**) et l'évaporation.

D'après le document du Conseil International de la Langue Française intitulé "Vocabulaire de l'Hydrologie et de la Météorologie"

- L'évapotranspiration ou évaporation totale (ET) l'ensemble des phénomènes d'évaporation (processus physiques) et de transpiration (phénomènes biologiques).
- L'évapotranspiration relative le rapport; sans dimensions; de l'ETR à l'ETP.

3.10.1. L'évapotranspiration réelle (ETR) :

L'évapotranspiration réelle, effective, actuelle ou encore déficit d'écoulement (ETR) la somme de l'évaporation et de la transpiration réelle pour une surface donnée et une période définie.

3.10.2. L'évapotranspiration potentielle (ETP) :

L'évapotranspiration potentielle (ETP); exprimée en hauteur de lame ou tranche d'eau évaporée; la somme des quantités d'eau pouvant s'évaporer et transpirer sur une surface donnée et pendant une période bien définie, en considérant des apports d'eau suffisants.

- Pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle nous avons utilisé la formule de C.W Thornthwaite qui a établi une correction entre la température moyenne mensuelle et l'évapotranspiration mensuelle.

$$\text{ETP}_{(c)} \text{ (mm)} = 16 (10T/I)^a K \text{ (ETP CORRIGEE).}$$

$$\text{ETP (mm)} = 16 (10T/I)^a \text{ (ETP NON CORRIGEE).}$$

- C.W Thornthwaite définit d'abord un indice thermique mensuel (i), Cet indice est calculé à partir de la température moyenne mensuelle (T) :

$$i = (T/5)^{1.514}$$

- La somme des indices mensuels des douze mois de l'année donne l'indice thermique annuel :

$$I = \Sigma i$$

- Exposant climatique avec :

$$a = 0.016 (I) + 0.5$$

Avec: ETP : Evapotranspiration potentielle en mm.

K : Coefficient d'ajustement.

I : Indice thermique annuel.

i : Indice thermique mensuel.

T : Température moyenne mensuelle en °C.

a : Exposant climatique.

- Estimation de coefficient d'ajustement K dépend du mois et de la latitude de la région dans notre cas de Tébessa c'est :

Lat. N.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	1.04	.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
5	1.02	.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	.99	1.02
10	1.00	.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	.98	.99
15	.97	.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	.95	.97
20	.95	.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	.93	.94
25	.93	.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	.99	.91	.91
26	.92	.88	1.03	1.06	1.15	1.15	1.17	1.12	1.02	.99	.91	.91
27	.92	.88	1.03	1.07	1.16	1.15	1.18	1.13	1.02	.99	.90	.90
28	.91	.88	1.03	1.07	1.16	1.16	1.18	1.13	1.02	.98	.90	.90
29	.91	.87	1.03	1.07	1.17	1.16	1.19	1.13	1.03	.98	.90	.89
30	.90	.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	.98	.89	.88
31	.90	.87	1.03	1.08	1.18	1.18	1.20	1.14	1.03	.98	.89	.88
32	.89	.86	1.03	1.08	1.19	1.19	1.21	1.15	1.03	.98	.88	.87
33	.88	.86	1.03	1.09	1.19	1.20	1.22	1.15	1.03	.97	.88	.86
34	.88	.85	1.03	1.09	1.20	1.20	1.22	1.16	1.03	.97	.87	.86
35	.87	.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	.97	.86	.85
36	.87	.86	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	1.03	.97	.86	.84
37	.86	.84	1.03	1.10	1.22	1.23	1.25	1.17	1.03	.97	.85	.83
38	.85	.84	1.03	1.10	1.23	1.24	1.25	1.17	1.04	.96	.84	.83
39	.85	.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	.96	.84	.82
40	.84	.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	.96	.83	.81

Figure 14 : Table permettant d'obtenir la valeur de coefficient d'ajustement K.

Tableau 11 : Valeurs de l'évapotranspiration potentielle de la région de Tébessa (1982-2019).

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	total
T (°C)	7	7.9	10.6	14	18.7	23.7	26.9	26.5	22.3	17.8	12	8.1	
i	1.66	2	3.12	4.75	7.37	10.55	12.78	12.49	9.62	6.84	3.76	2.08	77.02
I	77.02												
a	1.73												
K	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85	
ETP (mm)	13.56	16.72	27.8	44.99	74.23	111.84	139.24	135.68	100.66	68.16	34.46	17.46	784.8
ETP _(c) (mm)	11.8	14.21	28.63	49.04	89.82	135.33	171.27	157.39	103.68	66.12	29.64	14.84	871.77

Le tableau 11, indique la répartition moyenne mensuelle de l'évapotranspiration potentielle, et montre que :

- Les valeurs élevées de l'évapotranspiration potentielle sont présentes le long des mois d'été, cette augmentation de l'ETP s'explique par la température élevée et le manque de précipitation dans cette saison. Avec une valeur maximale de 171.27 mm au mois de Juillet.

- Les valeurs les plus basses de l'évapotranspiration potentielle sont présentes durant la saison d'Hiver avec une valeur minimale de 11.8 mm au mois de Janvier.

L'évapotranspiration réelle (ETR) :

Il existe plusieurs méthodes empiriques pour estimer l'évapotranspiration réelle (Turc, Coutagne et Wundt).

ETR par la Formule de Turc :

L. Turc, à établi une relation tenant compte des précipitations et à la température, à partir des observations effectuées sur 254 bassins versants situés sous tous les climats du globe, l'expression: $ETR (mm) = P / (0.9 + P^2/L^2)^{1/2}$.

P : la pluviométrie moyenne annuelle (mm).

L : un paramètre qui fonction de la température moyenne annuelle T en °C.

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

Pour la station de Tébéssa :

$$P = 445.73 \text{ mm.}$$

$$T = 15.4 \text{ °C.}$$

$$L = 300 + 25 (15.4) + 0.05 (15.4)^3 = 867.61$$

$$ETR = 445.73 / [0.9 + (445.73)^2 / (867.61)^2]^{1/2} = 413.15 \text{ mm.}$$

Alors que : ETR = 413.15 mm, qui représente 92.69 % des précipitations.

3.10.3. Ruissellement :

On peut calculer le ruissellement à partir de la précipitation moyenne annuelle et l'évapotranspiration potentielle estimée par la formule de Tixeront-Berkaloff :

$$R = P^3 / 3(ETP)^2$$

$$R = (445.73)^3 / 3(871.77)^2 = 38.84 \text{ mm}$$

Alors que : R = 38.84 mm, qui représente 8.71% des précipitations.

Remarque :

Les valeurs données par cette formule restent discutables, puisque ce dernier ne tient compte de la nature lithologique des terrains en d'autre terme, l'influence de la perméabilité sur le ruissellement est négligée.

3.10.4. Infiltration:

$$P = ETR + R + I \quad \Rightarrow \quad I = P - (ETR + R)$$

$$I = 445.73 - (413.15 + 38.84) = 00 \text{ mm}$$

Alors que : $I = 00 \text{ mm}$, qui représente 0.00% des précipitations.

3.10.5. BILAN HYDRIQUE SELON LA METHODE DE THORNTHWAITE :

Le bilan hydrique (BH) est, selon Thornthwaite, l'expression de la différence entre les précipitations et l'évapotranspiration potentielle ($BH = P - ETP$) d'un bassin ou d'un sol donné pendant une période déterminée, généralement un mois.

Le déficit agricole (DA) représente sensiblement la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux cultures (par l'irrigation) pour qu'elles ne souffrent pas de la sécheresse. Il est donné par l'expression: $DA = ETP - ETR$.

L'excédant (**EX**) est la quantité d'eau pouvant s'écouler lorsque l'**ETP** et la **RFU** sont satisfaites. Il correspond au surplus d'eau destinée à l'alimentation de l'infiltration et du ruissellement de surface.

La réserve facilement utilisable (RFU); représentant en général $2/3$ de la réserve utile totale (RU) est la quantité d'eau stockée dans le sol et qui peut être reprise par l'évaporation par l'intermédiaire des plantes.

Tableau 12 : Bilan hydrique de la région de Tébessa (1982 – 2019).

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avril.	Mai	juin	Juil.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Tot.
T (°C)	7	7.9	10.6	14	18.7	23.7	26.9	26.5	22.3	17.8	12	8.1	
i	1.66	2	3.12	4.75	7.37	10.55	12.78	12.49	9.62	6.84	3.76	2.08	77.02
I	77.02												
a	1.73												
K	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85	
P (mm)	31.7	27.1	42.6	39.2	51.5	43.2	19	36.5	52.1	45.2	40.2	36.1	464.4
ETP (mm)	13.56	16.72	27.8	44.99	74.23	111.84	139.24	135.68	100.66	68.16	34.46	17.46	784.8
ETP _c (mm)	11.8	14.21	28.63	49.04	89.82	135.33	171.27	157.39	103.68	66.12	29.64	14.84	871.77
P-ETP _c (mm)	19.9	12.89	13.97	-9.84	-38.32	-92.13	-152.27	-120.89	-51.58	-20.92	10.56	21.26	
ETR (mm)	11.8	14.21	28.63	49.04	89.82	73.62	19	36.5	52.1	45.2	29.64	14.84	464.4
RFU (mm)	51.72	64.61	78.58	68.74	30.42	00	00	00	00	00	10.56	31.82	
DA (mm)	00	00	00	00	00	61.71	152.27	120.89	51.58	20.92	00	00	407.37
EX (mm)	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00

T : Températures moyennes mensuelles (C°).

i : Indice thermiques mensuels.

I : Indice thermique annuel.

a : Exposant climatique.

ETP : Evapotranspiration potentielle mensuelle non corrigée (mm).

ETP_c : Evapotranspiration potentielle mensuelle corrigée (mm).

K : Facteur de correction qui dépend du temps du mois et de l'altitude de lieu.

P : Précipitations moyennes mensuelles (mm).

RFU : Réserve facilement utilisable (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle (mm).

DA : Déficit agricole (mm).

EX : Excédent (mm).

Vérification du bilan :

$$\Sigma P = \Sigma ETR + \Sigma EX \quad \Rightarrow \quad 464.4 = 464.4 + 00.00$$

$$\Sigma ETP = \Sigma ETR + \Sigma DA \quad \Rightarrow \quad 871.77 = 464.4 + 407.73$$

3.10.6. Interprétation des résultats du bilan hydrique :

Le tableau 12 du bilan hydrique a pour but de connaître des différents paramètres (ETP, ETR, RFU, DA, EX). On remarque que :

Les réserves facilement utilisables (RFU) se constituent à partir du mois de Novembre et s'étalent jusqu' au mois d'Mai. Avec la grande valeur enregistrée est 78.58 mm dans le mois Mars.

L'excédent est nul sur tout les mois.

Le déficit agricole est enregistré durant les mois de Juin, Juillet, Aout, Septembre et Octobre avec une valeur totale de 407.73 mm et la grande valeur enregistrée 152.27 mm dans le mois de Juillet.

L'évapotranspiration potentielle (ETP) la grande valeur enregistrée est 171.27 mm dans le mois de Juillet, et la plus petite valeur est 11.8 mm enregistrée dans le mois de janvier avec une valeur totale de 871.77 mm.

L'évapotranspiration réelle (ETR) la grande valeur enregistrée est 89.82 mm dans le mois de Mai, et la plus petite valeur est 11.8 mm enregistrée dans le mois de janvier avec une valeur totale de 464.4 mm. Soit 100 % des précipitations moyennes annuelles.

3.10.7. Conclusion :

Dans cette partie il a été déterminé le climat de notre région d'étude de Tébessa qui est un climat semi aride de type semi continental avec un régime continental tempéré caractérisé par des précipitations irrégulières à l'échelle annuelle et mensuelle et un faible nombre de jours de pluie.

D'après les données climatologiques de la station météorologique de Tébessa sur une période de 38 ans (1982-2019). Nous avons pu constater, que le Automne c'est la saison la plus pluvieuse. Alors que la plus sèche c'est la saison estivale. Elles permettent aussi de distinguer deux situations différentes:

- Une période déficitaire de Avril jusqu'a Octobre ou la précipitation est inférieur à l'évapotranspiration potentielle ($P < ETP$).
- Une période excédentaire de Novembre jusqu'à Mars ou la précipitation est supérieur à l'évapotranspiration potentielle ($P < ETP$).

On peut diviser l'année par deux saisons :

Une saison relativement humide et froide de 8 mois et une saison estivale, sèche et chaude de 4 mois environ la saison la plus grande est une saison « humide », avec de faibles précipitations.

Le bilan hydrologique est une façon de compter tous les éléments d'apport et de sortie D'eau au dessus d'une surface donnée.

Chapitre 3 :

4. Chapitre 3 : analyse statistique

Ce chapitre aborde un ensemble des analyses statistiques sur les différentes données pluviométriques de la station météorologique de Tébessa. Les résultats de l'étude de ces analyses statistiques pourront trouver une application directe à l'échelle locale notamment dans les occurrences des inondations et dans les activités relatives à l'agriculture de Tébessa.

4.1. Matériels et Méthodes :

L'analyse de la variabilité de la pluviométrie de la station météorologique de Tébessa a été réalisée à partir des données pluviométriques disponibles du 1er janvier 1982 au 31 décembre 2019. Elle est située à 35.41 DD de latitude et 8.13 DD de longitude à 813 mètres d'altitude.

4.1.1. Analyse des données pluviométriques annuelles et quotidiennes :

L'analyse des précipitations annuelles et quotidiennes a exigé de calculer annuellement plusieurs indices pluviométriques : le total pluviométrique (PTOT), le nombre total des Jours de Pluie (avec pluies journalières 1 mm, JP), la lame d'eau moyenne précipitée par jour humide (Simple Day Intensity index, SDII), le nombre total de jours caractérisés par des précipitations ≥ 1 mm, ≥ 5 mm, ≥ 10 mm, ≥ 15 mm, ≥ 20 mm (P1, P5, P10, P15, P20) ainsi que la pluviométrie maximale enregistrée dans 1 jour (Px1J). Trois autres indices sont basés sur les 95ème, 99ème et 99,5ème percentiles. Cette méthode d'analyse est communément utilisée pour l'étude des événements extrêmes (MANTON M.J. *et al.*, 2001) (GRIFFITHS G.M., *et al.*, 2003) (HAYLOCK, M.R. *et al.*., 2006) (NEW M. J *et al.*, 2006) (AGUILAR E. *et al.*, 2009) (HOUNTONDJI, Y.C. *et al.*., 2011). Elle est utilisée dans notre étude pour explorer cette série chronologique des précipitations de Tébessa.

Tableau 13 : Liste des indices utilisés dans l'analyse des événements extrêmes.

Indice	Nom de l'indice	Définition	Unité
PTOT	Précipitation annuelle	Précipitation totale annuelle	mm
JP	Jour de Pluie	Nombre total de jours humides (1 mm)	jour
SDII	Simple Day Intensity Index	Lame d'eau moyenne précipitée par jour de pluie	mm/jour
Px1J	Pluie maximale Journalière	Précipitation maximale Journalière	mm
P1	Fréquence des pluies ≥ 1 mm	Nombre de jours avec des précipitations ≥ 1 mm	jour
P5	Fréquence des pluies ≥ 5 mm	Nombre de jours avec des précipitations ≥ 5 mm	jour
P10	Fréquence des pluies ≥ 10 mm	Nombre de jours avec des précipitations ≥ 10 mm	jour
P15	Fréquence des pluies ≥ 15 mm	Nombre de jours avec des précipitations ≥ 15 mm	jour
P20	Fréquence des pluies ≥ 20 mm	Nombre de jours avec des précipitations ≥ 20 mm	jour
P95p	Fréquence des pluies intenses	Nombre de jours avec des précipitations $\geq 95^{\text{e}}$ percentile calculé sur une période	jour
P99p	Fréquence des pluies extrêmes	Nombre de jours avec précipitation $\geq 99^{\text{e}}$ percentile calculé sur une période	jour
P99.5p	Fréquence des pluies très extrêmes	Nombre de jours avec précipitation $\geq 99,5^{\text{e}}$ percentile calculé sur une période	jour

4.1.2. Détermination de la saison des pluies : début, fin et longueur

(OZER *et al.* 2009) révèlent que la date du début des pluies est importante dans la planification des opérations agricoles, particulièrement le semis. Il existe plusieurs définitions relatives à la longueur de la saison des pluies.

Dans le cadre de ce travail, nous appliquons la méthode d'ERPICUM (ERPICUM M., *et al.*, 1987). Selon des critères climatiques OZER & ERPICUM Montrent que, la saison des pluies commence au moment où la probabilité d'avoir un jour de pluie au cours d'une « pentade » (période de cinq jours) déterminée est supérieure à la probabilité d'avoir un jour sec appartenant à un épisode de plus de sept jours. Selon le même calcul, la fin de la saison des pluies est fixée dès que la probabilité d'avoir un jour sec appartenant à un épisode de sept jours est supérieure à celle d'avoir un jour de pluie au cours d'une « pentade ».

Cette méthode permet d'estimer les dates de début et de fin des saisons des pluies ainsi que la longueur de la saison. Elle permet également de caractériser l'amplitude de la saison des pluies en calculant l'aire comprise entre les probabilités d'une pentade sèche et d'une pentade humide. Ainsi, au moment où la saison des pluies est la plus régulière, ces écarts sont fortement prononcés. La somme de ces écarts calculée de cinq en cinq jours constitue un bon indicateur de la valeur agro météorologique de la saison des pluies (OZER P., *et al.*, 2005).

4.1.3. Caractérisation des périodes de retour (Loi de Gumbel)

La loi de GUMBEL (1958) a été appliquée à la série pluviométrique pour caractériser les périodes de retour des précipitations quotidiennes auxquelles on doit s'attendre dans la zone de Tébessa aux seuils de 6 ans (anormal) ; 10 ans (très anormal) ; 30 ans (exceptionnel) et 100 ans (très exceptionnel).

On note cependant que des études citées par MOHYMONT et DEMARÉE (MOHYMONT B. & DEMARÉE, G.R., 2006) ont exprimé un certain scepticisme concernant l'utilisation de la distribution de Gumbel pour les extrêmes de précipitations, montrant que cette distribution peut, dans certains cas, sous-estimer sérieusement les valeurs extrêmes de pluie pour des très longues périodes de retour.

Ceci ne constitue pas un frein majeur à notre analyse puisque les événements pluvieux anormaux, très anormaux et exceptionnels peuvent être caractérisés.

4.2. Résultats :

4.2.1. L'écart a la moyenne des précipitations annuelles :

On utilise la méthode de la moyenne mobile de 5 ans pour la détection de la persistance des périodes sèches ou humides. La figure 15 montre le tracé de cette moyenne et celui de la variation annuelle pour la station de Tébéssa (1982-2019). L'histogramme présente les écarts à la moyenne des précipitations annuelles (indice d'anomalie pluviométrique) et affirme les variations interannuelles très fortes alors que la courbe sur 5ans constitue un indicateur des grandes fluctuations pluriannuelles. La courbe se caractérise par une distribution unimodale d'allure pseudo-gaussienne, l'anomalie d'une succession de 5 années peut dès lors se définir par référence à une situation jugée normale et son intensité peut se mesurer en termes d'écart à la normale. Les années les plus arrosées sont : 2002 (exceptionnellement humide puisque s'écartant de plus de 2.5 écart-type) 1982, 1985, 1986, 1988, 1990 à 1992, 1995 à 1998, 2000, 2002 à 2004 et 2019. A l'opposé les années les plus sèches sont 1983, 1984, 1987, 1989, 1993, 1994, 1999, 2001, 2005 à 2018 ; Avec 1984, 2013 (exceptionnellement sèche puisque s'écartant de plus de -1.5 écart-type).

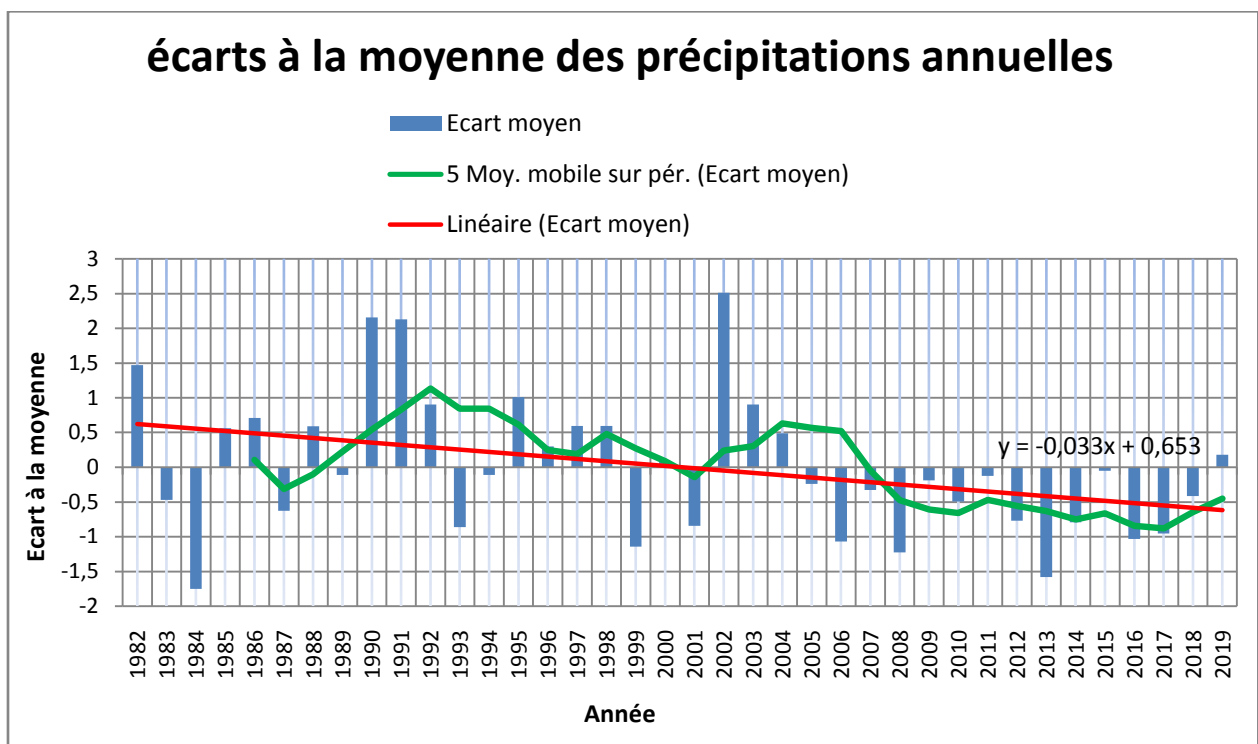


Figure 15: Evolution des écarts à la moyenne des précipitations annuelles (1982-2019).

Les caractéristiques typiques (précipitations annuelles, nombre de jours de pluie, lame d'eau moyenne précipitée par jour humide, nombre total de jours caractérisés par des précipitations ≥ 1 mm, ≥ 5 mm, ≥ 10 mm, ≥ 15 mm et ≥ 20 mm) de la station météorologique de Tébessa sont présentées au tableau.

Tableau 14 : Caractéristiques des précipitations à la station météorologique de Tébessa (PTOT, PJ, SDII, Px1J, P1, P5, P10, P15, P20) Moyennes \pm écart-type calculées sur la période 1982-2019.

Indices Pluviométriques	Valeur	Unité
PTOT	445.73 \pm 166.25	mm
JP	73 \pm 26	jour
SDII	6.46 \pm 2.04	mm
Px1J	46.66 \pm 28.18	mm
P1	72.58 \pm 26.43	jour
P5	29.4 \pm 9.43	jour
P10	12.82 \pm 4.71	jour
P15	7.13 \pm 3.92	jour
P20	4.24 \pm 2.36	jour

4.2.2. Tendances des indices pluviométriques :

Les figures présentent les tendances des indices pluviométriques à Tébessa :

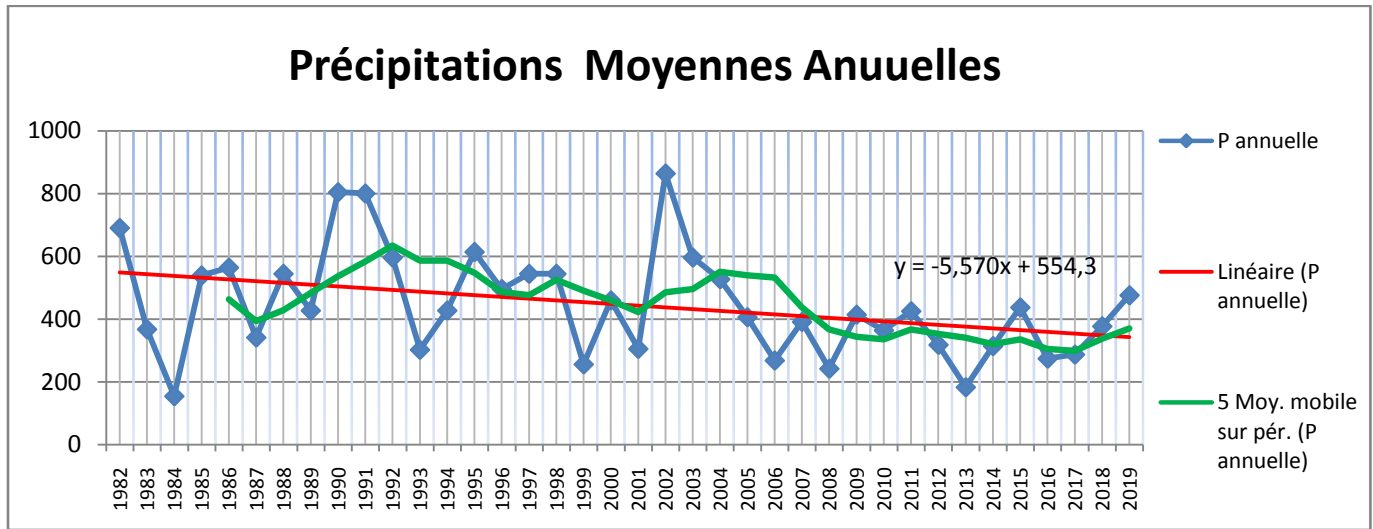


Figure 16 : Tendence de la précipitation moyenne annuelle à la station de Tébessa (1982-2019).

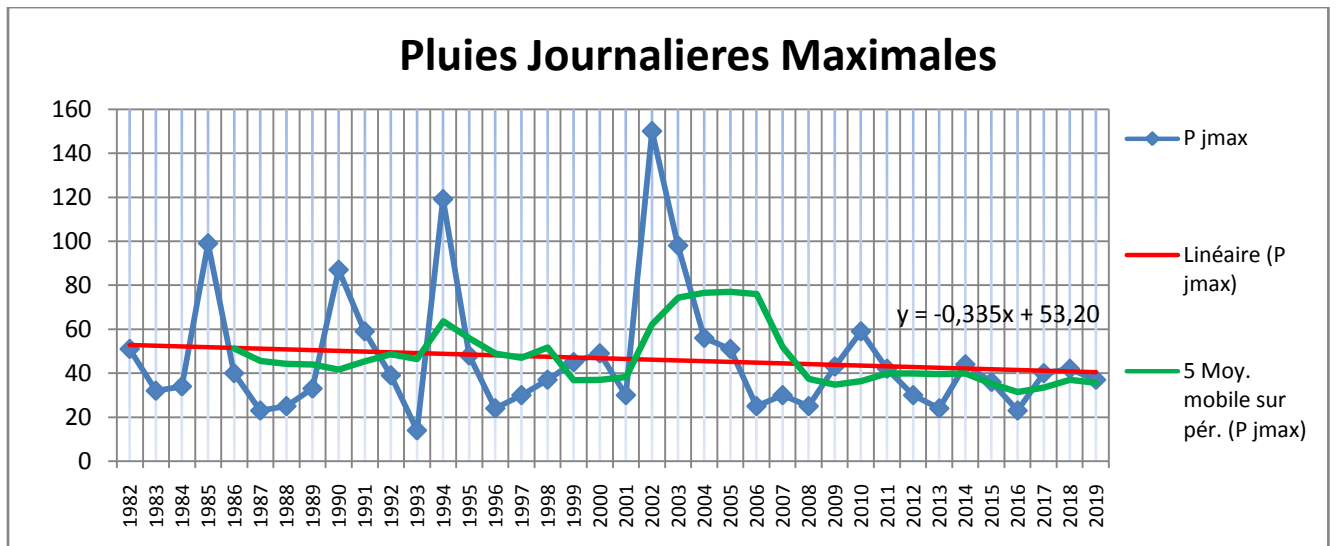


Figure 17: Tendence des pluies maximales journalières à la station de Tébessa (1982-2019).

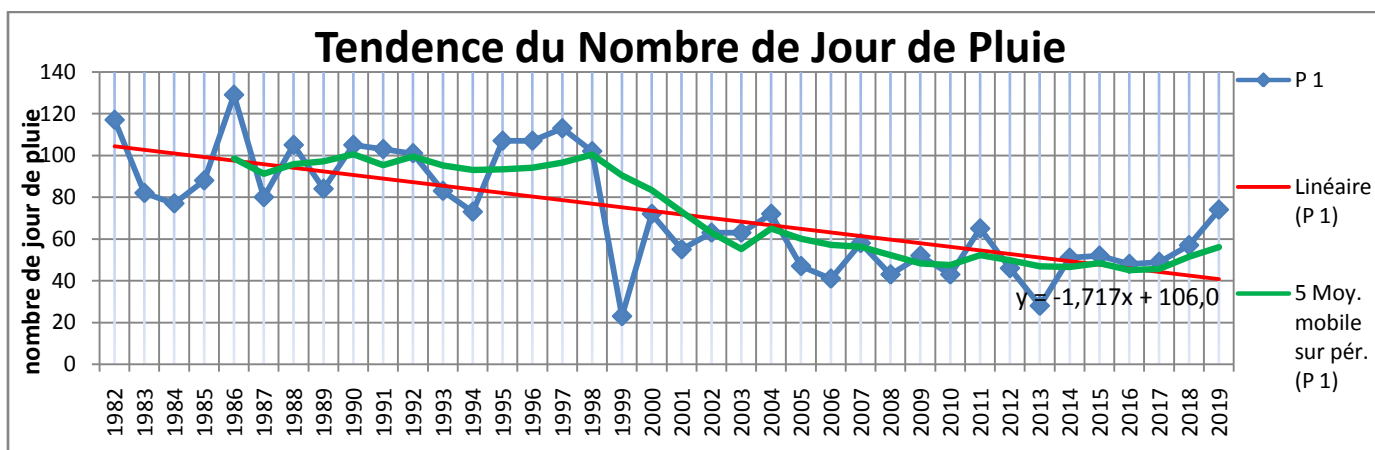


Figure 18: Tendance de nombre de jour de pluie à la station de Tébessa (1982-2019).

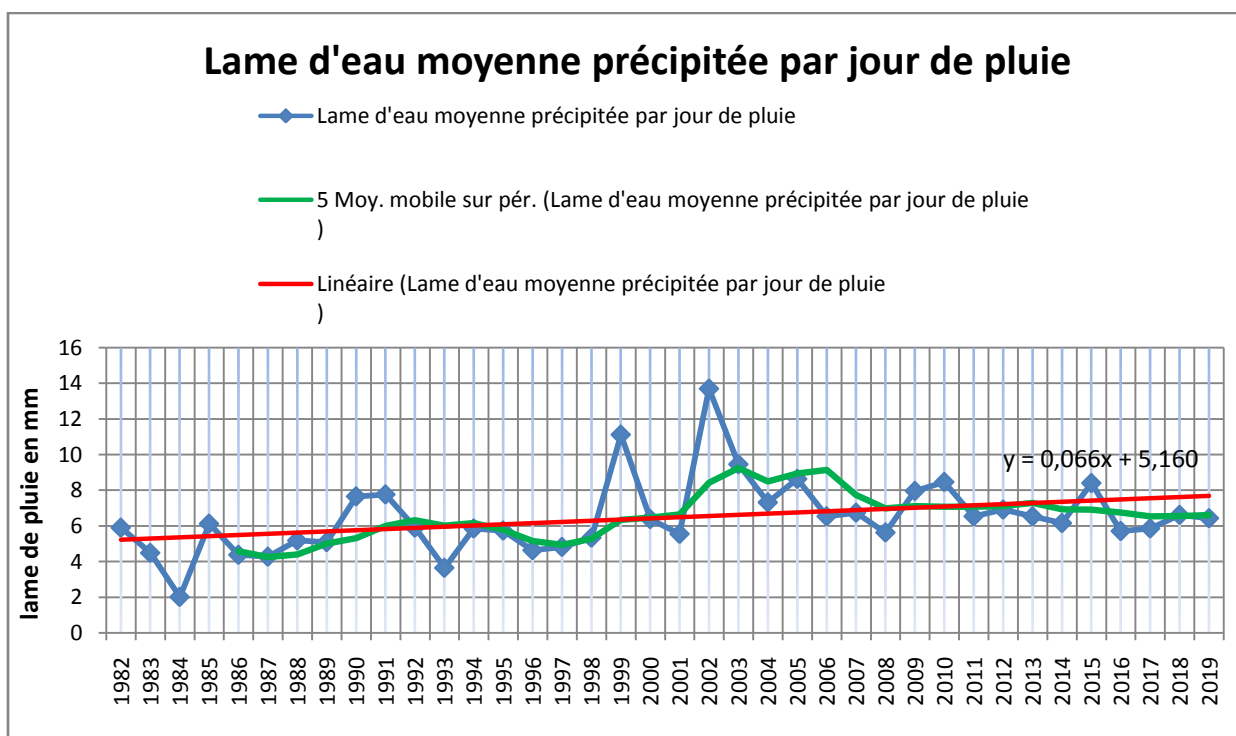


Figure 19 : Tendance de la lame d'eau moyenne précipitée par jour de pluie (1982-2019).

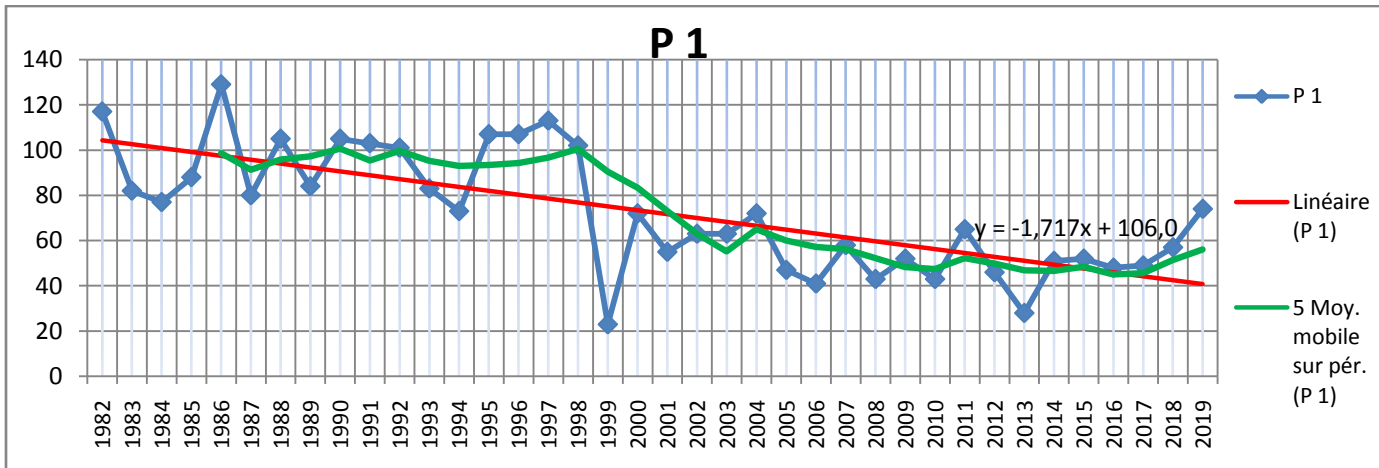


Figure 20 : Tendence du nombre de jours avec des précipitations ≥ 1 mm à Tébessa.

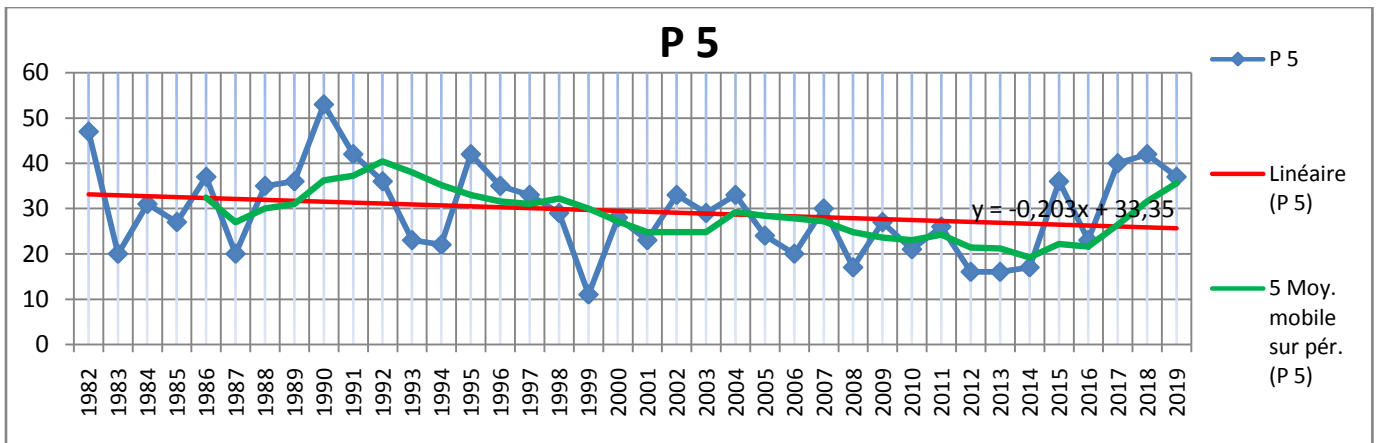


Figure 21 : Tendence du nombre de jours avec des précipitations ≥ 5 mm à Tébessa.

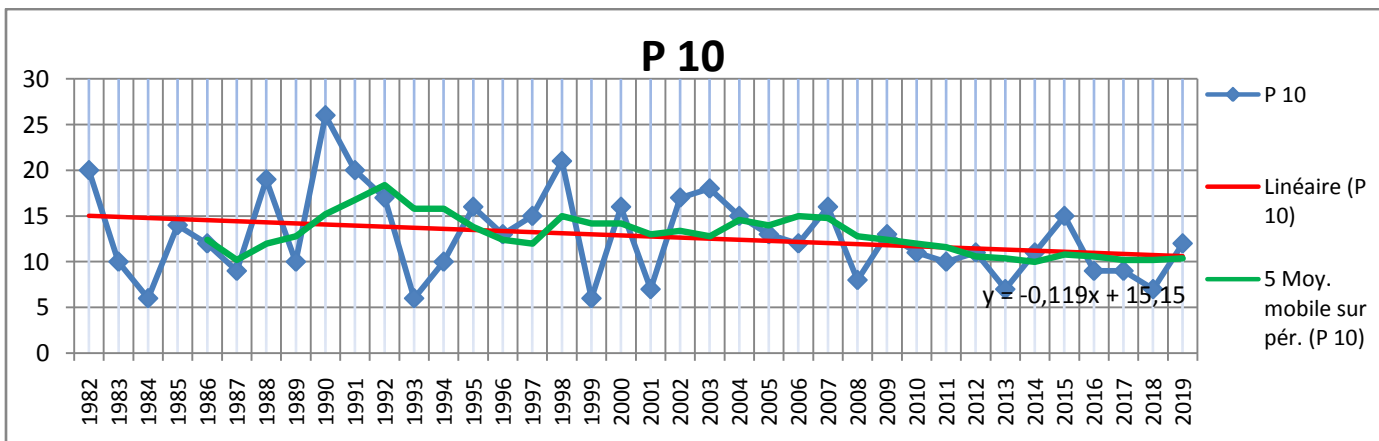


Figure 22 : Tendence du nombre de jours avec des précipitations ≥ 10 mm à Tébessa.

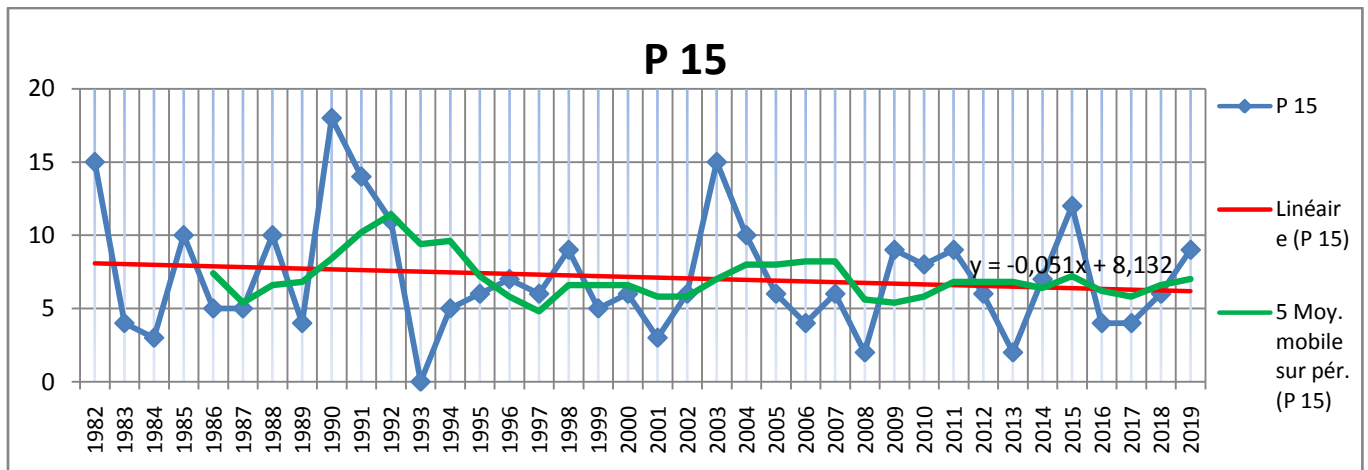


Figure 23 : Tendence du nombre de jours avec des précipitations ≥ 15 mm à Tébessa.

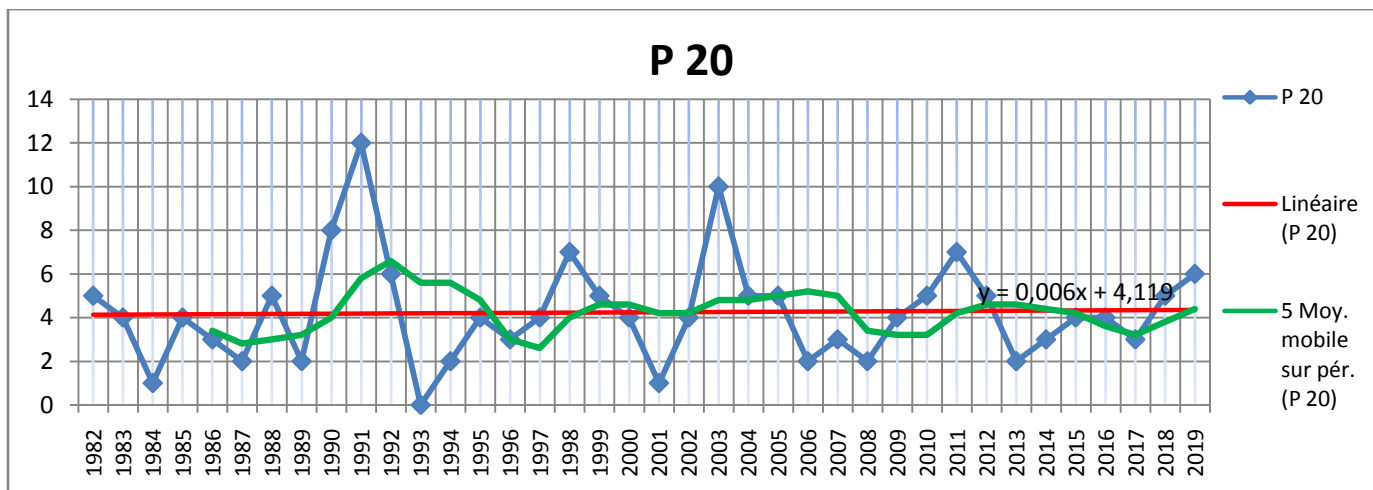


Figure 24 : Tendence du nombre de jours avec des précipitations ≥ 20 mm à Tébessa.

4.2.3. Estimation de la récurrence des événements pluvieux à Tébessa :

L'estimation de la récurrence des événements jugés exceptionnels se fait en utilisant de la loi de Gumbel.

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp \left[-\frac{x-u}{\alpha} - \exp \left(-\frac{x-u}{\alpha} \right) \right]$$

Cette loi de statistique des valeurs extrêmes a été appliquée aux données de précipitations journalières de la station météorologique de Tébessa à l'aide du logiciel HyfranPlus (Chair in

Statistical Hydrology, INRS-ETE, (B. Bobée et al. 2008). Les résultats obtenus sont présentés à la figure 24 :

Nombre d'observations 38

Paramètres de la loi :

$u = 33.788499$

$\alpha = 17.786703$

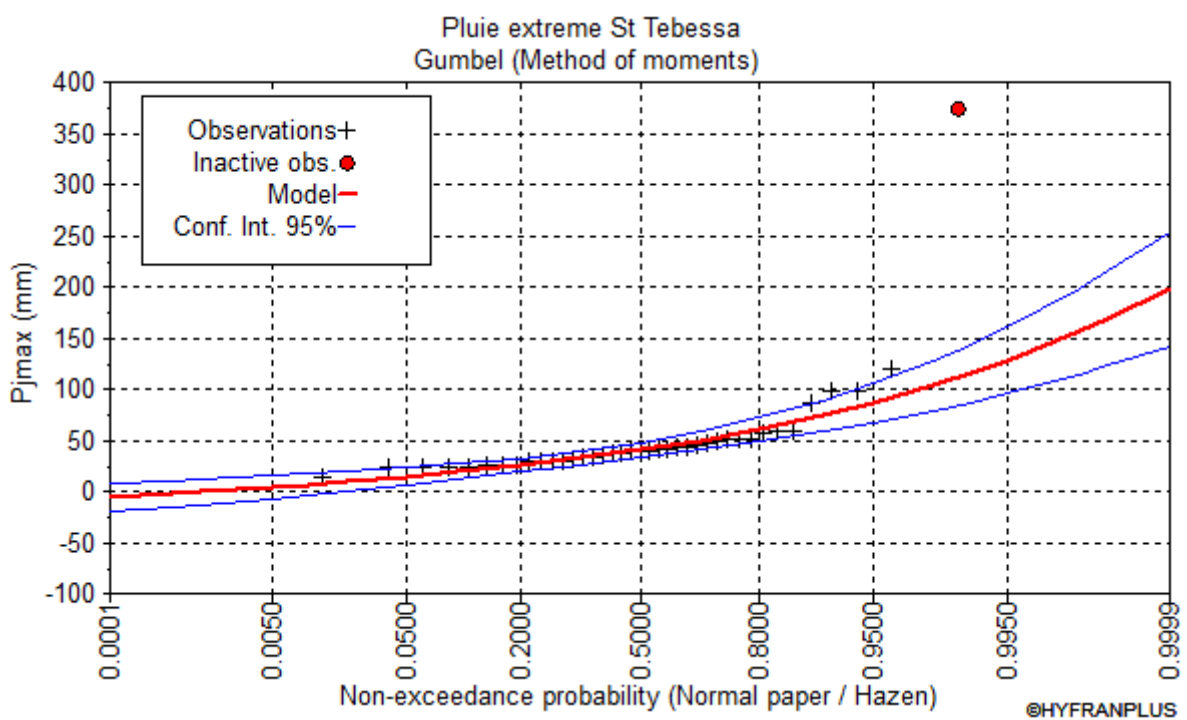


Figure 25 : Probabilité de non dépassement des pluies journalières maximales station de Tébéssa.

Le test statistique (Chi-squared) d'adéquation des résultats d'ajustement est appliqué dans cette étude, montre que les valeurs des pluies max journalières suivent la loi choisie, avec les paramètres suivants :

Hypotheses

H0 : The underlying distribution of this sample is Gumbel

H1 : The underlying distribution of this sample is not Gumbel

Results

Statistics result : $\chi^2 = 6.21$

p-value : $p = 0.2863$

Degrees of freedom : 5

Number of classes : 8

Conclusion

We accept H0 at a significance level of 5 %.

D'après le graphique de la loi de Gumbel une pluie de 50 mm par jour correspond à une fréquence au non dépassement qui peut être estimé à 0.65

La période de retour de cette pluie est de :

$$T = \frac{1}{1 - f(x)} = \frac{1}{1 - 0.65} \approx 3 \text{ ans}$$

4.3. Discussion :

L'étude des données pluviométrique de la station météorologique de Tébessa sur une longue série chronologique de 38 ans (1982-2019) montre qu'il n'y a pas un changement drastique dans cette série. L'intérêt de cette analyse réside dans le fait que les tendances des 9 indices pluviométriques calculés ne sont pas statistiquement significatives. Sept indices présentent une tendance à la baisse (PTOT, Px1J, JP, P1, P5, P10, P15) alors que deux indices (SDII, P20) présentent une tendance à la hausse. Globalement, la région connaissait une baisse significative des précipitations totales annuelles, des pluies journalières maximales et du nombre de jours de pluie sur la période de 38 ans à été remarquées.

En revanche, les anomalies relevées dans le sens de la baisse se sont manifestées respectivement au cours des dernières années à partir de 2007 clairement remarquable dans les tendances des moyennes mobiles.

Les effets de cette variabilité climatique se remarquent au travers de l'évolution du niveau des débits des oueds dans la région. Cette variabilité des précipitations observée ces dernières années dans la région peut engendrer des risques avec des effets néfastes tout au long des saisons, notamment sur les biens et les personnes (risques d'inondations).

En effet, La ville de Tébessa est confrontée à des inondations de plus en plus fréquentes ; comme celle de 12 Sept. 2018. Selon l'APS, qui cite les services météorologiques de l'aéroport de Tébessa ; 50 mm de pluie torrentielles accompagnées de grêle sont tombés en une heure sur la ville de Tébessa et ses environs. Ces inondations ont également engendré le décès d'un enfant de 5 ans et des dégâts « considérables » sur le réseau routier et emporté plus de 50 véhicules touristiques. Il ressort néanmoins sur base des analyses de fréquence de retour de précipitation que cette pluie de 50 mm ne revêt pas même un caractère anormal. Toutes les pluies qui caractérisent ces dernières années ont une période de retour de moins de 3 ans et sont donc statistiquement normales pour la ville de Tébessa. Ce qui interpelle, c'est que ces inondations pourraient s'avérer encore bien plus dévastatrices en cas de précipitations réellement exceptionnelles ($\geq 88,4$ mm).

4.4. Conclusion :

Cette étude a pour but de caractériser les événements qui structurent et modulent les cycles annuel, saisonnier et quotidien des pluies à Tébessa.

Sept de 9 indices pluviométriques étudiés présentent des tendances à la baisse et seulement 2 indices (SDII, $P \geq 20$ mm) présents une tendance à la hausse sans que ces tendances soient statistiquement significatives, la quasi-totalité des événements pluvieux de ces dernières années ne présentent pas de caractères exceptionnels. La récente augmentation des inondations serait donc liée au changement d'affectation des sols à l'absence de politique d'aménagement du territoire urbain.

Conclusion général :

5. Conclusion général

Le changement climatique est l'un des grands problèmes dans notre planète de notre ère, il est toujours rejoint par des événements climatiques extrêmes (les fortes précipitations (inondation), les vagues de chaleur (sécheresse, feu de forêt) etc.).

Le traitement de ce phénomène par des études et des recherches pointues pour estimer et évaluer l'impact de ces alias sur notre région et pour avoir des solutions et les mettre à la disposition des responsables s'avère une tâche très importante.

D'après les données climatologiques de la station météorologique de Tébessa sur une période de 38 ans (1982-2019), notre région se caractérise par un climat semi-aride de type semi-continental avec un régime continental tempéré caractérisé par des précipitations irrégulières à l'échelle annuelle et mensuelle et un faible nombre de jours de pluie. Ce qui va affecte le débit des oueds et les nappes, et aussi l'insuffisance pour l'arrosage des cultures.

Seuls deux indices (SDII, $P \geq 20$ mm) présentent une tendance à la hausse sans que ces tendances soient statistiquement significatives, les autres indices (PTOT, Px1J, JP, P1, P5, P10, P15) présentent une tendance à la baisse.

Le suivi de l'historique météorologique de la zone de Tébessa, montre clairement les conséquences des changements climatiques dans notre région surtout les inondations. Ces inondations ont été provoquées par des événements pluvieux loin d'être anormaux ($T < 6$ ans) et malheureusement ont de nombreuses conséquences comme l'érosion, la contamination des sources d'eau, les victimes, les pertes économiques, les pertes d'agriculture.

Pour avoir des solutions efficaces et s'adapter aux problèmes de changement climatique à la région de Tébessa, il doit avoir fait une étude approfondie qui touche tous les domaines (hydrologie, hydrogéologie, géologie, hydrogéochimie, économique et l'aménagement, etc.), on peut avoir une politique d'aménagement du territoire urbain. Par l'utilisation des canaux de dérivation, la création des barrages et des retenues collinaires pour réutiliser ces eaux dans l'agriculture dans le cas d'absence des précipitations.

Références bibliographiques:

6. Références bibliographiques :

- [1] AGUILAR E., AZIZ BERRY A., BRUNET M., EKANG L., FERNANDES A., MASSOUKINA M., 2009: Changes in temperature and precipitation extremes in western central Africa, Guinea Conakry and Zimbabwe, 1955-2006. *Journal of geophysical research*, 114 (D2), 1-11. Doi:10.1029/2008JDO11010.
- [2] ANDI Agence Nationale de Développement de l'Investissement.2013.
- [3] BENAZZOUZ A., 2011 : les inondations majeures en Algérie, Séminaire International UVREDA, Utilisation et valorisation des ressources en eau pour le développement durable des écosystèmes arides, Centre de Recherche Scientifique et technique sur les Régions Arides, Biskra, 13-14 novembre.
- [4] BOUANANI A., 2005 : Hydrologie, Transport solide et modélisation, étude de quelques sous bassin de la Tafna. (N-W – Algérie), Doctorat d'état, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 250p.
- [5] BOUTERAA M., 2012 : Risque de contamination des eaux souterraines par les eaux usées urbaines en zones semi aride. Exemple des rejets de la ville de Tébessa. P 06.
- [6] Comptes Rendus Geoscience Volume 337, Issues 1–2, January–February 2005, Pages 193-202.
- [7] ERPICUM M., BINARD M., PETERS J.P., et ALEXENDRE J., 1987 : Une méthode d'analyse des caractéristiques de la saison des pluies en région sahélienne (Exemples pris au Sénégal). In : *Actes des journées de Climatologie, Mont_Rigi, Belgique, 5-7 novembre 1987, Liège* (ERPICUM, M., Ed.), Presses Universitaires de Liège., 43-56.
- [8] FAO., 2007: Climate change and Food Security: a Framework for Action, Rome., (Document publié pour la conférence de Bali).
- [9] FOUCHIER C., 2010 : Développement d'une méthodologie pour la connaissance régionale des crues. Thèse de Doctorat, Université Montpellier 2, Cemagref, 266 p.
- [10] GHALMI S., 2012 : Relation et fonctionnement des sources issues de la corniche calcaire de djebel Bouziane-Gaagaa. Région de Hammamet-Gaagaa ., 25-27.
- [11] GIEC., 2007 : Changements climatiques (Rapport de synthèse) ., 103 p.

- [12] GRIFFITHS G.M., *et al.*, 2003: Trends in extreme daily rainfall across the South Pacific and relationship to the South Pacific Convergence Zone. *International Journal of Climatology*, 23: 847-869.
- [13] HAYLOCK, M.R. *et al.* , 2006 : Trends in total and extreme South American rainfall in 1960-2000 and links with sea surface temperature. *Journal of climate*, 19: 1490-1512.
- [14] HOUNTONDJI, Y.C. *et al.* , 2011: Trends in extreme rainfall events in Benin (West Africa), 1960-2000. *Proceedings of the 1st International Conference on Energy, Environment and Climate Change, 26-27 August 2011, Ho Chi Minh City, Vietnam.*
- [15] Kettab A., Ait Mouhoub D., 2002 : L'eau objet de toutes les convoitises, *Colloque international sur l'eau*, Chlef, 05 /06/ février, Algérie.
- [16] Kharin V.V., Zwiers F.W., 2000: Changes in the extremes in an ensemble of transient climate simulations with a coupled atmosphere–ocean GCM *J. Clim.*, 13 (2000)., 3760-3788.
- [17] MANTON M.J. *et al.*, 2001: Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific: 1961-1998. *International Journal of Climatology*, 21: 269-284.
- [18] MOHYMONT B. & DEMARÉE, G.R., 2006 : Courbes intensité-durée-fréquence des précipitations à Yangambi, Congo, au moyen de différents modèles de type Montana. *Hydrological Sciences Journal*, 51: 239-253.
- [19] NEW M. J *et al.*, 2006: Evidence of trends in daily climate extremes over southern and West Africa. *Journal of Geophysical Research*, 111, D14102, doi:10.1029/2005JD006289.
- [20] OZER P., HOUNTONDJI Y.C., LAMINOUS MANZO O., 2009 : Évolution des caractéristiques pluviométriques dans l'Est du Niger de 1940 à 2007. *Geo-Eco-Trop*, 33, 11-30.
- [21] OZER P., BODART C., et TYCHON B., 2005 : Analyse climatique de la région de Gouré, Niger oriental: récentes modifications et impacts environnementaux. *Cybergeo : Revue Européenne de Géographie*. N°.308, 02/05/2005, 24 p.
- [22] PALMER T.N., RÄISÄNEN J., 2002: Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate, *Nature*, 415 ., 512-514.

[23] ROUABHIA A., 2006 : Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El Ma El Abiod (Nord-Est Algérien), Thèse de Doctorat en sciences, Université de Badji Mokhtar ,Annaba, 2006, 200p.

[24] SALEY M.B., FERNAND K.K., MARIE J.P.et JEAN B ., 2005 : Cartographie des zones à risque d'inondation dans la région semi-montagneuse à l'Ouest de la cote d'ivoire : apports des MNA et de l'imagerie satellitaire, *Téledétection*, Vol. 5, n° (1-2-3), (2005) p 53-67.

[25] SEGHIR K., 2008 : Vulnérabilité à la pollution, protection des ressources en eaux et gestion active du sous système aquifère de Tébessa Hammamet (Est Algérien), Thèse de Doctorat, Université de Badji Mokhtar, Annaba, 2008, 190p.

[26] www.wilaya-tebessa.dz.

[27] ZEREG S., 2010: Impact des retours d'eau d'irrigation sur la ressource en eau souterraine des régions semi arides, exemple des plaines de Tébessa, Chéria et El Ma El Abiod, Est algérien, Thèse de Magister, Université de Colonel Hadj Lakhdar, Batna,2010, p.

Site web :

- <https://www.infoclimat.fr/climatologie/globale/tebessa/60475.html>.
- <https://fr.tutiempo.net/climat/ws-604750.html>.