

**Université SAAD DAHLB-BLIDA 1**

**Faculté de technologie**

Département des sciences de l'eau et environnement



**MEMOIRE DE MASTER**

Filière : **Hydraulique**

Spécialité : **Ressources Hydrauliques**

Thème :

**Cartographie des étages bioclimatiques sous l'effet des  
changements climatiques dans le bassin du Chellif**

Présenté par

**Mr. Saadi Abdessalem**

**Devant le jury composé de :**

<b>MR Gendouz Abdelhamid</b>	<b>Professeur</b>	<b>Président</b>
<b>MR Khelfi Mohamed EL Amine</b>	<b>Maitre de conférences B</b>	<b>examineur</b>
<b>Mme .S.TAIBI-FEDDAL</b>	<b>Maitre de conférences A</b>	<b>Encadreur</b>

**Promotion 2022/2023**

## ملخص

يهدف هذا العمل إلى تحليل تطور المراحل المناخية الحيوية في حوض شليف تحت تأثير تغير المناخ. لهذا الغرض ، تم و Bagnouls استخدام ثلاثة مؤشرات مناخية حيوية تعتمد على هطول الأمطار ودرجة الحرارة ، وهي مؤشر وأظهرت النتائج أن هطول الأمطار في منطقة Embreger للجفاف ومؤشر Martonne ، ومؤشر Gaussian الدراسة شهد انخفاضًا في هطول الأمطار في مناطق معينة ، خاصة خلال أشهر ديسمبر ويناير وأبريل ، بينما سجلت أشهر سبتمبر وأكتوبر ونوفمبر زيادة. وهكذا أوضحت المؤشرات المناخية أن منطقة الدراسة تخضع لمناخ شبه جاف إلى لأفق 2070 ارتفاعًا في درجات الحرارة من 1 إلى 5 درجات. إذا لم يتم اتخاذ أي MPI جاف. أبرزت تنبؤات نموذج تدابير في الاعتبار ، فقد ينخفض هطول الأمطار بنسبة 20 إلى 40٪. هذا يخاطر بجعل مناخ حوض تشليف أكثر عدوانية.

الكلمات المفتاحية: تغير المناخ ، الجزائر ، الاختبارات الإحصائية ، النماذج المناخية ، المؤشرات المناخية الحيوية

## Résumé

Ce travail vise à analyser l'évolution des étages bioclimatiques dans le bassin du chellif sous l'effet des changements climatiques. Pour cela trois indices bioclimatiques ont été utilisées qui reposent sur les précipitations et les températures à savoir l'indice de Bagnouls et gaussien l'indice d'aridité de Martonne et l'indice d'Emberger. Les résultats ont montré que les précipitations de la zone d'étude ont connu une réduction de la pluviométrie dans certaines régions particulièrement durant les mois de décembre janvier et avril alors que les mois de septembre octobre et novembre enregistrent une augmentation. Ainsi les indices climatiques ont montré que la zone d'étude est soumise à un climat semi-aride à aride. Les prévisions du modèle MPI a l'horizon 2070 a mis en évidence une hausse des températures de 1 à 5 degrés. Si aucune mesure n'est prise en considération les précipitations risquent de baisser de 20 à 40 %. Ce qui risque de rendre le climat du bassin du chellif plus agressif.

Mots clés: changement climatique, Algerie, tests statistiques, modelés climatiques, indices bioclimatiques

## Abstract

This work aims to analyze the evolution of the bioclimatic stages in the Chellif basin under the effect of climate change. For this, three bioclimatic indices were used which are based on precipitation and temperature, namely the Bagnouls and Gaussian index, the Martonne aridity index and the Emberger index. The results showed that the rainfall in the study area experienced a reduction in rainfall in certain regions, particularly during the months of December, January and April, while the months of September, October and November recorded an increase. Thus the climatic indices showed that the study area is subject to a semi-arid to arid climate. The forecasts of the MPI model for the horizon 2070 highlighted a rise in temperatures of 1 to 5 degrees. If no measures are taken into consideration, rainfall may drop by 20 to 40%. This risks making the climate of the Chellif basin more aggressive.

Keywords: climate change, Algeria, statistical tests, climate models, bioclimatic indices

## **Remerciements**

**Tout d'abord, je veux dire, Alhamdoulillah avec la grâce de qui les bonnes actions sont accomplies**

**Je tiens à adresser mes sincères salutations au président Mr 'Gendouz Abdelhamid' et au professeur examinateur Mr "Khelfi Mohammed el amine" pour avoir accepté de m'accorder un peu de leur temps précieux pour discuter de ma thèse.**

**Après cela, il n'y a pas de mots ni de sentiments pour remercier Madame Taibi-Sabrina-Feddal pour son temps, sa présence constante, son aide scientifique et morale et ses précieux conseils lors de ma formation.**

**Sans oublier le chef de département et tous les membres de la famille du Département des Sciences de l'Eau et de l'Environnement  
Consacrer toutes leurs énergies et leur expérience à la formation de la nouvelle génération**

# **Dédicace**

Je dédie ce mémoire a

A mon père, Que Dieu bénisse son âme, à ma chère mère, elle est toute ma vie

A mon frère Muhammad et ma sœur Fatima Zahra et Amal

À mon professeur, Taibi Sabrina, et à tous ceux qui ont contribué à mon  
éducation, ne serait-ce que par une lettre

A mes amis Alladdin, Amin, Arabi, Abdelmoumen, Marwan, Zaki, Nasser

Et tous les autres pour qui je respecte

A la famille Saadi et Ait Oukasi

Saadi Abdessalem

## Liste des abréviations

- AGIRE : agence nationale de gestion intégrée des ressources en Eau
- ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
- CORDEX : Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment
- ETP : Evapotranspiration potentiel
- GES: Gaz à effet de serre
- GIEC : Groupe intergouvernemental des experts sur le clim
- IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change
- MCG : Modèles climatiques global
- MCR : Modèles climatiques regional
- NASA : National Aeronautics and Space Administration
- OMM: Organisation météorologique mondiale
- ONERC : Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique
- ONM: Office National de la Météorologie
- ONU : Organisation des Nations Unies
- RCP : Representative Concentration Pathways
- SSP : Shared Socio-economic Pathways
- UNFCCC : United Nations Framework Convention on Climate Change

## Liste des figures

**Figure 1.1** : évolution de températures moyennes mondiale entre 1850 à 2021(NOAA - NASA - UKMet / Traitement ONERC)

**Figure 1.2** : changement de la température entre RCP 2.6 ET RCP 8.5

**Figure 1.3** : émissions de CO2 futures dans les cinq scenarios

**Figure 1.4** : a) évolution de la température moyenne annuelle entre 1901 et 2012 (en °C), b) évolution des précipitations annuelles entre 1951 et 2010 (en mm/an par décennie)

**Figure 1.5** : grands types des climats

**Figure 1.6** : classification de Köppen Giger

**Figure 1.7** : Types de Climat selon Köppen Giger

**Figure 1.8** : Répartition des précipitations annuelles d'Est en Ouest et du Nord au Sud

**Figure 1.9** : Carte pluviométrique moyenne annuelle en algerie

**Figure 1.10** : Climate zones over Algerie

**Figure 2.1** : cinq régions hydrographiques de l'Algérie

**Figure 2.2** : Situation géographique du bassin du chellif

**Figure 2.3** : sous bassins versants du Chellif

**Figure 2.4** : relief du Chellif

**Figure 2.5** : Diagramme Ombrothermique De station (ONM)

**Figure 2.6** : oueds du bassin chellif

**Figure 2.7** : population de la région par horizon et par scénario

**Figure 3.1** : Situation géographique des stations pluviométriques

**Figure 3.2** : methode de calcule des indices

**Figure 3.3** : Exemple d'un diagramme Ombrothermique

**Figure 3.4** : Représentation schématique du climato gramme d'Emberger

**Figure 3.5** : Schéma de la première phase de l'expérience CORDEX

**Figure 3.6** : Domaines régionaux étudiés dans le cadre de l'expérience CORDEX

**Figure 4.1** : Représentation des pentes de sen des stations

**Figure 4.2** : résultats des P-val

**Figure 4.3** : résultats Martonne de 20 stations

**Figure 4.4** : indice de Martonne au cours de la période d'étude

**Figure 4.5** : représentation des résultats d'indice Emberger

**Figure 4.6** : indice d'Emberger (Q2) au cours de la période d'étude

**Figure 4.7** : Variation de la pluviométrie 81-2010, RCP4.5, RCP 8.5

**Figure 4.8** : Variation des températures 81-2010, RCP4.5, RCP 8.5

**Figure 4.9** : Variation de l'indice de Martonne 81-2010, RCP4.5, RCP 8.5

**Figure 4.10** : Variation Indice d'Emberger 81-2010, RCP4.5, RCP 8.5

:

## Liste des tableaux

**Tableau 1.1** : cinq SSP et leur narratif

**Tableau 1.2** : Classifications des grands climats selon Köppen Giger

**Tableau 1.3** : Tableaux de classification selon le régime pluviométrique

**Tableau 1.4** : 6 classes caractérisant la variabilité des températures

**Tableau 1.5** : Tableaux de 33 régions climatiques

**Tableau 1.6** : Synthèse des émissions et des absorptions de GES en Algérie (1994) (Gg)

**Tableau 2.1** : sous bassins du Chellif

**Tableau 2.2** : pluies mensuelles de station

**Tableau 2.3** : températures (2T) mensuelle de station

**Tableau 3.1** : coordonnées géographiques des stations pluviométriques (degré décimale)

**Tableau 3.2** : Classification des types de climat selon les valeurs de l'indice de Martonne

**Tableau 3.4** : Modèles climatiques régionaux-CORDEX avec les modèles globaux associés

**Tableau 4.1** : résultats de petit à l'échelle annuelle

**Tableau 4.2** : années en fonction de l'indice de Martonne

**Tableau 4.3** : résultats d'indice Emberger (classification des stations)



## Sommaire

Introduction générale .....	01
Chapitre 1 Synthèse bibliographie .....	03
1.1 La variabilité climatique.....	03
1.1.1 Définitions.....	03
1.1.3 La variabilité climatique dans le bassin méditerranéenne .....	08
1.2 Classifications des climats.....	09
1.2.1 Les types des climats .....	09
1.2.2 Classification du climat selon Köppen-Giger.....	11
1.2.3 Classifications des étages bioclimatiques .....	15
1.2.4 Indice bioclimatique d'EMBERGER.....	15
1.2.5 Indice d'aridité de BAGNOULS GAUSSEN.....	16
1.2.6 Indice de de MARTONNE.....	17
1.3 Etat de la variabilité climatique en Algérie.....	18
1.4 Les étages bioclimatiques en Algérie.....	19
Chapitre 2 Présentations de la zone d'étude .....	24
2.1 Situation géographique.....	24
2.2 Le relief.....	26
2.3 Climat du bassin .....	27
2.4 Réseau hydrographie et disponibilité des ressources en eau.....	28
2.5 Retenues collinaires.....	30
2.6 La géologie.....	30
2.7 La population du bassin.....	31
Chapitre 3 Matériels et méthodes.....	33
3.1 Matériel.....	33
3.1.1XL stat.....	34

3.1.2 Système d'information géographique Arc-GIS .....	35
3.2 Méthodes.....	35
3.2.1 Tests statistiques.....	35
3.2.2 Les indices bioclimatiques .....	37
3.3 Modèles climatiques régionaux.....	40
Chapitre 4 Résultats et discussions .....	43
4 Analyse de la variabilité climatique .....	43
4.1 Analyse des tendances.....	43
4.2 Analyse de la variabilité des précipitations par le test de Pettitt .....	47
4.3 Analyse des indices bioclimatiques .....	49
4.4 Résultats de l'Indice de Martonne .....	52
4.5 Résultats de l'Indice d'Emberger .....	56
4.6 Projections climatiques.....	58
4.6.1 Variation des pluies et des températures futures.....	58
4.6.2 Variation des indices bioclimatiques au cours de la période de projection.....	60
Conclusion Générale .....	61
Références Bibliographie .....	63



# **Introduction générale**

### **Introduction générale**

Le changement climatique est l'une des préoccupations les plus importantes dans le monde compte tenu de ses conséquences sur l'homme et le système environnemental.

Ces dernières années la communauté scientifique s'intéresse de plus en plus aux changements climatiques et leur effet sur l'eau et l'agriculture.

Selon le dernier rapport du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC, 2021) la température de la terre a augmenté de 1.1°C qui peut atteindre 4.6°C à la fin de siècle si aucune mesure n'est prise en considération.

Du fait de sa position géographique, l'Algérie a connu des périodes de sécheresse intenses et persistantes particulièrement dans sa partie Nord-Ouest. Les conséquences ont été fortement ressenties sur la disponibilité des ressources en eau nécessaire au développement des différents secteurs socio-économiques particulièrement l'agriculture secteur plus consommateur d'eau.

Ainsi, c'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail qui a pour objectif l'analyse et la cartographie de l'évolution des étages bioclimatiques sous l'effet des changements climatiques dans le bassin du Chellif en se basant sur les sorties de modèle climatique régional CORDEX-Africa selon deux scénarios climatiques RCP4.5 et RCP8.5.

Le présent document s'articule autour de quatre chapitres.

- Le premier chapitre expose une synthèse bibliographique qui revient sur les différents travaux déjà menés dans le monde en méditerranée et en Algérie concernant la variabilité et les projections climatique ainsi que les indices bioclimatiques existants leur élaboration et leur interprétation.
- Le deuxième chapitre vient décrire la zone d'étude, ses caractéristiques géomorphologiques et hydro climatiques.
- Le troisième chapitre présente les données, les outils ainsi que les méthodes utilisées pour mener ce travail.

## Introduction générale

---

Le quatrième et dernier chapitre expose les différents résultats obtenus concernant la variabilité climatique et l'évolution des indices bioclimatiques dans le bassin ainsi que leur discussion.

# CHAPITRE 1

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIE

## CHAPITRE 1 : synthèse bibliographique

### 1.1. La variabilité climatique

#### 1.1.1. Définitions

##### Climat

Le climat caractérise les conditions météorologiques moyennes pour un lieu particulier sur une longue période de temps. (OMM, 2022)

##### Variabilité climatique et changement climatique

En général, la variabilité climatique se réfère à la variation naturelle intra et interannuelle du climat, alors que les changements climatiques désignent un changement du climat attribué directement ou indirectement aux activités humaines qui altèrent la composition de l'atmosphère globale et qui s'ajoutent à la variabilité climatique naturelle observée sur des périodes de temps comparables (UNFCCC, 1992).

Selon le (GIEC, 2001) les changements climatiques désignent une variation statistiquement significative de l'état moyen du climat ou de sa variabilité persistante pendant de longues périodes (généralement, pendant des décennies ou plus). Les changements climatiques peuvent être dus à des processus internes naturels ou à des forçages externes, ou à des changements anthropiques persistants de la composition de l'atmosphère ou de l'affectation des terres.

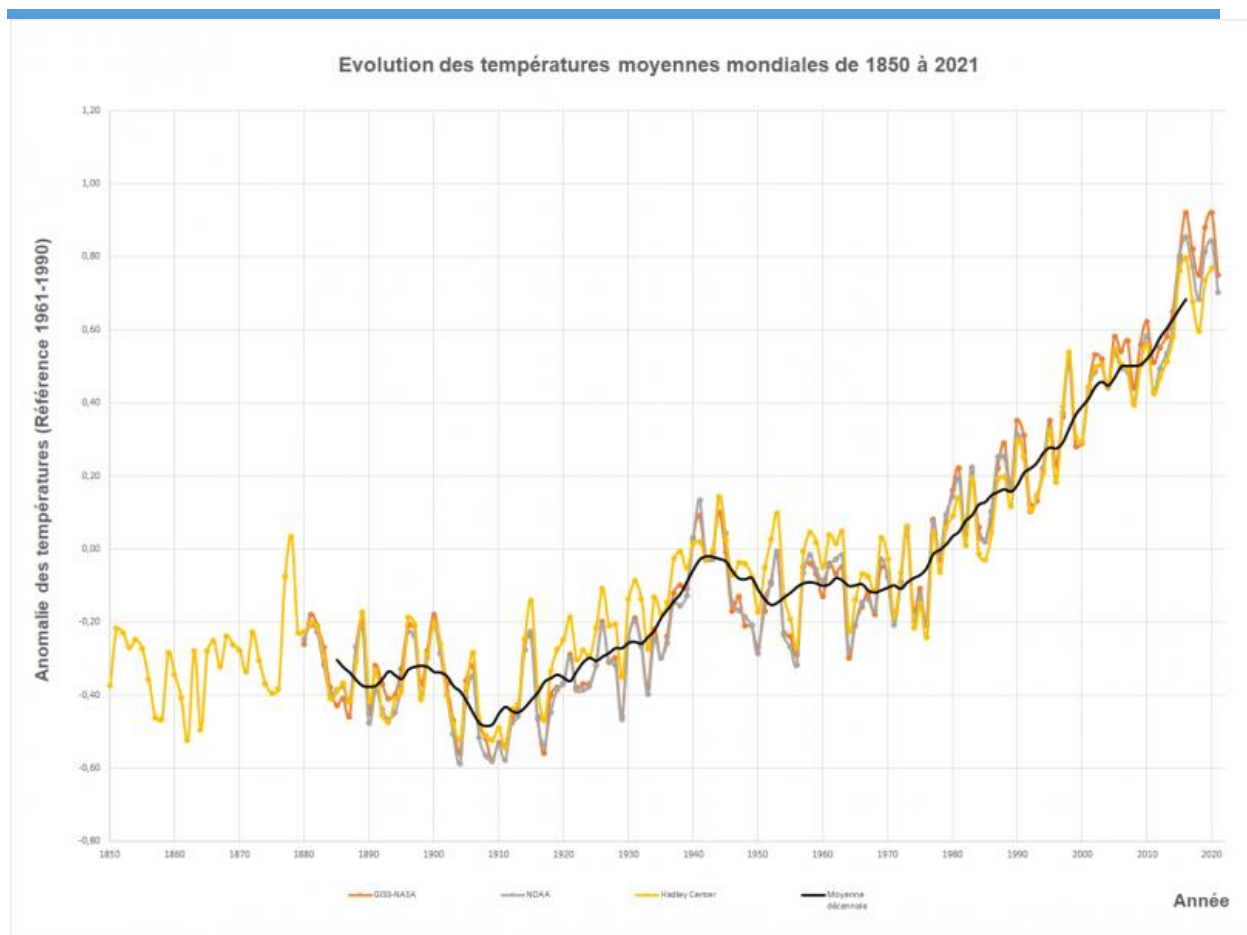
#### 1.1.2. Etat de la variabilité climatique à l'échelle globale

Selon le dernier rapport du GIEC (2022), la température de la terre a augmenté de 1,1°C par rapport à l'ère préindustrielle.

Selon Simon Stiell (2015) président de l'ONU Climat, Les derniers engagements climatiques internationaux sont loin de répondre à l'objectif de l'Accord de Paris dont l'objectif est de limiter le réchauffement climatique à 1,5° C.



## Chapitre 1 : Synthèse bibliographique



**Figure1.1** évolution de températures moyennes mondiale entre 1850 à 2021(NOAA - NASA - UKMet / Traitement ONERC)

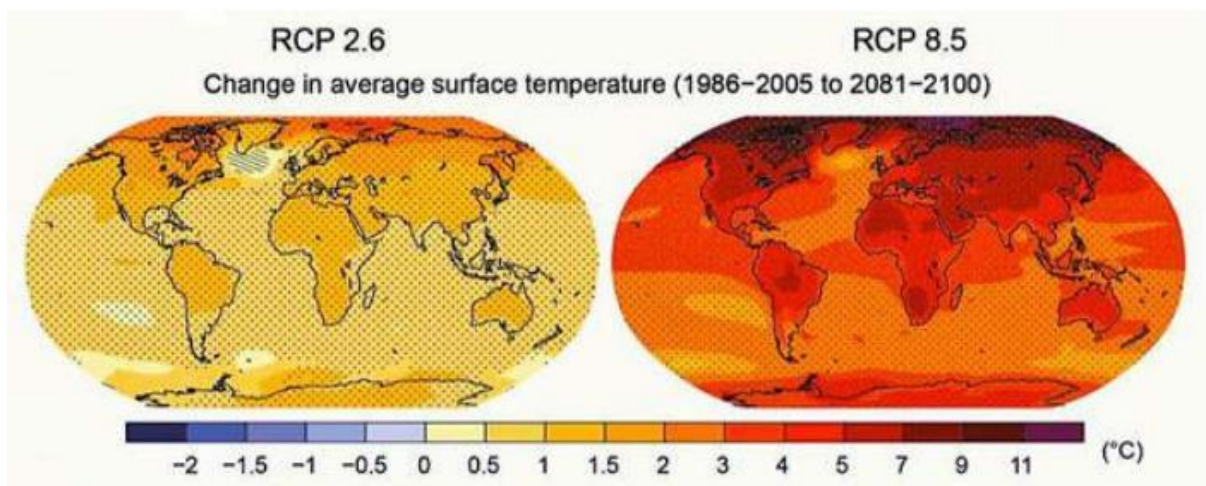
Depuis la publication du premier Rapport du GIEC en 1990, les projections estimées ont suggéré une hausse des températures mondiales moyennes d'environ 0,15°C à 0,3°C par décennie pour les années 1990–2005. Selon leur dernier rapport (GIEC, 2022), le seuil critique des 1,5°C de hausse risque d'être dépassé d'ici 2030. Les conséquences du changement climatique sont déjà observées à travers l'abondance d'inondations inattendues en plus des cyclones et de fortes vagues de chaleur, qui provoquent des incendies et affectent ainsi la biodiversité et l'économie de tout pays. Les sécheresses ont sensiblement affectés la disponibilité de l'eau et l'agriculture. Du fait du manque d'eau et les chaleurs extrêmes, les rendements de certaines cultures est à la baisse. Dans certains endroits du monde où l'accès à l'eau est d'ores et déjà limité, des risques accrus de famine commencent à poindre (Gendre, 2023).

Dans son cinquième rapport (AR5), le GIEC avait présenté quatre profils d'évolution des concentrations de GES (RCP *Representative Concentration Pathways*) : RCP2.6 ; RCP4.5 ; RCP6.0 ; RCP8.5, du plus optimiste au plus

pessimiste, nommés d'après la valeur du forçage radiatif induit à l'horizon 2100 (pour le RCP8.5, le forçage radiatif s'élève à 8.5 W/m<sup>2</sup>).

L'augmentation des températures moyennes à la surface du globe pour la période 2081–2100, relativement à 1986-2005, sera probablement dans les plages suivantes (GIEC, 2013) pour chaque scénario:

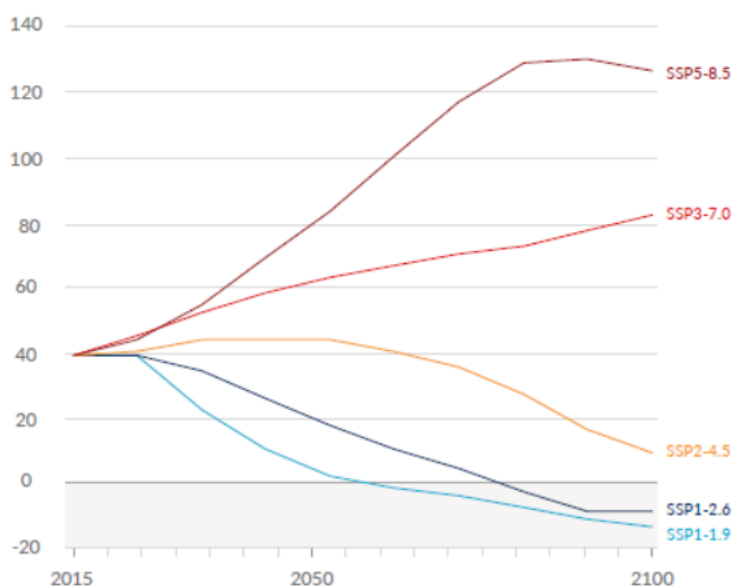
- RCP 2.6 : 0,3 °C à 1,7 °C
- RCP 4.5 : 1,1 °C à 2,6 °C
- RCP 6.0 : 1,4 °C à 3,1 °C
- RCP 8.5 : 2,6 °C à 4,8 °C



**Figure 1.2** Le changement de la température entre RCP 2.6 ET RCP 8.5

Dans son dernier rapport, le GIEC a présenté cinq nouveaux scénarios SSP (Shared Socio-economic Pathways) allant d'un scénario dans lequel les émissions de CO<sub>2</sub> diminuent drastiquement pour atteindre la neutralité carbone vers 2050 et sont négatives dans la deuxième moitié du siècle (SSP1-1.9) à un scénario dans lequel les émissions de CO<sub>2</sub> continuent d'augmenter fortement jusqu'à être deux fois supérieures aux niveaux actuels en 2050 et plus de trois fois supérieures en 2100 (SSP 8.5).

La neutralité carbone implique un équilibre entre les émissions de carbone et l'absorption du carbone de l'atmosphère par les puits de carbone. Pour atteindre des émissions nettes nulles, toutes les émissions de gaz à effet de serre dans le monde devront être compensées par la séquestration du carbone.



**Figure1.3** émissions de CO2 futures dans les cinq scénarios (GIEC ,2021)

Un cinquième profil plus optimiste a été élaboré plus récemment par la communauté scientifique : le RCP1.9. Il a été défini dans le cadre du rapport spécial du GIEC (2021) sur les conséquences d'un réchauffement global de 1,5 °C et du processus d'élaboration du sixième rapport d'évaluation (AR6) (figure1.3).

**Tableau1.1** Les cinq SSP et leur narratif (GIEC ,2021)

Scénario	Narratif	Défi pour L'atténuation	Défi pour L'adaptation
SSP1 développement durable	Forte coopération internationale, priorité donnée au développement durable, amélioration des conditions de vie et préférences des consommateurs pour des biens et services respectueux de l'environnement, peu intensifs en ressources et en énergie	Faible	Faible
SSP2 poursuite des tendances	Les tendances sociales, économiques et technologiques actuelles se poursuivent, le développement et la croissance progressent de manière inégale selon les pays et les régions. Les institutions nationales et internationales œuvrent à la réalisation des objectifs de développement durable qui progresse lentement.	Moyen	Moyen

## Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

	L'environnement se dégrade malgré un développement moins intensif en ressources et en énergie.		
SSP3 rivalités régionales	Résurgence des nationalismes, développement économique lent, persistance des inégalités et des conflits régionaux. Les pays sont guidés par des préoccupations en matière de sécurité et de compétitivité. Ils se concentrent sur les problèmes nationaux voire régionaux et sur les enjeux de sécurité alimentaire et énergétique. Faible priorité internationale pour la protection de l'environnement, qui se dégrade fortement dans certaines régions.	Elevé	Elevé
SSP4 inégalités	Développement marqué par de fortes inégalités entre et à l'intérieur des pays. Dégradation de la cohésion sociale et multiplication des conflits. Fossé croissant entre une élite connectée et mondialisée, responsable de la majorité des émissions de GES, et un ensemble fragmenté de populations à faible revenu, peu éduqué et vulnérable au changement climatique. Le secteur énergétique se diversifie entre sources d'énergie fortement carbonées et décarbonées. Les politiques environnementales se concentrent sur les enjeux locaux	Faible	Elevé
SSP5 développement conventionnel	Développement adossé à l'exploitation forte des énergies fossiles et marqué par des investissements élevés dans la santé, l'éducation et les nouvelles technologies. Adoption de modes de vie intensifs en ressources et en énergie à travers le monde. La croissance économique et le progrès technologique sont élevés. Les problèmes de pollution locale sont bien gérés et l'adaptation est facilitée notamment grâce au recul de la pauvreté	Elevé	Faible

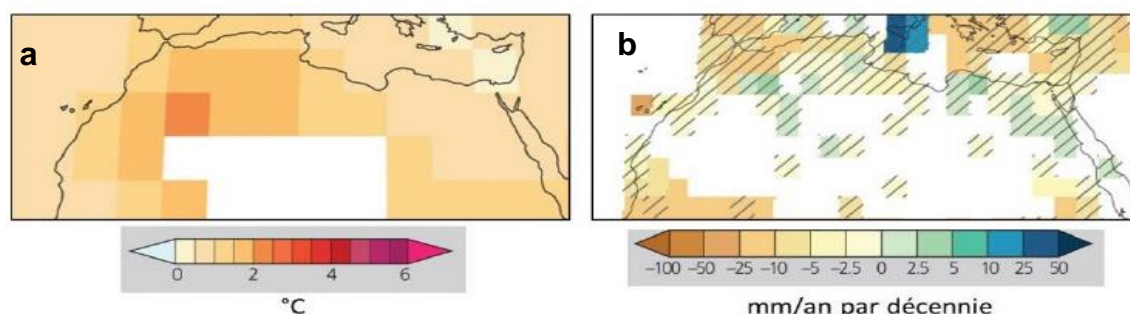
### 1.1.3 La variabilité climatiques dans le bassin méditerranéenne

Le bassin méditerranéen est considéré comme le hot-spot du réchauffement climatique. Les chercheurs ont noté des températures de 1,5 °C environ au-dessus des moyennes d'avant la Révolution industrielle (1880-1899). Soit quelque 20 % de plus que sur le reste de la planète où le réchauffement est actuellement établi à +1,1 °C. Sans mesure d'atténuation supplémentaire, la température régionale augmentera de 2,2 °C par rapport à la période préindustrielle d'ici 2040, pouvant dépasser 3,8 °C dans certaines régions d'ici 2100. (Mayer, 2019).

La variabilité des précipitations du bassin méditerranée est associée à des périodes de sécheresse de plus en plus importante. La variabilité des températures présente des signes d'augmentation, notamment en été caractérisé par des vagues de chaleur estivale importante tandis qu'en hiver les vagues de froid sont en diminution.

Les études menées en Espagne (Pérez Z et al .2017, Cramer W et al. 2019), en Italie (Caloiero et al.2018 ; Gentilucci et al .2019), en Grèce (Drogoudi et al .2020 ; Markonis et al.2017), en Turquie (Unal et al .2020) ont toutes mis en évidence une augmentation de la fréquence des sècheresses et des vagues de chaleurs.

Les observations de température et précipitation présentées dans le rapport du GIEC (2014) ont montré une augmentation significative des températures en Afrique du Nord. Effectivement, au cours de ces dernières années , les conditions climatiques actuelles se sont aggravées en Afrique et plus particulièrement dans la partie Nord qui a connu une baisse importante des précipitations confirmée par plusieurs études menées en Algérie (Taibi et al., 2019), au Maroc (Ouhamdouch S et al., 2020) en Tunisie (Melki A et al., 2019) en Egypte (Mostafa A.N et al ., 2019)



**Figure1.4:** a) évolution de la température moyenne annuelle entre 1901 et 2012 (en °C), b) évolution des précipitations annuelles entre 1951 et 2010 (en mm/an /décennie) (IPCC, 2014)



## Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

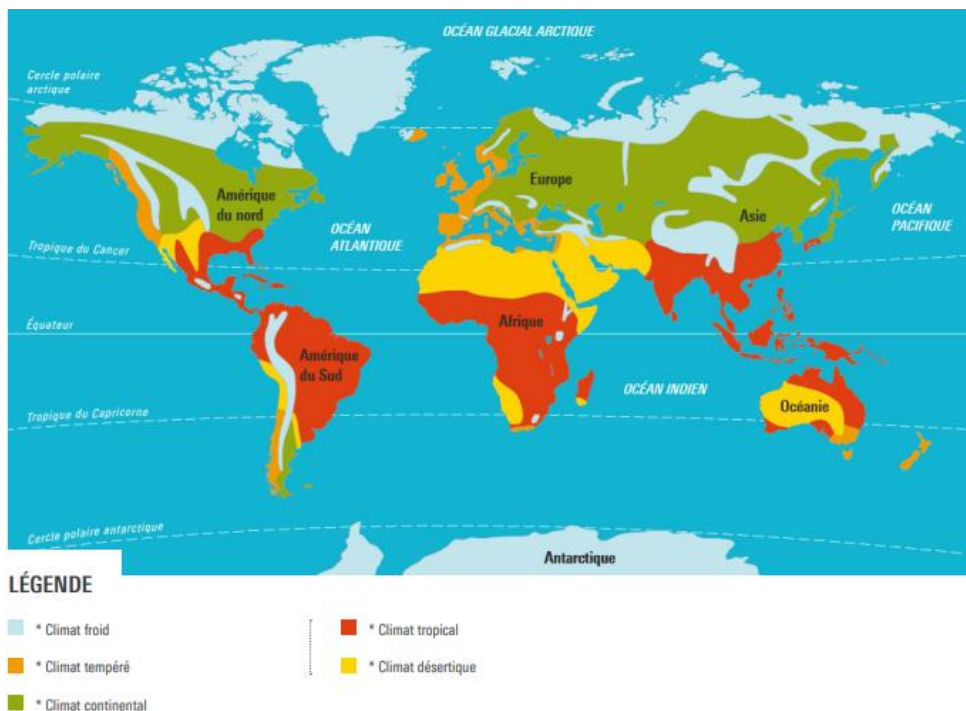
Par ailleurs, les modèles climatiques prédisent une tendance à la réduction des précipitations. Dans le sud et à l'est de la Méditerranée, les précipitations pourraient diminuer de 20 % dans le cas d'un réchauffement de 2°C et de 40 % si aucune mesure n'est prise en considération. Ainsi près de 250 millions de personnes pourraient se retrouver considérées en situation de « stress hydrique » d'ici 20 ans seulement (Mayer ,2019)

### 1.2 Classifications des climats

#### 1.2.1 les types des climats

Il existe plusieurs types de climat dans le monde, qui peuvent être classé de manière générale en 5 grandes classes à savoir :

- Climat tempéré
- Climat continental
- Climat tropical
- Climat désertique
- Climat froid



**Figure1.5** les 5 grands type des climats (francetv éducation)

- **Climat tempéré :**

## Chapitre 1 : Synthèse bibliographie

Les climats tempérés sont des climats intermédiaires entre les climats froids et chauds. Les climats tempérés sont situés dans les latitudes moyennes, généralement entre 40° et 60° de latitude (Decrouy,2021).

Il existe au total **4 types de climats tempérés** :

- **Climat méditerranéen** : On le trouve sur le **côté Ouest des continents**, mais il est toutefois typique de l'Europe méditerranéenne. Il se caractérise par des **étés secs et chauds et des hivers doux**, bien que des gelées et des neiges puissent également y survenir. Dans ce type de climat, il y a de forts contrastes de température entre l'été et l'hiver, la différence étant plus prononcée à l'intérieur des terres.
- **Climat océanique** : Dans ce type de climat, **l'action régulatrice de l'océan** est fondamentale. Aussi bien les courants marins chauds que les masses d'air chargées d'humidité de la mer régulent les températures en été et en hiver. Par conséquent, l'oscillation thermique annuelle est plutôt faible. D'une autre part, dans ce type de climat, les précipitations sont favorisées durant toute l'année, toutefois, elles sont moins abondantes en été.
- **Climat continental** : Le climat continental est aussi connu comme **climat micro thermique**. Il est caractérisé par la **grande différence de température entre l'hiver et l'été**. Il y a également une grande variation de température entre le jour et la nuit. Le climat continental se développe à l'intérieur des continents, là où l'action régulatrice de la mer est hors de portée. Les précipitations sont faibles et se produisent en été. Les hivers sont longs et froids.
- **Climat chinois** : Ce type de climat se présente **sur les côtés orientaux des continents**. Il est ainsi nommé car il touche principalement l'Est de la Chine, mais aussi d'autres régions du monde. Dans le climat chinois, l'été est très chaud, contrairement à l'hiver, où l'on enregistre des températures basses, inférieures à 0°C. Il n'y a pas de saison sèche et les précipitations sont abondantes. Dans ce type de climat, il y a une forte humidité et, en été, il est extrêmement similaire au climat de la jungle équatoriale

➤ **Climat continental** :

Le climat continental est aussi connu comme climat micro thermique. Il est caractérisé par la grande différence de température entre l'hiver et l'été. Il y a également une grande variation de température entre le jour et la nuit. Le climat continental se développe à l'intérieur des continents, là où l'action régulatrice de la mer est hors de portée. Les précipitations sont faibles et se produisent en été. Les hivers sont longs et froids. (Decrouy,2021)

### ➤ **Climat tropical :**

Ces climats présentent également des températures élevées, avec des moyennes supérieures à 18°C. Cependant, l'amplitude thermique est plus importante que dans le cas précédent. Dans ces types de climats, il y a une alternance de saison des pluies et de saison sèche. Dans certains cas, la saison sèche est de plus longue durée et devient prédominante. La même chose se produit dans d'autres endroits avec la saison des pluies. C'est pourquoi on parle de climat tropical sec et aussi de climat tropical humide. On le connaît également sous le nom de climat tropical de savane. (Decrouy,2021)

### ➤ **Climat désertique :**

La caractéristique principale du climat sec ou aride est le manque d'eau et l'irrégularité des précipitations. En fonction de si la sécheresse est majeure ou mineure, il est possible d'avoir affaire à un climat désertique ou de steppe, ce dernier étant considéré comme un climat de transition avant le désertique. Il est aussi caractérisé par des vents secs et des grandes variations de températures durant la journée, ensuite, durant la nuit, les températures baissent drastiquement. (Decrouy,2021)

### ➤ **Climat froid :**

Dans le **climat polaire ou climat glaciaire**, normalement, les températures ne dépassent jamais les 0°C. Les précipitations sont plus faibles que dans le climat de toundra et les vents forts sont très présents. La différence de température entre la nuit et le jour est élevée. Une autre caractéristique est que dans ce type de climat, le sol est gelé en permanence (permafrost) (Decrouy,2021).

## 1.2.2 Classification du climat selon Köppen-Giger



## Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

Wladimir Peter Köppen est un climatologue et météorologue allemand d'origine russe. Il est le premier à avoir dressé une cartographie complète des régions climatiques du globe. Ce travail mène au développement du système de Classification de Köppen (basé sur les précipitations et les températures) aux alentours de 1900, qu'il continua à améliorer toute sa vie. La version complète de son système apparaît pour la première fois en 1918, et après plusieurs modifications, la version finale est publiée en 1936. Jusqu'à la fin de sa vie, Köppen coopère avec le climatologue allemand Rudolph Geiger. Après la mort de Köppen en 1940, Geiger continue à travailler aux modifications du système de classification des climats. Un climat est ainsi repéré par un code de deux ou trois lettres. La version présentée par Rudolf Geiger en 1961 est la plus courante des classifications climatiques. Un très grand nombre d'études climatiques et de publications ont adopté une des versions de ce système. La carte de Köppen-Geiger reste aujourd'hui une référence, grâce à ces mises à jour fréquentes ([https://meteo45.com/classification\\_des\\_climats](https://meteo45.com/classification_des_climats)).

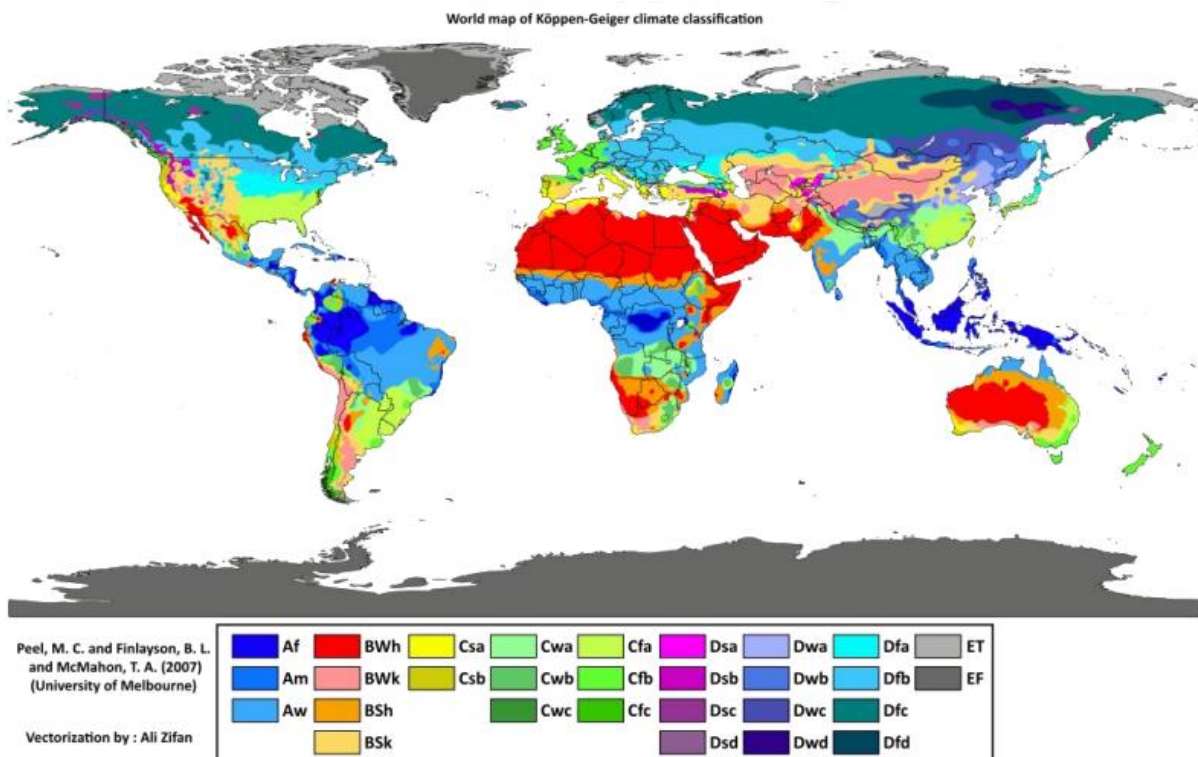


Figure1.6 La classification de Köppen Giger (peel et al. 2007)

## Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

La classification des climats proposée par Koppen-Giger repose sur les variations des pluies et des températures. Ainsi, le climat d'une région donnée est représenté par 3 lettres où :

La première lettre désigne le type de climat (grands climats)

La deuxième lettre définit le Régime pluviométrique

La troisième lettre exprime la température

En se basant sur ces trois variables (grand climat, régime pluviométrique, température) Koppen-Giger ont défini cinq classes pour les grands climats, neuf classes pour le régime pluviométrique et six classes pour la variation de température.

En tenant compte de ces 3 classifications, il existe au total 33 types de climat.

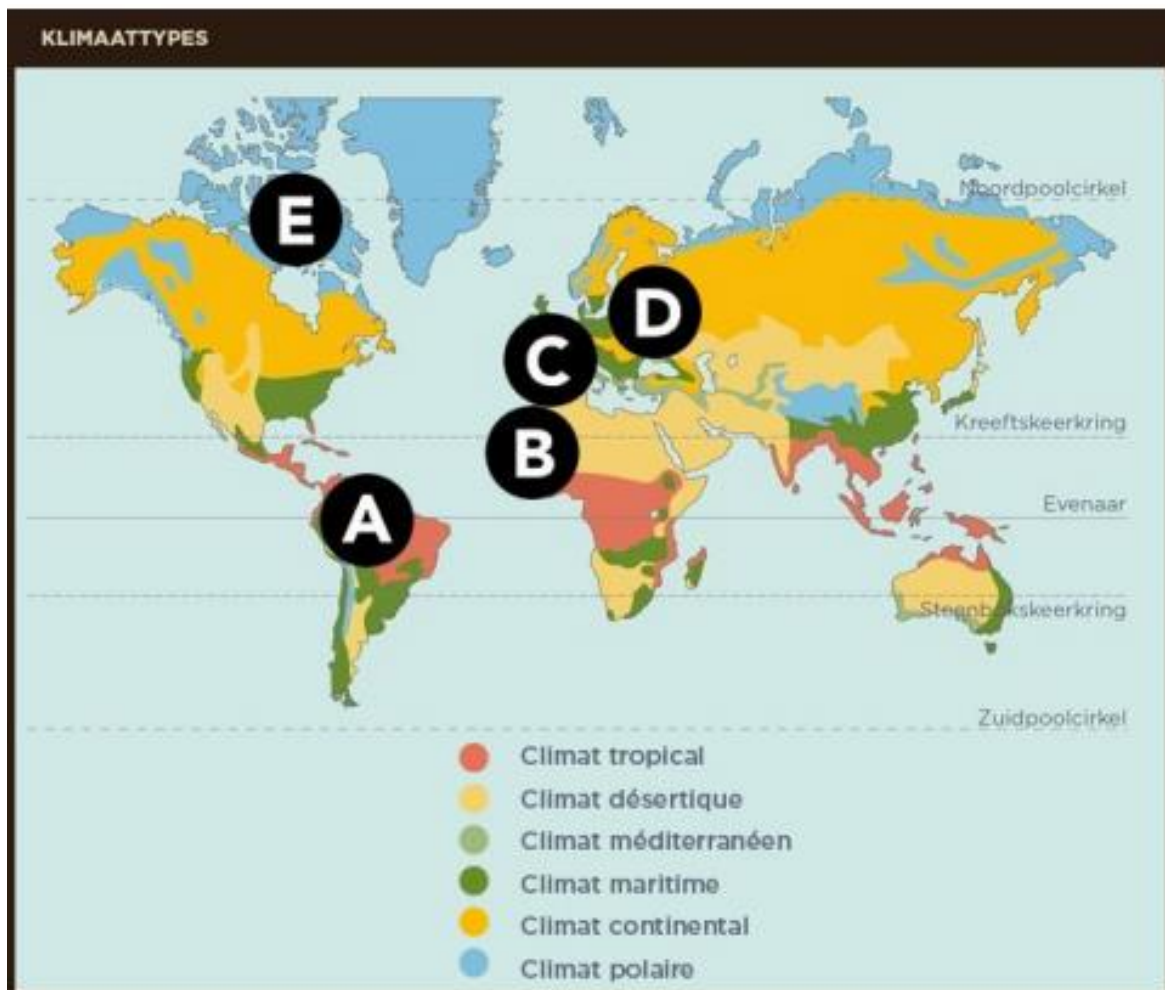


Figure1.7 Types de Climat selon Köppen Giger

**Tableau1.2** : Classifications des grands climats selon Köppen Giger

Code	Type
<b>A</b>	<b>Climat tropical</b>
<b>B</b>	<b>Climat sec</b>
<b>C</b>	<b>Climat tempère</b>
<b>D</b>	<b>Climat continentale</b>
<b>E</b>	<b>Climat polaire</b>

**Tableau1.3** : classification de Koppen selon le régime pluviométrique

Code	Description	S'applique à
S	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Climat de steppe</li> <li>• Précipitations annuelles comprises entre 380 et 760 mm</li> </ul>	<b>B</b>
W	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Climat désertique</li> <li>• Précipitations annuelles &lt;250 mm</li> </ul>	<b>B</b>
w	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Saison sèche en hiver :</li> <li>• Pour A : climat de la savane, P du mois hivernal le plus sec &lt; 60 mm</li> <li>• pour C et D : P du mois hivernal le plus sec &lt; 1/10 du mois le plus humide</li> </ul>	<b>A-C-D</b>
s	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Saison sèche en été</li> <li>• Pour A : climat de la savane, P du mois estival le plus sec &lt; 60 mm</li> <li>• Pour C et D : P du mois estival le plus sec &lt; 40 mm et &lt; 1/3 du mois hivernal le plus humide</li> </ul>	<b>A-C-D</b>
f	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Climat humide, précipitations tous les mois de l'année</li> <li>• Pour A : climat de la forêt tropicale, P du mois le plus sec &gt; 60 mm</li> <li>• Pour C et D : pas de saison sèche,</li> </ul>	<b>A-C-D</b>
m	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Climat de mousson :</li> <li>• P du mois le plus sec &lt; 60 mm</li> <li>• Précipitations annuelles &gt;1500 mm</li> </ul>	<b>A</b>
T	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Température moyenne du mois le plus chaud comprise entre 0 °C et 10 °C</li> </ul>	<b>E</b>
F	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Température moyenne du mois le plus chaud &lt; 0 °C</li> </ul>	<b>E</b>
M	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Précipitations abondantes</li> <li>• Hiver doux (Température moyenne du mois le plus froid &gt; -10 °C)</li> </ul>	<b>E</b>

## Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

**Tableau1.4** : classification de Koppen selon la variabilité des températures

Code	Description	S'applique à
a : été chaud	Température moyenne du mois le plus chaud > 22 °C	C-D
b : été tempéré	-Température moyenne du mois le plus chaud < 22 °C -Températures moyennes des 4 mois les plus chauds > 10 °C	C-D
c : été court et frais	-Température moyenne du mois le plus chaud < 22 °C -Températures moyennes mensuelles > 10 °C pour moins de 4 mois -Température moyenne du mois le plus froid > -38 °C	C-D
d : hiver très froid	-Température moyenne du mois le plus froid < -38 °C	D
h : sec et chaud	-Température moyenne annuelle > 18 °C	B
k : sec et froid	-Température moyenne annuelle < 18 °C	B

**Tableau1.5** classification de 33 régions climatiques selon Koppen

Classes	Types de climat
<b>A</b>	-Équatorial : Af -Mousson : Am Savane : Aw, As
<b>B</b>	Désertique : BWh, BWk, BWn Semi-aride : BSh, BSk, BSn
<b>C</b>	Subtropical humide : Cfa, Cwa Océanique : Cfb, Cwb, Cfc, Cwc Méditerranéen : Csa, Csb, Csc
<b>D</b>	Continental humide : Dfa, Dwa, Dfb, Dwb Subarctique : Dfc, Dwc, Dfd, Dwd Continental méditerranéen : Dsa, Dsb, Dsc, Dsd
<b>E</b>	Toundra : ET (*toundra: type de végétation caractéristique des régions du climat polaire) · Inlandsis : EF (*Inlandsis: calotte polaire)

**Dans notre travail on a dans la classe C type de climat méditerranéen**

### 1.2.3 Classifications des étages bioclimatiques

Pour caractériser les étages bioclimatiques, il existe un certain nombre d'indices établis sur la base des données de pluie et de température d'une région donnée, tel que l'indice bioclimatique d'EMBERGER, l'Indice d'aridité, l'indice de Bagnouls gausсен.

### 1.2.4 Indice bioclimatique d'EMBERGER

Parmi les indices bioclimatiques utilisés de façon traditionnelle en Afrique du Nord et en Méditerranée, on distingue l'indice bioclimatique d'Emberger. Celui-ci prend en compte les précipitations annuelles, la moyenne des Maxima de température du mois le plus chaud (M en °C) et la moyenne des minima de température du mois le plus froid (m en °C) (**MOKHTARI et al, 2013**)

$$Q2=2000*P/ (M+m+546.4)*(M-m)$$

**P:** la pluviométrie annuelle en mm

**M:** la température maximale du mois le plus chaud en °C (Juillet)

**m :** la température minimale du mois le plus froid en °C (Janvier)

**-Emberger** a pris en considération deux caractères pour déterminer le climat :

- Les tranches de végétation.
- Les facteurs thermiques (quotient pluviothermique)

À partir de Q2, Emberger a classé la région méditerranéenne en cinq étages bioclimatiques (saharien, aride, semi-aride, subhumide et humide). Il a aussi établi une délimitation zonale du bioclimat méditerranéen, du plus sec vers le plus humide. On distingue alors :

- L'étage Saharien < 100 mm
- L'étage Aride 100 mm – 400 mm
- L'étage Semi-Aride 400 mm – 600 mm
- L'étage Subhumide 600 mm – 800 mm
- L'étage Humide > 800 mm

### 1.2.5 Indice d'aridité de BAGNOULS GAUSSEN

L'indice Ombrothermique traduit l'effet du stress hydrique sur le développement de la végétation et la formation de la biomasse (Bagnouls et Gaussen, 1953) et exprime la durée et l'intensité de la saison sèche. Il est employé pour identifier des phénomènes liés à la sécheresse (indiqués par des valeurs positives de (BGI) et pour l'évaluation des zones sensibles à la désertification dans la région méditerranéenne (**MOKHTARI et al, 2013**)

Ainsi, il définit comme mois sec ou aride tout mois ayant le rapport entre les précipitations et la température moyenne du mois inférieur à deux, c'est-à-dire quand les pertes en eau (supposées causées par une température trop forte) sont supérieures aux apports (précipitations). Inversement, quand  $P > 2T$ , le mois est considéré comme humide. En région méditerranéenne, certains auteurs définissent un mois sec quand  $P < 3T$  ou  $P < 4T$  (MOKHTARI et al, 2013)

$$BGI = \sum_{i=1}^{n12} (2Ti - Pi) \cdot K$$

**Ti** : température moyenne du mois i en °C ;

**Pi** : précipitation moyenne du mois i en mm ;

**Ki**: proportion du mois pendant laquelle  $2Ti > Pi$ .

### 1.2.6 Indice de de MARTONNE

Cet indice est largement utilisé pour l'évaluation de la qualité du climat et traduit le déficit annuel entre la quantité des précipitations reçue (P) par rapport à la demande évaporative de l'atmosphère (ETP), (MOKHTARI et al, 2013) ce qui implique que plus l'indice est faible plus l'aridité est élevée.

$$I = P / (T + 10)$$

Où: T: température moyenne annuelle en °C ;

P: précipitation moyenne annuelle en mm.

Cette indice, appelé parfois indice de sécheresse de Martonne, peut être calculé aussi mensuellement et donne une indication sur le degré de sécheresse par rapport à la demande évaporative moyenne de l'atmosphère approché par la température. Au niveau mondial, De Martonne a proposé six grands types de macroclimats allant des zones désertiques ou hyperarides ( $I < 5$ ) aux zones humides à forêt prépondérante ( $I > 40$ ). Les zones hyperarides sont caractérisées par des précipitations exceptionnelles.

### Indice d'aridité UNEP

L'indice d'aridité (UNEP, 1997) est un indicateur du degré d'aridité du climat à un endroit donné par rapport à la demande évaporative de l'atmosphère. Il est défini comme suit :

---

$AI = P/ETP$

Où: P : précipitation annuelle moyenne en mm ;

ETP: évapotranspiration potentielle annuelle moyenne en mm.

Cet indice est largement utilisé pour l'évaluation de la qualité du climat et traduit le déficit annuel entre la quantité des précipitations reçue (P) par rapport à la demande évaporative de l'atmosphère (ETP), ce qui implique que plus l'indice est faible plus l'aridité est élevée et permet de classer les climats de l'hyperaride à l'humide selon les valeurs suivantes :

Hyperaride  $I < 0,05$

Aride  $0,05 < I < 0,20$

Semi-aride  $0,21 < I < 0,50$

Sub-humide sec  $0,51 < I < 0,65$

Sub-humide et humide  $I > 0,65$

### 1.3 Etat de la variabilité climatique en Algérie

En Algérie, les émissions de gaz à effet de serre sont estimées à 75 870 Gg de CO<sub>2</sub>, de 914 Gg de CH<sub>4</sub> et à 31 Gg de N<sub>2</sub>O. La séquestration de CO<sub>2</sub> par les forêts est estimée à 4331 Gg. Les résultats de tableaux suivants montrent que c'est essentiellement le secteur de l'énergie qui est responsable à plus des deux-tiers des émissions (66,92%). Le potentiel du pays en hydrocarbures explique en grande partie cette situation. Le changement d'affectation des terres et la foresterie est le second secteur important du point de vue des émissions (12,44%), qui ne sont pas suffisamment atténuées par la séquestration qu'il assure. L'agriculture est le troisième secteur émetteur de gaz à effet de serre avec plus de 11,49% du total. Le secteur des déchets intervient pour 4,59% et celui des procédés industriels pour 4,52%. Le gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) est le gaz le plus émis avec 72,40%, suivi du méthane (CH<sub>4</sub>) avec 18,31% et de l'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O) avec 9,29%. Les émissions fugitives liées aux activités gazières et pétrolières sont loin d'être négligeables. Néanmoins, l'absence de coefficients d'émissions spécifiques à l'Algérie a fait que dans la majeure partie des calculs, ce sont les facteurs d'émissions par défaut, proposés par le manuel de référence de l'inventaire (GIEC), qui ont été utilisés. (FARAH, 2014)

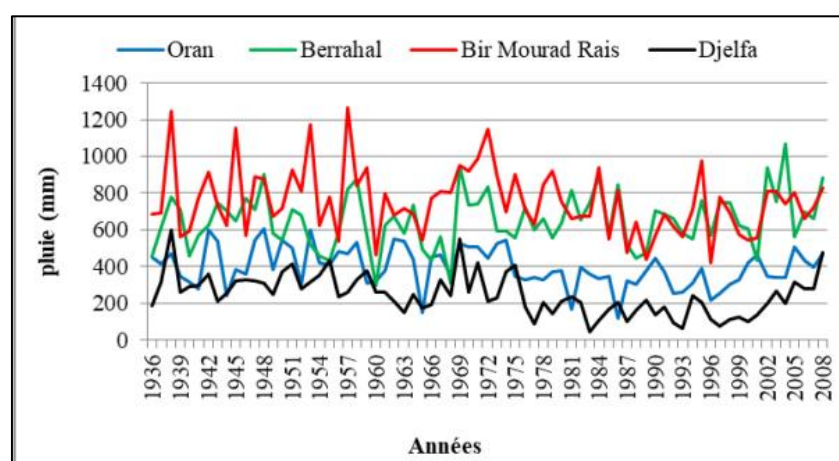


## Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

**Tableau1.6** : Synthèse des émissions et des absorptions de GES en Algérie (1994) (Gg). (Farah, 2014)

Secteur	CO2 émissions	CO2 absorptions	CH4	N2O	NOX	CO	COVNM	SO2
Energie	59245,74	0	515,57	0,3	238,41	916,09	184,46	31,69
Procédés Industriels	4437,8	0	0,24	0,88	2,47	5,35	92,91	7,89
Solvants	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
Agriculture	0	0	168,04	27,45	0,88	921,43	NC	0
Soils/Forêts	12166,55	4331,46	20,61	1,42	5,12	180,34	NC	0
Déchets	0	0	209,51	1,34	0	100	NC	0
Total	758711,09	4331,46	913,97	31,39	246,86	1123,21	277,37	39,58

En Algérie, les changements climatiques constituent une préoccupation majeure. En effet, de par sa position géographique, l'Algérie est exposée aux effets négatifs des changements climatiques et des émissions des gaz à effet de serre, notamment les inondations, la sécheresse et les vagues de chaleur.

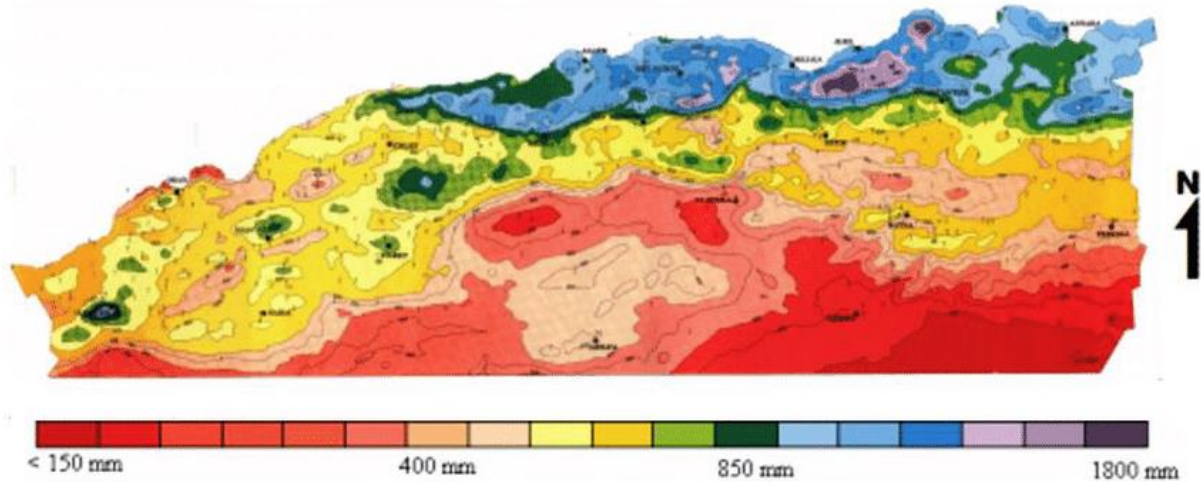


**Figure1.8** Répartition des précipitations annuelles d'Est en Ouest et du Nord au Sud (source : Taibi, 2016)

Taibi (2016) a constaté que les régimes de pluies sont très irréguliers d'une région à l'autre, notamment entre le Nord et le sud et entre l'Est et l'Ouest. Les précipitations ont tendance à augmenter d'Ouest en Est et diminuer du Nord vers le Sud. Sur la période 1936/1937-2008/2009, les pluies moyennes annuelles sont d'environ 396mm à Oran, 653mm à Berrahal, 756mm à Bir Mourad Rais et 248mm à Djelfa. L'irrégularité des régimes de pluies est très prononcée à l'échelle saisonnière. Les quantités de pluies les plus importantes tombent entre les mois de novembre et février, alors que



la saison d'été est la plus sèche. L'irrégularité est aussi bien marquée d'une année à l'autre.



**Figure1.9** Carte pluviométrique moyenne annuelle en algérie (ANRH, 1993)

L'étude réalisée par l'ONM sur l'évolution des températures a révélé que celles-ci sont en hausse depuis 1990, date du début des émissions à effet de serre. Concernant la pluviométrie en Algérie, l'étude fait ressortir un recul de 12% pour la période 1990-2005 en comparaison avec 1961-1990, causant une sécheresse à grande échelle au moment même où d'autres régions enregistrent des inondations dont celle de Bab El Oued en 2001 et dans la ville d'El Taref en 2012. L'évolution des températures en Algérie montre une hausse sur l'ensemble du territoire au cours des saisons d'hiver et d'automne et une hausse nette des températures minimales et maximales dans toutes les stations de l'Algérie du Nord et se prolonge jusqu'à nos jours (FARAH, 2014). Durant ces 20 dernières années, les températures maximales ont augmenté plus que les minimales. Quant aux précipitations, pour les mêmes périodes l'examen montre qu'en automne et en hiver, il y a diminution des pluies sur le Nord, et en printemps dans l'Est du pays.

Selon MATE (2003), il a été constaté entre les périodes 1931-1960 et 1961-1990 :

- une hausse de température de l'ordre de 0,5°C ;
- une baisse de la pluviométrie en moyenne de 10% ;
- un déficit hydrique plus important à l'Ouest qu'au Centre et qu'à l'Est du pays.

## Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

Pour la période 1990 – 2020, la hausse de la température moyenne sera comprise entre 0,8°C et 1,1°C et la baisse des précipitations moyennes seront de l'ordre de 10 %. L'élévation du niveau de la mer sera comprise entre 5 cm et 10 cm. L'intensification de l'évaporation due à l'augmentation de la température s'ajoute à la baisse des précipitations pour diminuer encore plus la quantité des eaux mobilisables au niveau des barrages et des nappes souterraines. Les projections à l'horizon 2020 et 2050 indiquent que les saisons seront dérégulées et les températures continueront de croître. La période pluvieuse sera concentrée sur une courte période entraînant des risques d'inondations. De même, il y aura une augmentation de la fréquence des sécheresses. (FARAH, 2014)

Selon Taibi et al. (2021) le Nord de l'Algérie est marqué par un réchauffement de 0,8 à 0,9°C observée depuis les années 1980. Ce réchauffement dépasse le plus souvent 1°C à l'échelle saisonnière, particulièrement en été, alors qu'aucune tendance significative n'est observée en hiver. Sur les hauts plateaux, le réchauffement est plus accentué, à l'échelle mensuelle il dépasse 1°C entre avril et octobre et atteint les 2°C au mois d'octobre. Ces constatations montrent que le réchauffement climatique a affecté l'intérieur du pays sur plus de 100 km de la mer Méditerranée.

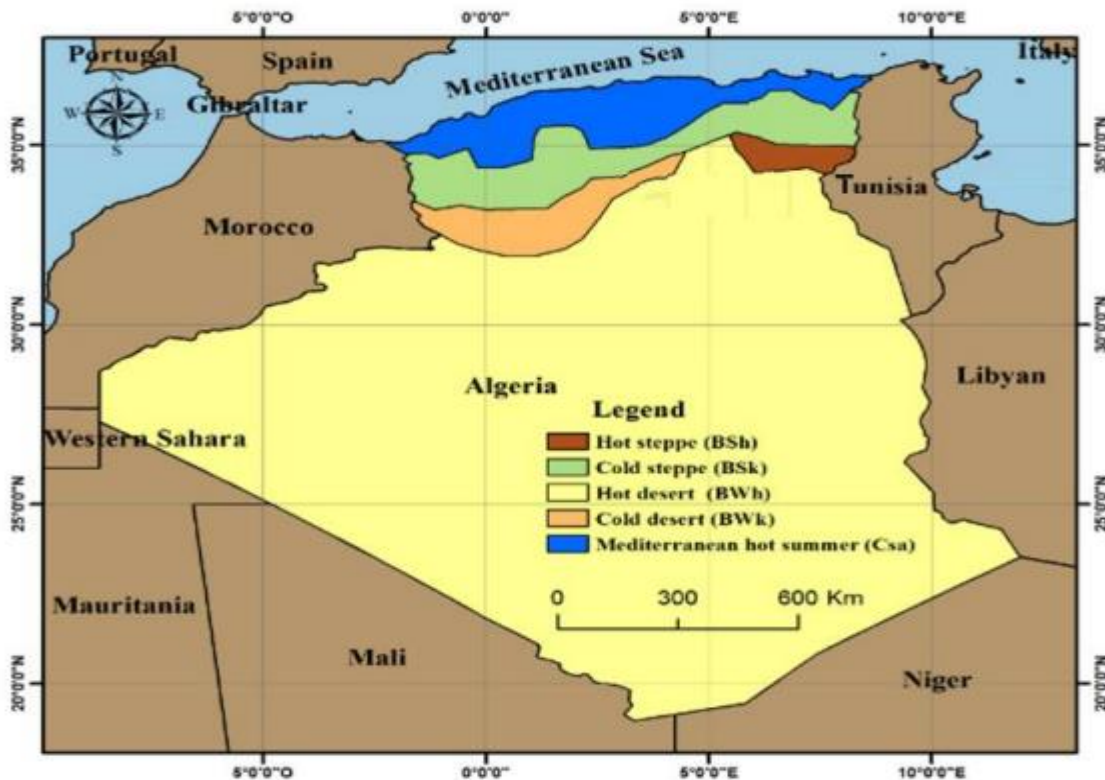


Figure 1.10 Climate zones over Algeria (Zeroual et al, 2019)

Concernant la classification des climats en Algérie, l'étude menée par Zeroual et al. (2019) a mis en évidence 5 régions selon la classification de Köppen Giger à savoir

BSh : climat de steppe (semi-aride)

BSk : climat de steppe (semi-aride)

BWh : climat de steppe (désertique)

BWk : climat désertique

Csa : climat tempéré chaud avec été sec (méditerranéen)

### 1.4 Les étages bioclimatiques en Algérie

L'algerie comporte quatre étages bioclimatiques :

**-Un étage bioclimatique désertique (hyperaride) dans la région saharienne :** Les précipitations sont exceptionnelles et très irrégulières provoquant souvent des inondations, elles sont inférieures à 100 mm par an ; le Sahara est une des régions les plus chaudes du monde, les températures de jour atteignent en été 45°C et même 50°C, la température moyenne saisonnière est de 15 à 28°C en hiver et atteint 40 à 45°C en été. Le sirocco est un vent du sud chaud et sec. (KOLLI et LEMOUCHI ,2020)

**-L'étage bioclimatique semi-aride sur les hautes plaines et dans l'atlas Saharien:** Les précipitations sont faibles et irrégulières, de 200 à 400 mm par an ; les pluies sont rares, la température descend souvent au-dessous de 0°C en hiver. En été elle dépasse 30°C et voir même 40°C. (KOLLI et LEMOUCHI ,2020)

**-L'étage bioclimatique subhumide (sur la côte et dans L'atlas Tellien) :** Il est caractérisé par des hivers pluvieux et doux, et des étés chauds et secs, tempéré par des brises de mer ; les précipitations diminuent d'Est en Ouest (1000 – 400 mm) et du nord au sud (1000 à moins de 130 mm). Dans cette zone, les températures moyennes minimales et maximales respectivement oscillent entre 5 et 15°C en hiver et de 25 à 35°C en été. Les vents humides venant de la mer. Cependant, l'influence du désert se fait sentir jusque sur la cote par l'action du (sirocco).vent sec et chaud. Soufflant du Sud au Nord. (KOLLI et LEMOUCHI ,2020)

---

**-L'étage bioclimatique humide (L'atlas Tellien en Altitude) :** l'étage humide, où les précipitations sont supérieures à 800.

# CHAPITRE 2

PRÉSENTATIONS DE LA ZONE D'ÉTUDE

## 2.1 Situation géographique

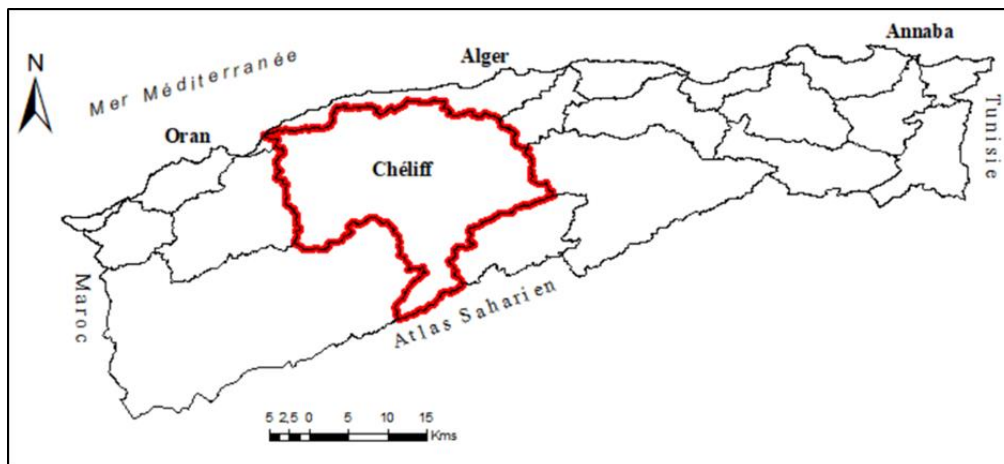
L'Algérie compte cinq régions hydrographiques dont quatre au nord et la cinquième au sud qui renferme le désert du Sahara. Notre travail s'intéresse au bassin du chellif situé dans la région hydrographique chellif-Zahrez



**Figure2.1** régions hydrographiques de l'Algérie (agire)

Située au centre Ouest de l'Algérie du Nord, la région hydrographique Cheliff-Zaher s'étend, avec une superficie de plus de 56.000 Km<sup>2</sup>, en longitude entre 0°12" Est et 3°87" Est et en latitude entre 33°91" Nord et 36°58" Nord.

La RHCZ couvre 255 communes relevant de 12 (douze) wilayas dont trois sont incluses en totalité dans la région (Chlef, Relizane et Tissemsilt) et les 09 (neuf) autres wilayas le sont partiellement (Ain Defla, Djelfa, Laghouat, Mascara, Médéa, M'sila, Tiaret, Tipaza et Mostaganem).



**Figure2.2** Situation géographique du bassin du chellif

Le bassin du Chellif est limité Au nord par la mer méditerranée, avec un littoral de 200 kilomètres, à l'ouest par le bassin Algérois Hodna Soummam, à l'Est par le bassin

## Chapitre 2 : présentation de la zone d'étude

Oranie Chott Chergui et au sud par le bassin du Sahara. Le bassin du Chellfi englobe 36 sous bassins (tableau 2.1).

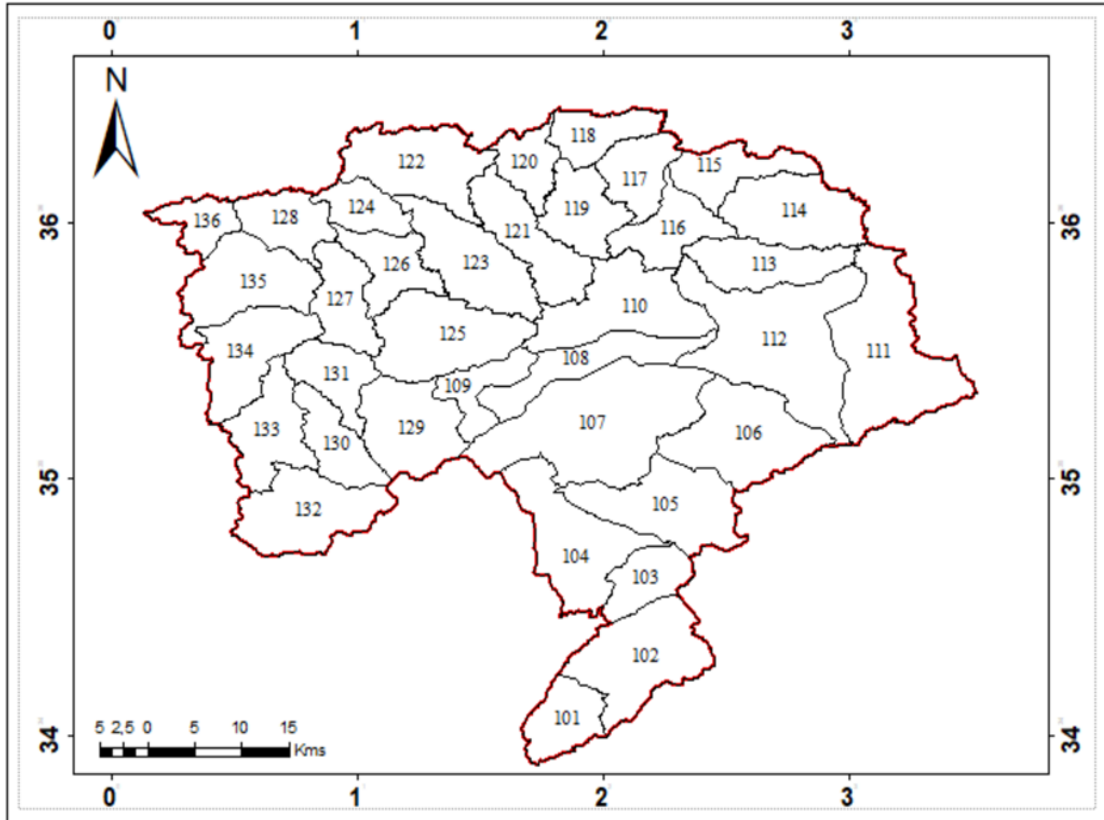


Figure2.3 Les sous bassins versants du Chellif

## Chapitre 2 : présentation de la zone d'étude

**Tableau2.1** : les sous bassins du Chellif

CODE	NOM	KM2	Périmètre_Km
101	O. Sebgag Berkana	777.73	129.61
102	O. Namous Chelal	1734.29	210.15
103	O. Touil Amont	689.58	123.09
104	O. Sakni	1675.18	245.11
105	O. Touil Moyen	1609.83	214.34
106	O. Touil Aval	1750.85	202.00
107	O. Sousselem	3005.10	280.66
108	O. Mechti Zerga	1055.35	225.03
109	O. Ouassel Amont	626.53	156.66
110	O. Ouassel Moyen	1621.66	237.91
111	Daia el Firania	2366.23	279.84
112	Daia Boughzoul	2817.97	340.47
113	O. Cheliff Djelil	1012.66	171.43
114	O. Cheliff Ghrib	1378.63	175.67
115	O. Cheliff Harbil	780.17	165.34
116	Deurdeur	850.95	179.27
117	O. Cheliff Harrezzal	756.70	142.46
118	O. Ebda	661.45	139.02
119	O. Rouina Zeddine	891.46	164.97
120	O. Cheliff Tikazale	587.69	151.33
121	O. Fodda	1153.49	210.14
122	O. Ras Ouahrane	1438.45	225.53
123	O. Sly	1404.07	221.18
124	O. Cheliff Ouarizane	574.76	119.96
125	O. Riou Tiguiguest	1617.56	197.10
126	O. Riou Tleta	783.47	177.61
127	O. Djidiouia	839.53	163.35
128	O. Cheliff Tarhia	772.78	142.89
129	O. Mina Amont	1327.31	171.90
130	O. Taht	772.00	147.77
131	O. Mina Moyenne	736.68	147.73
132	O. Abd Amont	1498.79	194.30
133	O. Abd Aval	1068.89	198.08
134	O. Mina Haddad	1240.34	187.13
135	O. Mina Aval	1425.35	201.58
136	Chélif Maritime	495.59	122.31

### 2.2 Le relief

Le bassin du Chellif présente un relief compartimenté, reflet de la nette opposition topographique Tell-Hautes Plaines qui la caractérise.



## Chapitre 2 : présentation de la zone d'étude

- Au Nord, le sillon du Cheliff encadré par les deux chaînes telliennes (Monts du Dahra au Nord et le Massif de l'Ouarsenis au Sud).
- Au Sud, les hautes plaines entre l'Ouarsenis et l'Atlas Saharien.
- Plus au Sud, le bassin du Zahrez.

Ainsi, on distingue de l'amont à l'aval: l'Atlas Saharien, les hautes plaines, les massifs telliens, la vallée du Cheliff et les massifs côtiers du Dahra au nord. <http://abh-cz.com.dz/faq.html>

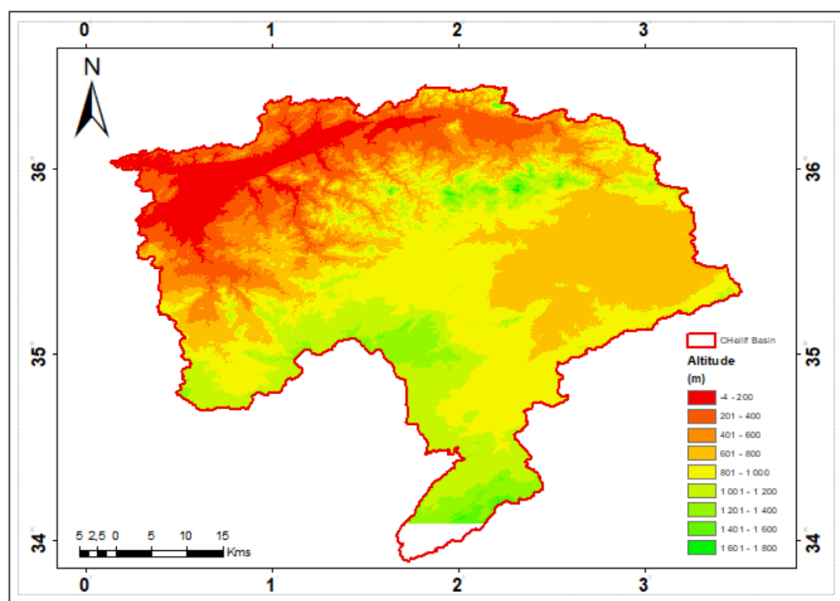


Figure2.4 Le relief du Cheliff

### 2.3 Climat du bassin

Selon le (travaille Kartoubi) de La région du Haut Cheliff malgré sa relative proximité de la mer (50 Km environ)-, se caractérise par un climat semi-aride. Généralement, on assiste à un été long, chaud et sec, à des hivers pluvieux et froids et des automnes et des printemps très courts. Durant les 30 dernières années la variabilité hydro climatique de la plaine de Khemis Miliana s'est matérialisé par une alternance des périodes humides et périodes sèches au regard de l'évolution des indices pluviométrique et hydrométriques.

Après l'utilisation de test de Bagnouls et Gaussen sur la station de (ONM) dans la période de (1950-2022) on confirme que le bassin a un climat semi-aride avec la présence des précipitations et des températures important.

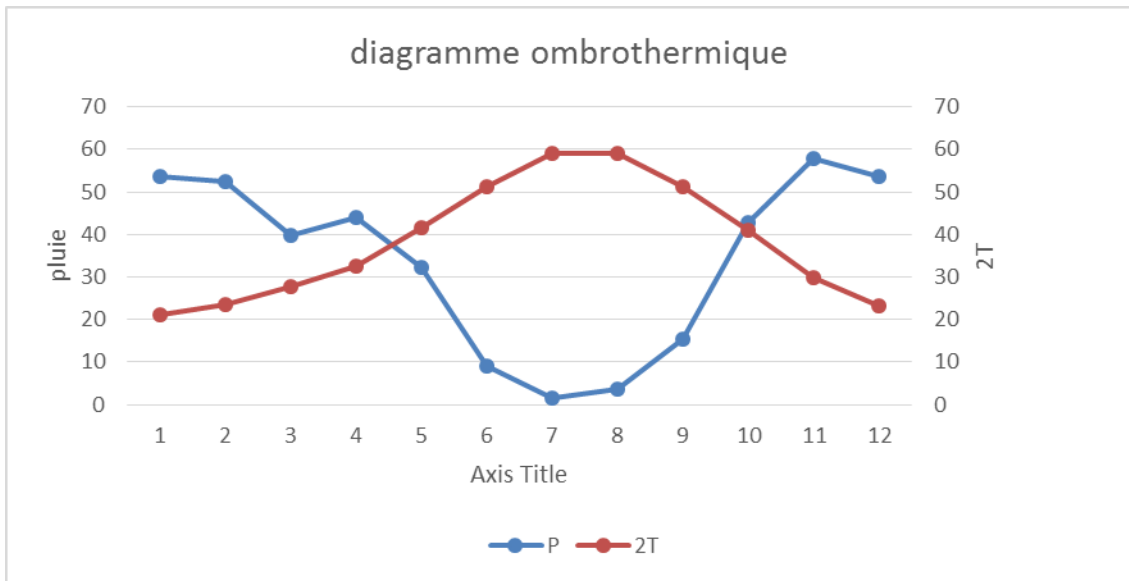


Figure 2.5 Diagramme Ombrothermique de la station de Chlef

**Tableau 2.2** : pluies mensuelles interannuelles (1950-2022)

MOIS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P	53.7	52.5	39.6	44.1	32.3	9.08	1.53	3.53	15.5	42.7	57.8	53.6

**Tableau 2.3** : températures mensuelles interannuelles (1950-2022)

MOIS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T	10.6	11.7	13.8	16.3	20.7	25.5	29.5	29.5	25.5	20.5	14.9	11.6

D'après le diagramme Ombrothermique les mois les plus pluvieux se trouvent entre le mois d'octobre et le mois d'avril. Novembre étant le mois le plus pluvieux suivi des mois de décembre janvier et février au cours de la période 1950-2022 (tableau 2.2).

Les températures moyennes enregistrent leur maximum aux mois de juillet et août, alors que les mois de décembre janvier et février sont les plus froids (tableau 2.3).

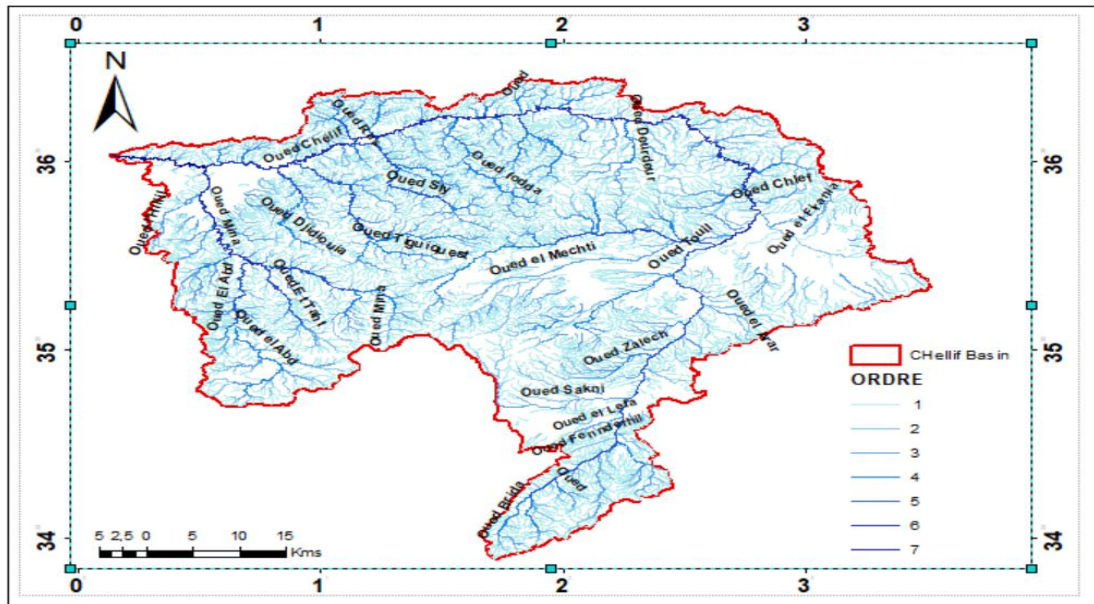
## 2.4 Réseau hydrographie et disponibilité des ressources en eau

Le bassin renferme le plus long Oued d'Algérie caractérisé par une longueur de 700 Km. Il prend sa source dans le Djebel Amour près d'Aflou et il se jette dans la mer Méditerranée près de Mostaganem. Le bassin du Chellif présente un réseau hydrographique d'ordre 7 (figure 2.7).

Le bassin du Cheliff résulte de la jonction de deux cours d'eau importants : l'Oued Touil et Nahr Ouassel, drainant respectivement une superficie de 16 338 km<sup>2</sup> et 3 651 km<sup>2</sup> et dont la confluence donne naissance à l'Oued Cheliff. De cet ensemble, il est possible

## Chapitre 2 : présentation de la zone d'étude

de délimiter trois grandes parties du bassin : -Le bassin Cheliff à l'amont du barrage Boughzoul : correspondant à l'Oued Touil et Nahr Ouassel. - Le bassin Cheliff à l'aval du barrage Boughzoul : formé par l'Oued Cheliff et ses affluents jusqu'à son embouchure.



**Figure 2.6** les oueds du bassin cheliff

La région Cheliff-Zahrez dont fait partie notre bassin renferme un réseau hydrographique de 6 500 Km ; tous deux, ils façonnent le paysage de cette région et drainent les eaux de surface du bassin. Les apports totaux du bassin Cheliff Zahrez sont estimés à 1 227 Hm<sup>3</sup>. Mais les apports aux barrages, ne dépassent guère la valeur de 870 Hm<sup>3</sup>. Les eaux de surface ne sont pas toutes exploitables du fait de l'irrégularité interannuelle très prononcée des écoulements. (AGIRE)

Selon Zerarka (2018) le bassin du Cheliff est composé des affluents suivants :

- Oued Ras: se compose d'un groupe d'affluents du côté ouest des montagnes Dahra terminée vallée au sud de Cheliff et la longueur de la tête d'une vallée 39 km.
- Oued Ouahrane: est un affluent du oued de Cheliff, il recueille l'eau des montagnes et Dahra se jette dans la partie nord-ouest du bassin dans le cours d'eau de Cheliff, d'une longueur de 52 km et le débit annuel est de 4 Hm<sup>3</sup> /an.

- Oued El Fodda : cet oued provient des versants nord-est des monts ouarsnis et se caractérise par un chemin droit, sauf sur le côté nord il devient méandre. La longueur du oued fodda est de 75 km au barrage et de 117 km à l'estuaire, et son débit annuel est de 152,7 Hm<sup>3</sup> / an.
- Oued Sly : Ses sources sont situées près des sources de la vallée de oued fodda, dans le sud-est du bassin près de Tesemselt, la longueur de la vallée est de 130 km et un débit annuel allant jusqu'à 111,3 hm<sup>3</sup> / an.

### 2.5 Retenues collinaires

Ce sont de petits barrages d'une capacité de 50 Hm<sup>3</sup>, réalisés par des moyens locaux situés dans la zone, dont le coût est relativement faible par rapport aux grands barrages que les propriétés demandent à construire sur leurs terres. À l'expertise étrangère dans leur achèvement. La direction des ressources en eaux de la wilaya de Chlef supervise la gestion de ces petits barrages et les barrières suivantes pour répondre aux besoins croissants en eau, ce qui a entraîné l'expansion des zones agricoles irriguées. (Zerarka 2018)

### 2.6 La géologie

Selon (AGIRE) Le bassin du Chellif renferme de nombreuses formations géologiques qui contiennent des eaux souterraines, les plus anciennes sont attribuées au jurassique et les récentes correspondent aux alluvions quaternaires. Les deux chaînes telliennes présentent des ressources médiocres et non exploitables directement, les niveaux perméables (calcaires et grès) sont généralement peu développés et encaissés dans de puissantes formations imperméables.

Le bassin du Cheliff appartient aux bassins sédimentaires sub-littoraux allongés Est - Ouest et mis en place après la dernière phase alpine de tectonique tangentielle. Au Nord, cette dépression est séparée de la mer par le Tell septentrional représenté par une suite de reliefs parallèles formés essentiellement de terrains jurassico-crétacés que l'on retrouve aussi dans la plaine (Dahra et massifs épi-métamorphiques à schistosités du Doui, Rouina et Témoulga). Au sud, le bassin du Cheliff est limité par le Tell méridional représenté par un ensemble de massif montagneux où le substratum y est principalement marno-calcaire et correspond à l'allochtone tellien avec ses différentes nappes. Une phase infra-crétacé, compressive donne des plis NE-SW ;

## **Chapitre 2 : présentation de la zone d'étude**

Une phase à composante tangentielle intervient après le Sénonien et le Paléocène et serait en partie responsable de l'épimétamorphisme. Une phase datée Aquitano-Burdigalienne, compressive et profonde génératrice d'un nouvel épimétamorphisme (AGIRE)

De l'amont à l'aval du bassin on peut dire selon les études des Namous 2012 et Duran 1962 La lithologie du bassin versant composé par trois types essentiels :

- Le domaine des hautes plaines :

Il est caractérisé par les massifs calcaires crétacés qui représentent des terrains à dominante marneuse qui composent un relief compartimenté (Djebel Gurioum, Fartes).

Les phénomènes karstiques sont très développés dans la partie du Sud de ces massifs calcaires, on distingue aussi les massifs septentrionaux, les plaines plio-quadernaires, les cônes de déjection cimentés, les glacis, les zones de remblaiement argilo-limoneux.

- Le piémont Sud Tellien:

Il comporte au bassin néogène de Constantine qui se prolonge il comporte: • Le bassin néogène de Constantine: il s'étend de Ferdjioua à l'Ouest jusqu'à Zighoud Yousef à l'Est, il est limité par les hautes plaines au sud. • Les séries Telliens: ils comportent des formations argileuses ou marneuses d'âge crétacé supérieur –Eocène (Djebel El Halfa, Chouf Aissa, Sidi Mimoun.)

- Les massifs Sud-Tellien: ils comportent:

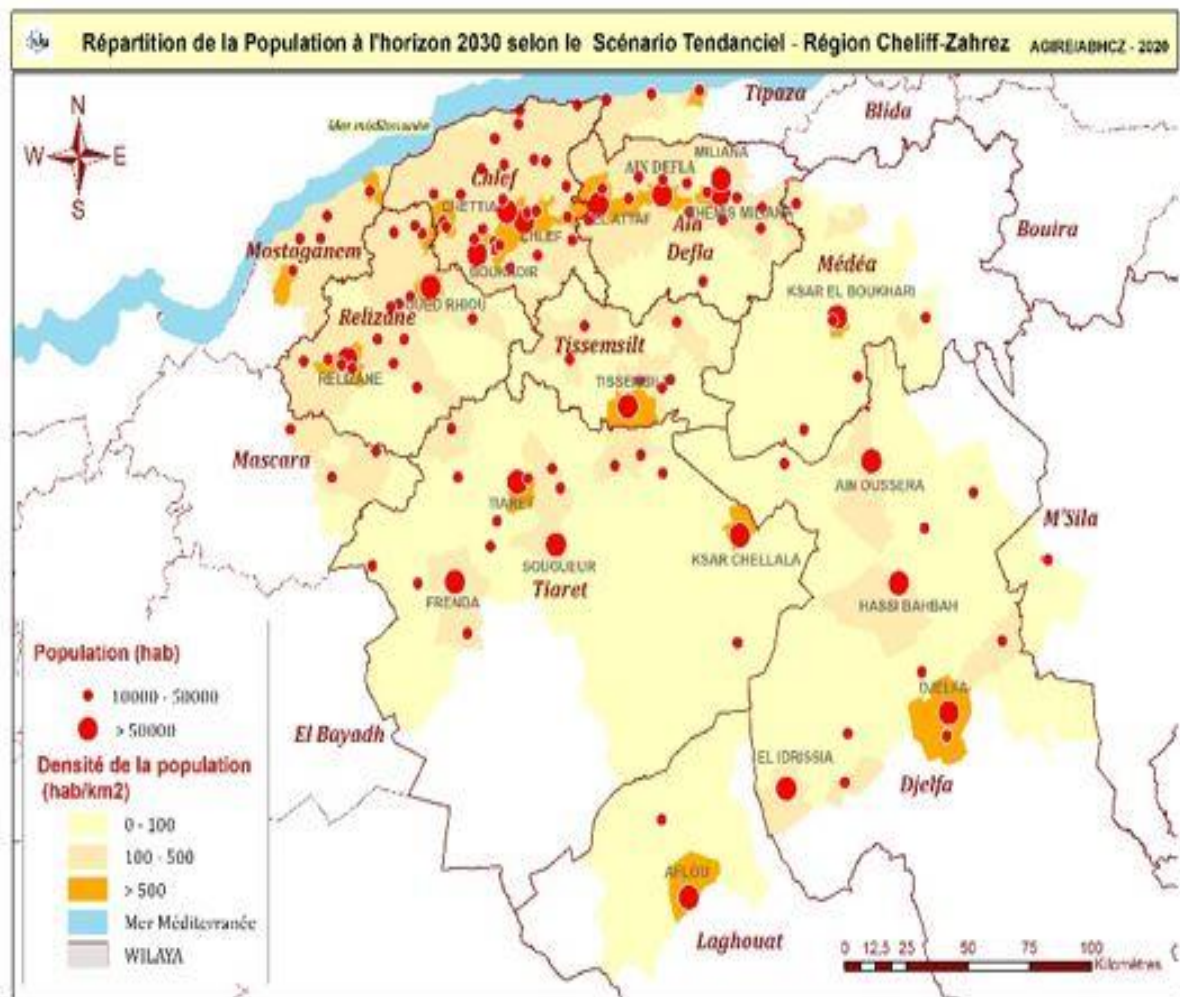
La chaîne numidique elle est composée essentiellement de massifs calcaires jurassiques (Djebel M'Sid Aicha, Sidi Driss) et de massifs gréseux oligocènes (Djebel Bou Affroun, Djebel Tames-guid).

Les massifs anciens de petite Kabylie: ils sont formés de terrains métamorphiques (micaschistes, gneiss, phyllades), recouverts de lambeaux oligo-miocènes (argilo-gréseux) et traversés par des roches éruptives d'âge miocène (granite) dans la zone côtière la vallée de l'Oued El Kébir très élargie présente un vaste dépôt alluvial récent

### **2.7 La population du bassin**

## Chapitre 2 : présentation de la zone d'étude

La Région Hydrographique Cheliff Zahrez comptait 5 221 801 habitants au RGPH de 2008. Cette population est passée à 6 574 091 habitants en 2018. Elle atteindra en 2030 selon l'hypothèse tendanciel 8 054 391 habitants et 8 317 223 habitants pour le scénario volontariste. Source : PNE 2015.



**Figure 2.7** population de la région par horizon et par scénario (AGIRE,2020)

## **Chapitre 2 : présentation de la zone d'étude**

---

# CHAPITRE 3

MATÉRIELS ET MÉTHODES



## Chapitre 3 : Matériels et méthodes

### 3.1 Matériel

#### Donnes climatiques

Dans le cadre de notre travail, nous avons utilisé une vingtaine de stations pluviométriques réparties sur l'ensemble du bassin du Chellif, les données mensuelles ont été collectées auprès de de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH). Le choix des stations s'est porté sur la disponibilité des données et leur homogénéité sur une période d'en moins 30ans. La critique des données utilisées a déjà fait l'objet d'une précédente étude (Taibi, 2016).

Nous avons également utilisé la station climatique de Chleff gérée par l'Office National de Météorologie (ONM), les données mensuelles de pluie et de température sont disponibles de 1950 à 2022.

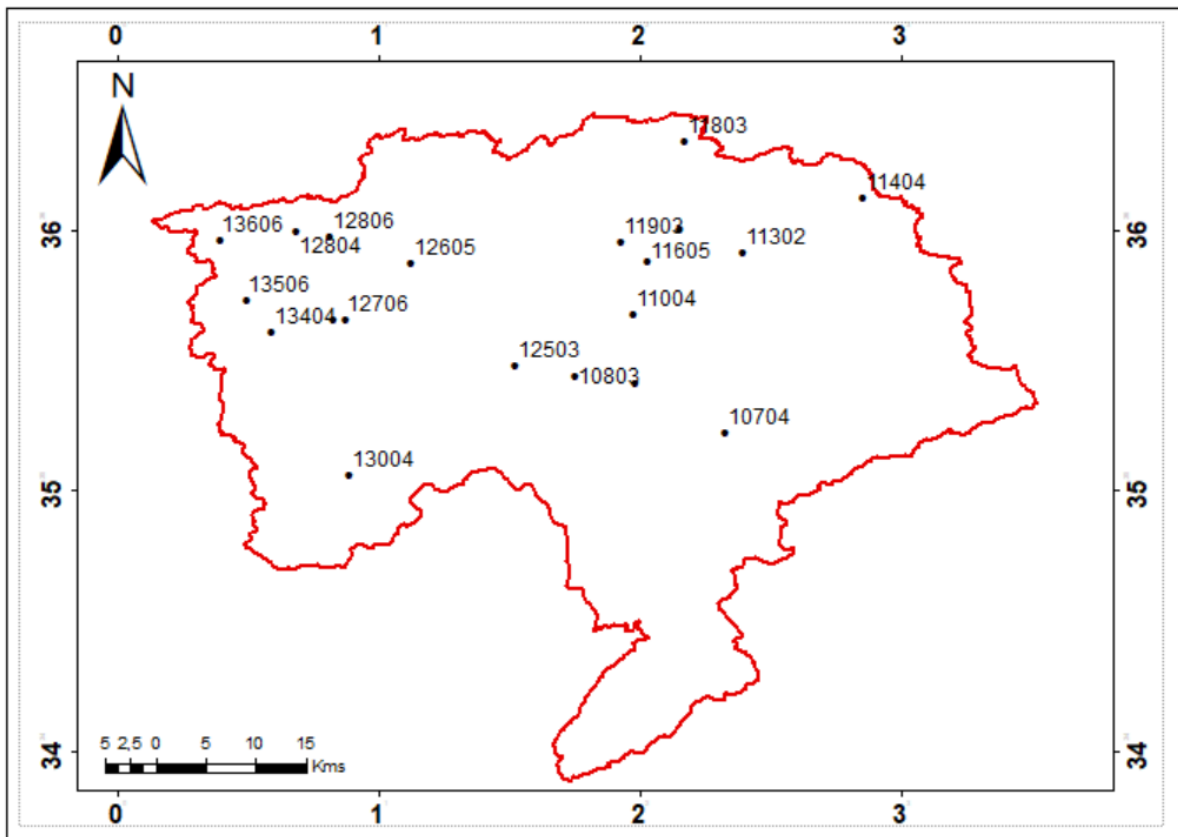


Figure3.1 Situation géographique des stations pluviométriques

Le tableau suivant reprend les différentes stations avec leurs coordonnées géographiques ainsi que la période d'étude.

**Tableau 3.1** coordonnées géographiques des stations pluviométriques (degré décimale)

code de station	Nom de station	X°	Y°	Z (m)	Période d'étude
010703	RECHAIGA	01°97	35°40	830	1967/2010
010704	KSAR CHELLALA	02°32	35°21	850	1981/2010
010803	MEHDIA	01°75	34°43	918	1967/2010
011004	KHEMISTI	01°97	35°66	935	1968/2010
011302	DERRAG	02°38	35°90	1150	1967/2010
011404	ZOUBIRIA	02°84	36°11	932	1961/2010
011605	TENEIT EL HAD	02°02	35°87	1150	1954/2010
011607	TARIK IBN ZIAD	02°14	35°99	650	1980/2011
011803	SIDI MEDJAHED	02°16	36°33	850	1967/2010
011903	TOUTIA HASSANIA	01°92	35°94	220	1980/2011
425	CHLEF (ONM)	01°20	36°13	143	1950/2022
012503	SIDI HOSNI	01°52	35°47	790	1965/2010
012605	AMI MOUSSA	01°12	35°86	140	1967/2010
012703	KENENDA FERME	0°82	35°64	590	1960/2010
012706	MENDES	0°86	35°64	465	1980/2011
012804	SIDI LAKHDER	0°68	35°98	45	1967/2010
012806	DJIDIOUIA CHELIFF	0°81	35°96	54	1980/2011
013004	AIN EL HADID	0°88	35°05	829	1965/2010
013404	Sidi m'hamed ben aouda	0°58	35°60	130	1986/2010
013506	EM MATMAR DRS	0°48	35°72	73	1980/2011
013606	OUED KHEIR	0°38	35°95	230	1980/2011

### 3.1.1XL stat

XLSTAT est un logiciel dont le fonctionnement s'appuie sur Microsoft Excel pour la saisie des données et la publication des résultats. En revanche, les calculs sont entièrement réalisés dans des programmes autonomes. L'utilisation d'Excel comme interface rend le produit très convivial, simple d'utilisation et efficace. La qualité des calculs est quant à elle identique à celle des logiciels scientifiques les plus renommés. XLSTAT offre de très nombreuses fonctionnalités qui font d'Excel un outil performant et facile d'accès pour répondre à la majorité de vos besoins en analyse de données et modélisation.

## Chapitre 3 : matériels et méthodes

Dans le cadre de notre travail, le logiciel XL Stat a été utilisé pour l'application du test de tendance de Mann-Kendall et le test d'homogénéité de Pettitt.

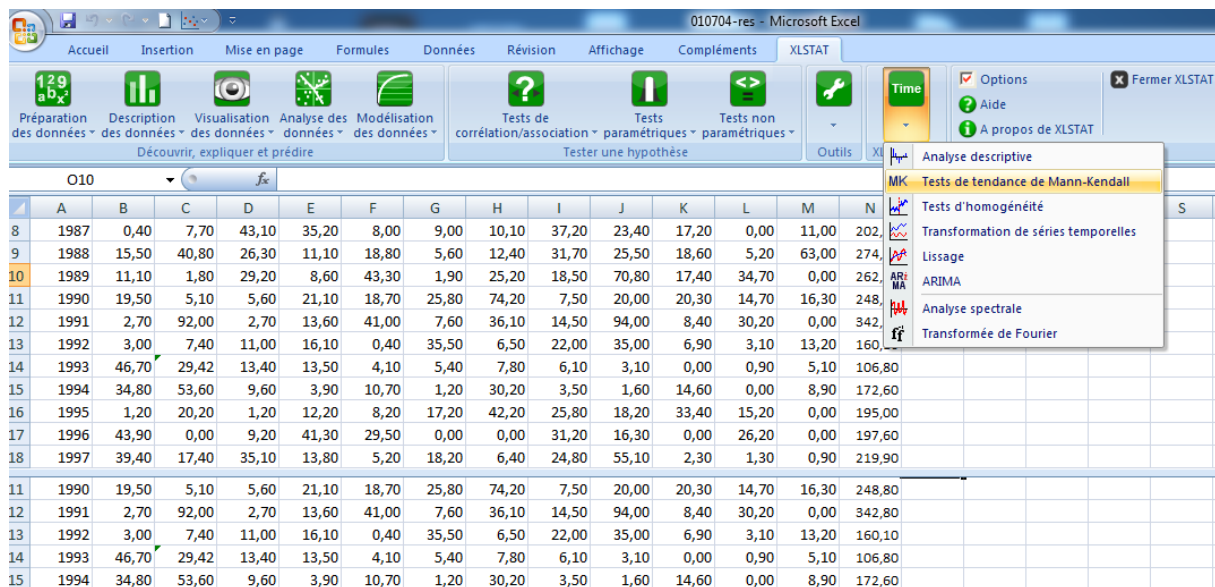


Figure 3.2 méthode de calcul des indices

### 3.1.2 Système d'information géographique Arc-GIS

Arc Gis est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques.

Les différentes fonctionnalités d'Arc Gis nous ont permis :

- D'élaborer les différentes cartes qui concernent la présentation de la zone d'étude.
- De Lire des fichiers Net.cdf afin d'extraire les données simulées par les modèles climatiques
- D'élaborer les cartes de la variation spatio-temporelle des variables climatiques (pluie et températures) ainsi que les indices bioclimatiques à l'échelle du bassin du Chellif.

### 3.2 Méthodes :

#### 3.2.1 Tests statistiques

---

**Mann-kendel :**

Le test de Mann-Kendall est un test non paramétrique (Mann 1945, Kendall 1975, Gilbert 1987) qui sert à évaluer statistiquement s'il existe une tendance monotone à la hausse ou à la baisse de la variable d'intérêt au fil du temps. Une tendance monotone à la hausse (à la baisse) signifie que la variable augmente (diminue) constamment dans le temps, mais la tendance peut être linéaire ou non. L'hypothèse nulle du test ( $H_0$ ) sous-entend l'absence d'une tendance alors que l'hypothèse alternative ( $H_1$ ) confirme la présence d'une tendance significative au sein d'une série de données temporelle.

Le test de Mann-Kendall s'appuie sur le calcul du taux de Kendall mesurant l'association entre deux échantillons et lui-même basé sur les rangs à l'intérieur des échantillons

La statistique de Mann-Kendall  $S$  est définie comme suit:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n \text{sign}(X_k - X_i)$$

$$\text{sign}(X_k - X_i) = \begin{cases} +1 & \text{si } (X_k - X_i) > 0 \\ 0 & \text{si } (X_k - X_i) = 0 \\ -1 & \text{si } (X_k - X_i) < 0 \end{cases}$$

Où  $X_k$  et  $X_i$  sont les valeurs séquentielles des données et  $n$  la longueur de l'ensemble des données. La statistique du test est calculée en dénombrant, pour tous les couples  $(X_k, X_i)$   $k < i$ , le nombre de cas où la seconde valeur est supérieure à la première et le nombre de cas où la seconde est inférieure, puis en faisant la différence entre ces deux quantités.

**Test de Pettitt**

Le test de Pettitt est un test non paramétrique ne nécessitant aucune hypothèse quant à la distribution des données. Le test de Pettitt est une adaptation du test de Mann-Whitney basé sur les rangs, permettant d'identifier le temps auquel se produit un changement. Pettitt (1979) décrit l'hypothèse nulle comme étant que les  $T$  variables

suivent une même distribution  $F$ , et l'hypothèse alternative comme étant qu'à un temps  $t$  se produit un changement de distribution.

La série étudiée est divisée en deux sous-échantillons respectivement de taille  $m$  et  $n$ . Les valeurs des deux échantillons sont regroupées et classées par ordre croissant. On calcule alors la somme des rangs des éléments de chaque sous-échantillon dans l'échantillon total. Une statistique est définie à partir des deux sommes ainsi déterminées, et testée sous l'hypothèse nulle d'appartenance des deux sous-échantillons à la même population.

La formulation du test de Mann-Whitney modifiée par Pettitt (1979) est la suivante : L'hypothèse nulle du test est l'absence de rupture dans la série. La mise en œuvre du test suppose que pour tout instant  $t$  variant de 1 à  $N$ , les séries  $(X_i)$ ,  $i=1, t$  et  $(X_i)$ ,  $i= t+1, N$  appartiennent à la même population.

Soit  $D_{ij} = \text{sign}(X_i - X_j)$  avec  $\text{sign}(X) = \begin{cases} +1 & \text{si } X > 0 \\ 0 & \text{si } X = 0 \\ -1 & \text{si } X < 0 \end{cases}$

On considère la variable  $U_{t,N}$  telle que :

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij}$$

Pour tester  $H_0$  contre  $H_1$  Pettitt propose d'utiliser la variable :

$$K_n = \max |U_{t,n}|$$

On calcule ensuite  $p$  probabilité de dépassement de la valeur  $k$  :

$$\text{Prob}(K_N > k) \approx 2 \exp(-6k^2 / (N^3 + N^2))$$

Pour un risque  $\alpha$  de premier espèce donné, si  $\text{Prob}(K_N > k)$  est inférieur à  $\alpha$ , l'hypothèse nulle est rejetée.

Si  $p$  est inférieur à  $\alpha$ , l'hypothèse  $H_0$  de stationnarité (non-rupture) est rejetée au seuil  $\alpha$ . Dans ce cas, la série présente une rupture au temps  $t =$  définissant  $K_n$ .

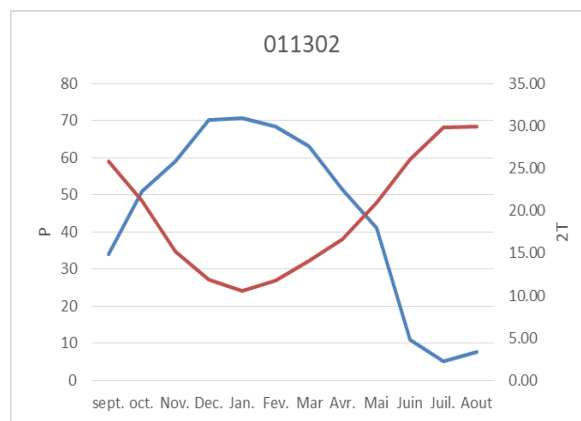
Ce test est plus particulièrement sensible à un changement de moyenne. Il permet ainsi de détecter la date de la rupture.

### **3.2.2 Les indices bioclimatiques**

#### **Indice de Bagnouls et Gaussen**

Bagnouls et Gaussen (in STEWART, 1969) ont établi des diagrammes Ombrothermique pour évaluer la durée et l'intensité de la saison sèche pendant l'année. Ils se sont basés sur la formule  $P \text{ (mm)} = 2(T^{\circ}\text{C})$  ; les mois secs sont définis, quand la courbe des précipitations est située au-dessous de celle des températures moyennes.

Ces graphiques permettent de suivre facilement la suite des saisons et l'importance de leur sécheresse. Mais, ils présentent l'inconvénient de ne pas faciliter la comparaison entre les stations.



**Figure 3.3** Exemple d'un diagramme Ombrothermique

### Indice d'Emberger

L'indice d'Emberger (1932) définit le degré d'humidité du climat. Il prend en compte les précipitations annuelles  $P$ , la moyenne des maxima de température du mois le plus chaud ( $M$ ) et la moyenne des minima de température du mois le plus froid ( $m$ ). Cet indice est plus particulièrement adapté aux régions méditerranéennes dans lesquelles il permet de distinguer différents étages climatiques. Dans ces régions, Emberger a remarqué que l'amplitude thermique ( $M-m$ ), donc l'évaporation, est un facteur important de la répartition des végétaux. On sait en effet que, à température moyenne égale, l'évaporation est d'autant plus grande que l'amplitude thermique est élevée.

$$Q_2 = 2000 * P / (M + m + 546.4) * (M - m)$$

**P:** la pluviométrie annuelle en mm

**M:** la température maximale du mois le plus chaud en °C (Juillet)

**m :** la température minimale du mois le plus froid en °C (Janvier)

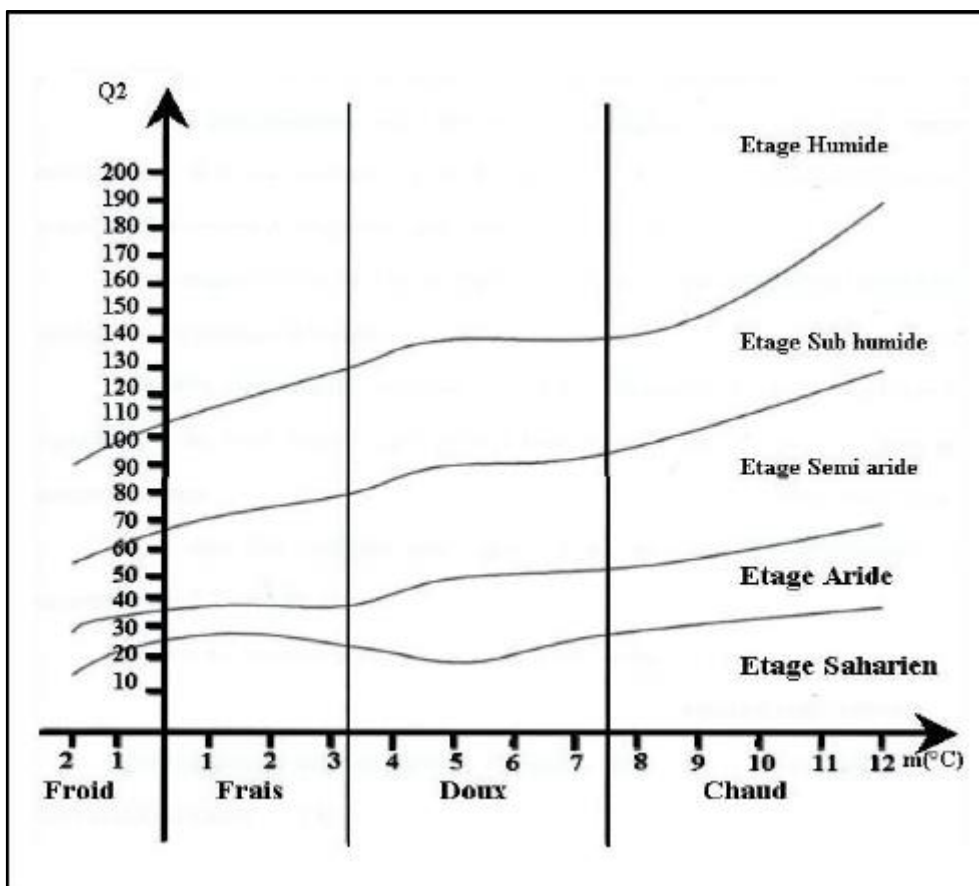
Emberger a précisé cinq étages bioclimatiques : humide, Sub-humide, aride, semi-aride, et saharien, ainsi que quatre variantes thermiques :

Hiver froid :  $m < 0^{\circ}\text{C}$

Hiver frais :  $0 < m < 3^{\circ}\text{C}$

Hiver doux ou tempéré :  $3 < m < 7^{\circ}$

Hiver chaud :  $m > 7^{\circ}\text{C}$



**Figure 3.4** Représentation schématique du climatogramme d'Emberger

**Indice d'aridité de Martonne :**

L'indice d'aridité de Martonne est représenté par le rapport entre la pluie et la température moyenne annuelle. Il est calculé selon la formule suivante :

$$I = P / (T + 10)$$

Où :

I : indice d'aridité de Martonne Annuelle

P : Précipitation moyenne annuelle (mm)

T : Température moyenne annuelle (C°)

Tableau 3.2 Classification des types de climat selon les valeurs de l'indice de Martonne

Indice De Martonne	Type de climat
$I \leq 5$	Climat hyper aride
$5 \leq I \leq 7.5$	Climat désertique
$7.5 \leq I \leq 10$	Climat steppique
$10 \leq I \leq 20$	Climat semi-aride
$20 \leq I \leq 30$	Climat tempère
$30 \leq I$	Climat humide

### 3.3 Modèles climatiques régionaux

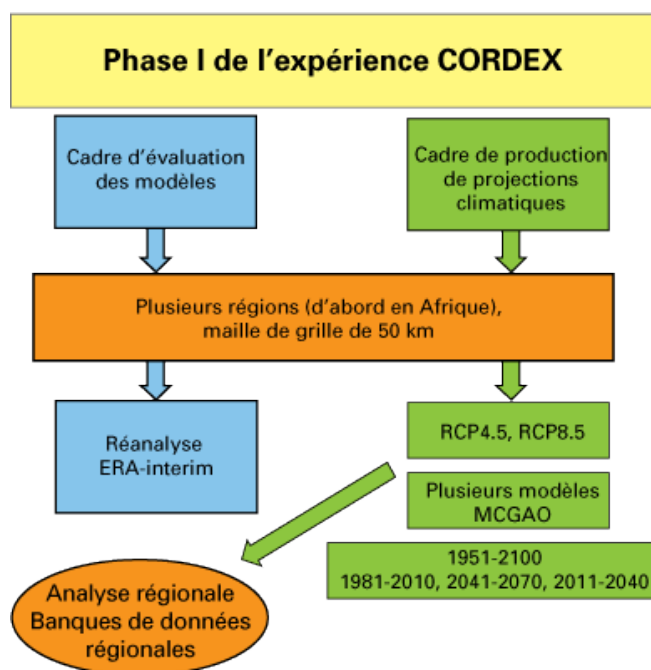
Les besoins d'information sur l'évolution du climat à l'échelle régionale et locale constituent un grand sujet de débat. Cette information est cruciale pour évaluer les répercussions des changements climatiques sur les systèmes humains et naturels et pour mettre au point de bonnes stratégies nationales d'adaptation et d'atténuation. Les utilisateurs finals et les décideurs demandent depuis longtemps qu'on leur fournisse des projections régionales et locales fiables sur lesquelles appuyer leurs choix.

Cordex est un projet international élaboré par le Programme mondial de recherche sur le climat. Il vise à étudier le climat régional et son évolution par la modélisation régionale. Il est soutenu par les plus grands centres de recherche internationaux sur le climat dont :

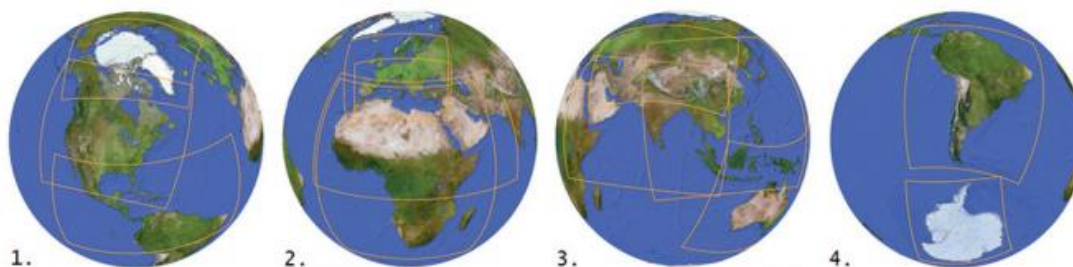


Météo-France, le Met Office (Angleterre), l'IPSL (Institut Pierre- Simon Laplace, France), le MPI (Max Planck Institute, Allemagne), le SMHI (Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Suède) et d'autres, qui mettent en ligne sur une plateforme dédiée les résultats de leurs simulations. Lancé en 2010, CorDEX met à disposition des simulations issues de modèles régionaux (MCR), eux-mêmes forcés par des modèles globaux (MCG), il permet ainsi de :

- comparer l'aptitude des différentes méthodes de régionalisation utilisées par les différents centres climatiques dans le monde à reproduire un climat de référence ;
- produire des simulations de sorties climatiques régionales sur 14 régions du globe : Amérique, Europe(EURO), Afrique (AFRICA, Méditerranée(MED), Moyen-Orient Afrique du nord(MENA), Asie..... .



**Figure3.5** Schéma de la première phase de l'expérience CORDEX.



Les domaines du projet Cordex : 1. Arctique, Amérique du Nord et Amérique centrale. 2. Europe, Méditerranée, Afrique du Nord-Moyen-Orient et Afrique. 3. Asie centrale, Asie du Sud et Asie du Sud-Est, Australasie. 4. Amérique du Sud et Antarctique. Source : Institut Pierre-Simon Laplace.

**Figure3.6** Domaines régionaux étudiés dans le cadre de l'expérience CORDEX

Pour les besoins de notre étude nous avons utilisé le domaine CORDEX-Africa, la simulation a été réalisée sur une résolution de 0,44°, soit une résolution de 50km ce qui signifie que la grille tridimensionnelle restreinte donne un modèle plus détaillé et des projections futures plus proche de la réalité, les modèles régionaux de Cordex-Africa ne font la simulation des données que pour les deux scénarios climatiques RCP 4.5 et RCP 8.5.

**Tableau 3.3** : Modèles climatiques régionaux-CORDEX avec les modèles globaux associés

N	Modèle climatique régional (MCR)	Nom abrégé du modèle (MCR)	Modèle climatique globale (MCG)
1	CLMcom COSMO-CLM (CCLM4)	CCLM4	MPI ICHEC CNRM
2	DMI HIRHAM5	HIRHAM5	ICHEC
3	SMHI Rossby Center Atmospheric Regional Model (RCA4)	RCA4	MPI ICHEC CNRM
4	KNIMI regional atmospheric climate model, version 2.2 ( RACMO2.2T)	RACMO22T	ICHEC

De nombreux modèles climatiques régionaux ont été développés dans le cadre du programme Cordex-Africa (tableau). Toutefois pour réaliser notre travail nous avons utilisé les simulations du modèle RCA4 (Rossby Centre Atmosphere model, version 4) forcé par le modèle de circulation globale (MPI-ESM-LR) sous deux scénarios de forçages radiatifs "Representative Concentration Pathways" (RCPs) RCP 4.5 et RCP 8.5 ont été utilisées.

Le choix du modèle est basé sur les études déjà menées en Algérie et qui ont mis en évidence sa performance par rapport aux autres modèles (Zeroual et al, 2018 ; Bouabdelli et al.2018)

# CHAPITRE 4

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

## **Chapitre 4 : résultats et discussions**

### **4. Analyse de la variabilité climatique**

#### **4.1 Analyse des tendances**

A l'échelle annuelle, l'analyse des tendances par le test de Mann-Kendall au seuil de signification  $\alpha=5\%$  a mis en évidence des tendances négatives pour certaines stations et positives pour d'autres stations. Le sens de la tendance est fortement lié à la période d'étude. Effectivement les stations dont la période d'étude débute avant les années 80 montrent généralement une tendance à la baisse, alors que les stations dont la période d'étude commence à partir des années 80 montrent une tendance à la hausse. Ceci montre que les années 2000 ont été plus pluvieuses par rapport aux années 80 et 90 connues comme les plus sèches.

La majorité des stations qui montrent une tendance négative sont situées au bas chellif. Les stations Ain el Hadid (13004) et Sidi M'hamed Ben Aouda (013404) enregistrent respectivement une réduction significative des précipitations d'environ 28,13 mm et 18,93 mm par décennie.

La station de Sidi Medjahed (011803) située dans le haut Chellif enregistre également une tendance négative significative qui se traduit par une baisse de 120 mm par décennie au cours de la période 1967-2010.

Les autres stations dont la tendance négative n'est pas significative enregistrent une baisse de la pluviométrie qui varie entre -8 et -28 mm par décennie.

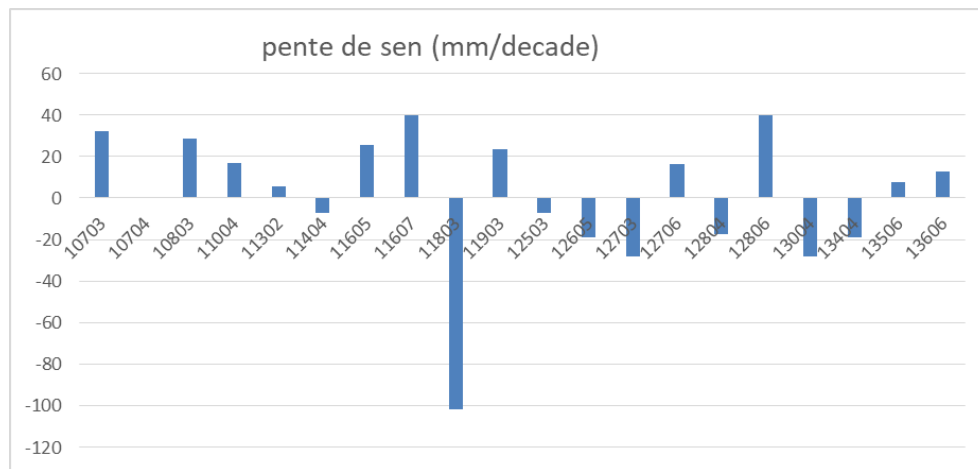
Les stations de Rechaigua (010703), Ksar Chellala (010704), Mehdiya(010803) et Khemisti (011004) situées en amont du bassin montrent respectivement une tendance à la hausse des précipitations d'environ 32.22, 0.11, 28.58 et 16,6 mm par décennie. Cette baisse est significative au niveau des stations de Ksar Chellala (010704) et Mehdiya(010803).

Les stations de Derrag (011302), Teneit El Had (011605), Tarik Ibn Ziad (011607) et Sidi Toutia Hassania (011903) situées dans le haut et moyen Chellif indiquent respectivement une augmentation des précipitations d'environ 5.79, 25.32, 39.83,

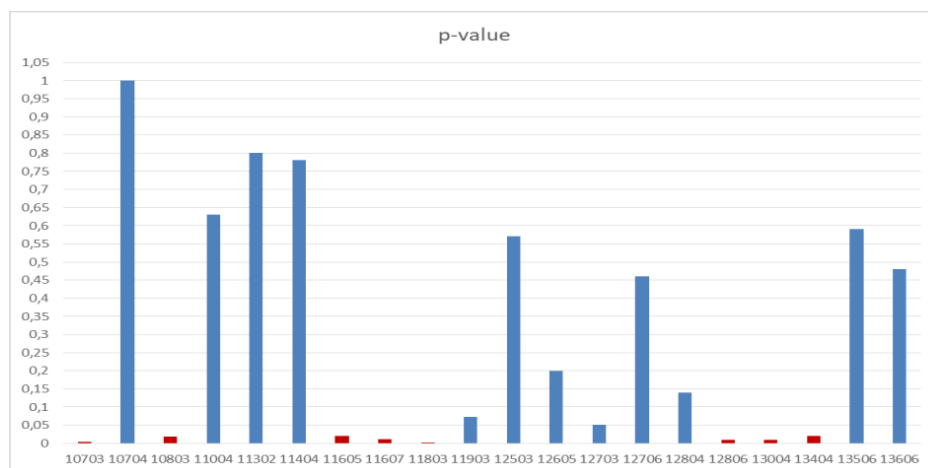
## Chapitre 4 : résultats et discussions

23,47 mm par décennie. Selon Mann-Kendall, cette tendance est significative au niveau des stations de Teneit El Had (011605) et Tarik Ibn Ziad (011607) (figure4.1)

Les stations de Mendes- 012706, Djidiouia Cheliff-012806, EM-MATMAR DRS- 013506 et Oued Kheir-013606 situées dans le bas Chellif indiquent respectivement une augmentation des précipitations d'environ 16.31, 39.83, 7.8, et 12.94 mm par décennie. Cette tendance est significative uniquement au niveau de la station de Djidiouia Cheliff.



**Figure4.1** variation de la pente de sen pour chaque station



**Figure 4.2:** P-value correspondant à chaque valeur de la pente de sen pour chaque station

A l'échelle mensuelle (annexe 1), au mois de septembre des tendances positives sont observées au niveau des stations de 010703 (Rechaiga) Ksar Chellala (010704) Mehdiya (010803) Khemisti (011004) Derrag (011302) Zoubiria (011404) Teneit el Had

#### **Chapitre 4 : résultats et discussions**

(011605) Tarik Ibn Ziad (011607) Toutia Hassania (011903) Ami Moussa (012605) Kenenda Ferme (012703) Mendes (012706) Djidiouia Cheliff (012806) Sidi m'hamed ben a Ouda (013404) Oued Kheir (013606) qui enregistrent une augmentation varie entre 0 à 7.73 mm par décennie .cette tendance n'est pas significative au niveau des stations de Sidi Hosni (012503) Sidi Lakhder (012804) .Tandis que la station de 011803 présente une tendance négative.

Au mois d'octobre la majorité des stations indiquent une tendance positive avec une pente de sen qui varie entre 0.37 et 6.71mm par décennie. Cette tendance est significative au niveau de tous les stations étudié .Tandis que les stations de Khemisti (011004) Teneit el Had (011605) Sidi Medjahed (011803) présentent des tendances négatives

Au mois de novembre des tendances positives sont observées au niveau de la majorité des stations ou la pente de sen varie entre 0.03 à 13.6. Cette tendance est significative au niveau des stations de Teneit el Had (011605) et Toutia Hassania (011903).Tandis que les stations de 010703 (Rechaiga), Ksar Chellala (010704), Mehdia (010803) Sidi Medjahed (011803) Kenenda Ferme (012703) Ain EL Hadid (013004) présentent des tendances négatives.

Le mois de décembre enregistrent des tendances positives non significatives au niveau des stations de Khemisti (011004) Derrag (011302) Zoubiria (011404) Teneit el Had (011605) Oued Kheir (013606) avec une pente de sen qui varie entre 1.26 et 5.04 mm par décennie. Tandis que le reste des stations présentent des tendances négatives.

Au mois de janvier des tendances positives sont observées au niveau des stations de Derrag (011302) Zoubiria (011404) Teneit el Had (011605) Tarik Ibn Ziad (011607) Ami Moussa (012605) Djidiouia Cheliff (012806) Sidi m'hamed ben a Ouda (013404) Oued Kheir (013606) qui enregistrent une augmentation varie entre 0.31 à 0.92. Cette tendance n'est pas significative. Tandis que les stations de Sidi Hosni (012503) Sidi Lakhder (012804).Tandis que les stations de Rechaiga (010703) Ksar Chellala (010704) Khemisti (011004) Sidi Medjahed (011803) Toutia Hassania (011903) Sidi Hosni (012503) Kenenda Ferme (012703) Mendes (012706) Sidi Lakhder (012804) Ain EL Hadid (013004) Em Matmar Drs (013506) présentent des tendances négatives

#### **Chapitre 4 : résultats et discussions**

Au mois de février des tendances positives non significatives sont observées au niveau des stations de Ksar Chellala (010704) Khemisti (011004) Teneit el Had (011605) Tarik Ibn Ziad (011607) Toutia Hassania (011903) Kenenda Ferme (012703) Mendes (012706) Djidiouia Cheliff (012806) caractérisées par une augmentation qui varie entre 0.02 à 0.88 mm par décennie. Cette tendance est significative au niveau de station Teneit el Had (011605). Tandis que les stations de Rechaiga (010703) Mehdiya (010803) Derrag (011302) Zoubiria (011404) Sidi Medjahed (011803) Sidi Hosni (012503) Ami Moussa (012605) Sidi Lakhder (012804) Ain El Hadid (013004) Sidi m'hamed ben a Ouda (013404) Em Matmar Drs (013506) Oued Kheir (013606) présentent des tendances négatives.

Au mois de Mars des tendances positives sont observées au niveau des stations de Ksar Chellala (010704) Teneit El Had (011605) Tarik Ibn Ziad (011607) Djidiouia Cheliff (012806) qui enregistrent une augmentation qui varie entre 0.54 à 0.97. Cette tendance n'est pas significative. Tandis que les stations de Rechaiga (010703) Mehdiya (010803) Khemisti (011004) Derrag (011302) Zoubiria (011404) Sidi Medjahed (011803) Toutia Hassania (011903) Sidi Hosni (012503) Ami Moussa (012605) Kenenda Ferme (012703) Mendes (012706) Sidi Lakhder (012804) Ain El Hadid (013004) Sidi m'hamed ben a Ouda (013404) Em Matmar Drs (013506) Oued Kheir (013606) présentent des tendances négatives

Le mois d'Avril enregistre des tendances positives au niveau des stations de Ksar Chellala (010704) Tarik Ibn Ziad (011607) Toutia Hassania (011903) Djidiouia Cheliff (012806) Em Matmar Drs (013506) Oued Kheir (013606) avec une pente de sens qui varie entre 0.04 à 0.81 mm par décennie. Cette tendance est significative au niveau de station de Em Matmar Drs (013506). Tandis que les stations de Rechaiga (010703) Mehdiya (010803) Khemisti (011004) Derrag (011302) Zoubiria (011404) Teneit el Had (011605) Sidi Medjahed (011803) Sidi Hosni (012503) Ami Moussa (012605) Kenenda Ferme (012703) Mendes (012706) Sidi Lakhder (012804) Ain El Hadid (013004) Sidi m'hamed ben a Ouda (013404) présentent des tendances négatives

Au mois de Mai des tendances positives sont observées au niveau des stations de Khemisti (011004) Derrag (011302) Zoubiria (011404) Teneit el Had (011605) Tarik Ibn Ziad (011607) Sidi Hosni (012503) Ami Moussa (012605) Kenenda Ferme (012703) Mendes (012706) Sidi Lakhder (012804) Djidiouia Cheliff (012806) Em Matmar (013506) Ain EL Hadid (013004) Sidi m'hamed ben a Ouda (013404) Oued

## Chapitre 4 : résultats et discussions

Kheir (013606) qui enregistrent une augmentation varie entre 0.07 à 0.97 . Cette tendance n'est pas significative. Tandis que les stations de Rechaiga (010703) Ksar Chellala (010704) Mehdi (010803) Sidi Medjahed (011803) Toutia Hassania (011903) présentent des tendances négatives.

Le mois de Juin indique des tendances positives non significative au niveau des stations de Khemisti (011004) Tarik Ibn Ziad (011607) Toutia Hassania (011903) Sidi Hosni (012503) Kenenda Ferme (012703) Mendes (012706) Sidi Lakhder (012804) Djidiouia Cheliff (012806) Em Matmar Drs (013506) Oued Kheir (013606) caractérisées par une pente de sen qui varie entre 0.17 à 0.97mm par décennie. Tandis que les stations de Rechaiga (010703) Ksar Chellala (010704) Mehdi (010803) Derrag (011302) Zoubiria (011404) Teneit El Had (011605) Sidi Medjahed (011803) Ami Moussa (012605) Ain El Hadid (013004) Sidi m'hamed ben a Ouda (013404) présentent des tendances négatives.

Au mois de juillet des tendances positives non significatives sont observées au niveau de toutes les stations avec une pente de sen de 0.02 à 0.80, excepté la station de Ksar Chellala (010704) qui présente une tendance négative.

Le mois d'aout montre des tendances positives non significative pour la majorité des stations excepté pour les stations de Khemisti (011004), Teneit El Had (011605) et Sidi Hosni (012503) ou la tendance est significative.

### 4.2 Analyse de la variabilité des précipitations par le test de Pettitt

**Tableau 4.1** : résultats de petit a l'échelle annuelle

Stations	Année de rupture	Moyenne avant mm	Moyenne apres mm	Différence
010703	1977	352.22	213.98	-0.39
010704	/	/	/	/
010803	1981	409.14	310.27	-0.24
011004	1984	262.81	436.08	0.65
011302	/	/	/	/
011404	/	/	/	/
011605	/	/	/	/
011607	1994	240.83	309.69	0.28
011803	1986	799.15	566.03	-0.29
011903	/	/	/	/
012503	1977	378.20	251.48	-0.33



#### Chapitre 4 : résultats et discussions

012605	1979	440.36	324.92	-0.26
012703	1980	422.42	278.15	-0.37
012706	/	/	/	/
012804	1979	389.04	259.00	-0.33
012806	1994	240.82	309.69	0.28
013004	1980	378.04	271.30	-0.28
013404	1980	289.41	215.12	-0.25
013506	/	/	/	/
013606	/	/	/	/

L'application du test de Pettitt à l'échelle annuelle révèle des résultats pratiquement similaires au test de Mann Kendall. Effectivement, huit stations ne montrent pas de rupture significative, alors que neuf stations enregistrent un changement de la moyenne qui se traduit par une baisse de la pluviométrie de 26 à 39%, tandis que deux stations seulement indiquent une augmentation des précipitations de 25 % et 65%.

A l'échelle mensuelle (Annexe 2), Pour l'ensemble des stations les mois d'octobre, janvier, février et n'enregistre aucun changement significatif de la moyenne pluviométrique.

Au mois de septembre seulement quatre stations marquent une rupture, à savoir : Sidi Hosni(012503) Ami Moussa (012605) Sidi Lakhder (012804) qui enregistrent respectivement une augmentation de (12,5%) (23,9%) (16%) (20%).

Au mois de novembre les stations de Khemisti (011004) et Toutia Hassania (011903), enregistrent respectivement une augmentation de 10.3% et 07,4% observée à partir de 1984 et 1996.

Au mois de décembre les stations de Sidi Medjahed(011803) et sidi Lakhder(012804) indiquent respectivement une baisse de la pluviométrie de 41% et 49% observée à partie de 1988 et 1986.

Mois de mars il y quatre stations qui marquent une rupture à savoir: Rechaiga (010703) Mehdiya (010803) Sidi Medjahed(011803) Ain el Hadid (013004) qui enregistrent respectivement une baisse de 66%, 100%, 53% et 51% observées à partir de (1975) (1979) (1991) (1985).

Le mois d'avril enregistre une baisse significative des précipitations observées au niveau des stations de Rechaiga (010703) Zoubiria (011404) Sidi Medjahed(011803)

## Chapitre 4 : résultats et discussions

Ain el Hadid (013004) qui montre respectivement les ruptures dans les années de (1981) (1996) (1980) (1981) avec un pourcentage de : (63%) (43%) (44%) ( 51%)

Au mois de mai une seule rupture est observée à la station de Khemisti à partir de 1982 avec une augmentation de 136%.

Le Mois de juin est marqué par une rupture aux stations de : Rechaiga (010703) Ksar Chellala (010704) Zoubiria (011404) qui enregistrent respectivement les ruptures dans les années de (1974) (1995) (1976) avec une baisse de 73%, 0.73% et 60%.

Au mois de août les stations de Khemisti (011004) Derrag (011302) Teneit el Had(011605) Sidi Hosni (012503) indiquent respectivement une augmentation des précipitations de 422% 70% 158% 512% à partir des années 1984, 1984, 1983, 1987:

### 4.3 Analyse des indices bioclimatiques

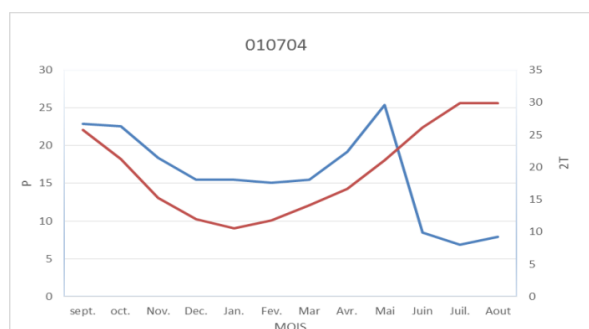
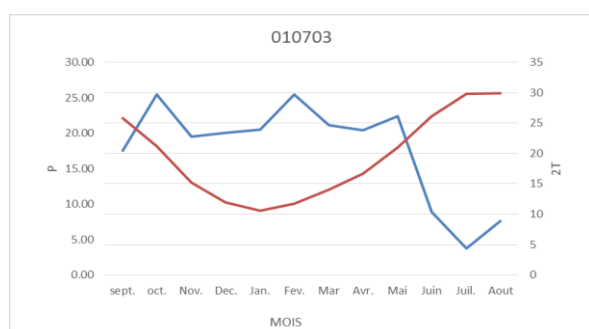
#### Diagramme Ombrothermique

Le diagramme Ombrothermique ou climato gramme représente la variation des pluies et des températures mensuelles interannuelles au cours de la période d'étude. L'intersection des deux courbes représente les mois de transition entre lesquels se situent la période humide et la période sèche.

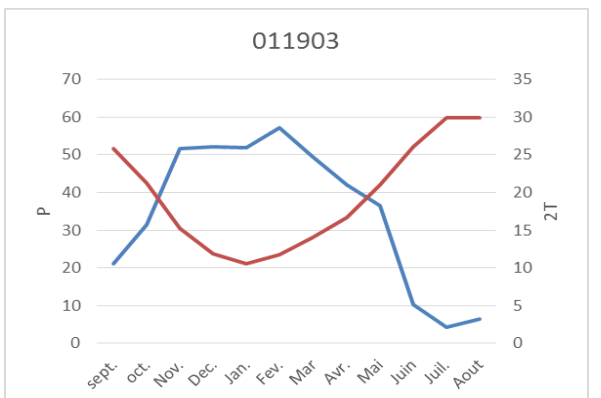
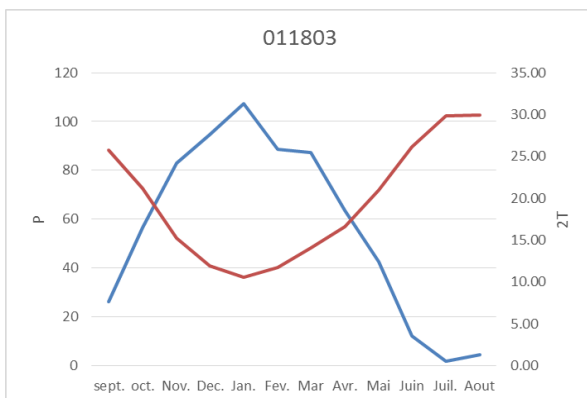
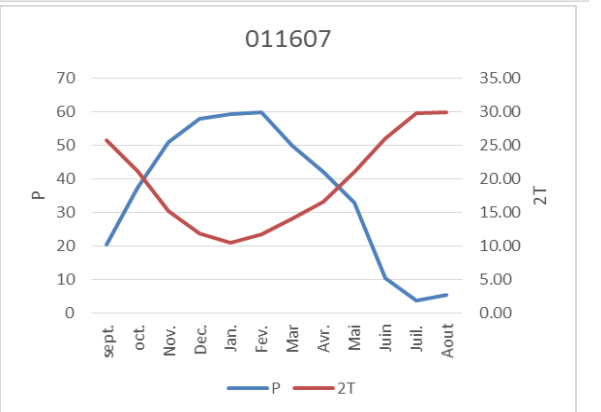
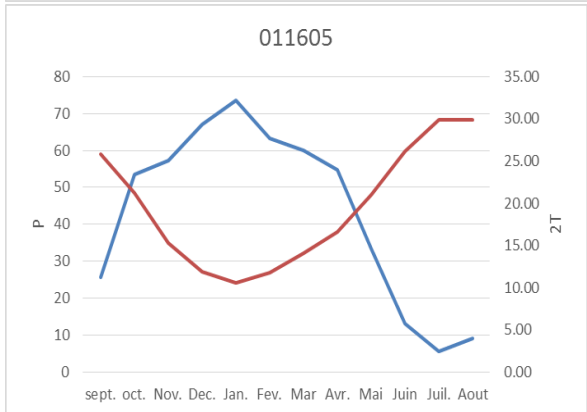
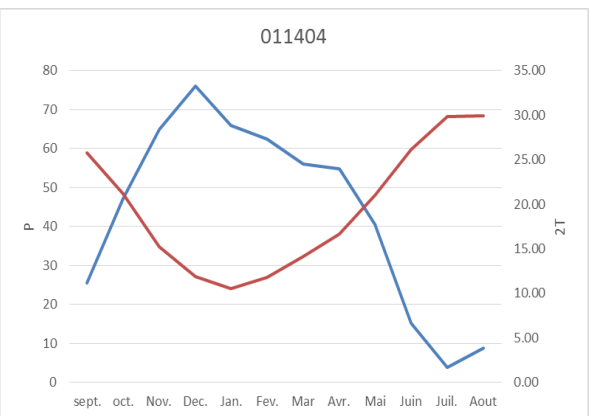
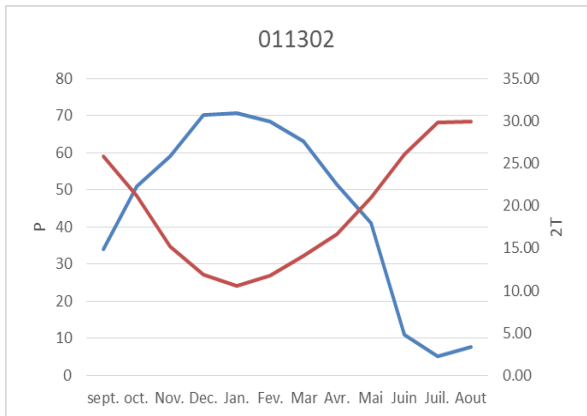
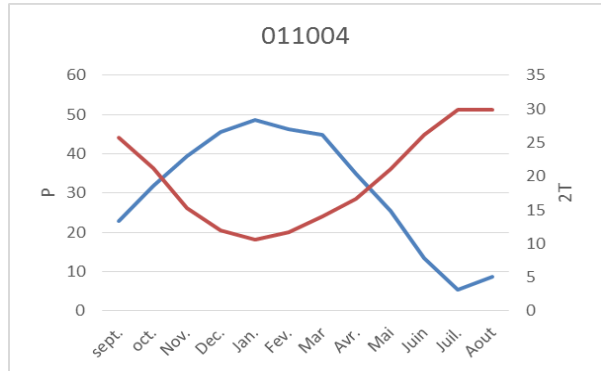
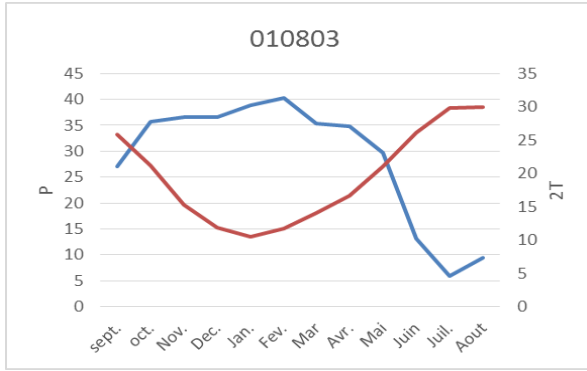
Pour la plupart des stations la période humide se situe entre les mois d'octobre et avril. Cette période représente les mois les plus pluvieux de l'année.

Certaines stations particulièrement celles situées au bas Chélif enregistrent une pluviométrie plus importante aux Mois d'octobre et Novembre par rapport aux autres mois de la période humide.

En ce qui concerne la période sèche elle se situe entre les mois de mai et octobre. Les mois de juin, juillet et août sont les plus secs caractérisés par une très faible pluviométrie et des températures élevés.



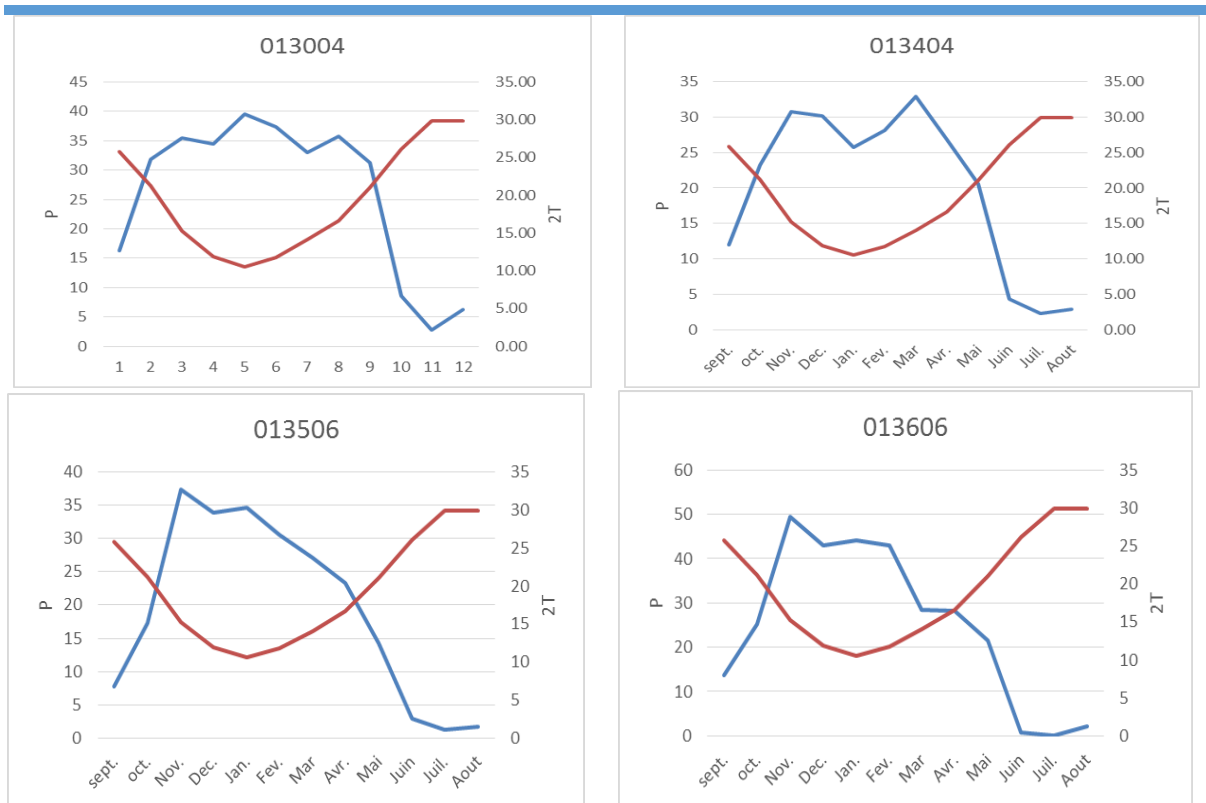
## Chapitre 4 : résultats et discussions



## Chapitre 4 : résultats et discussions



## Chapitre 4 : résultats et discussions



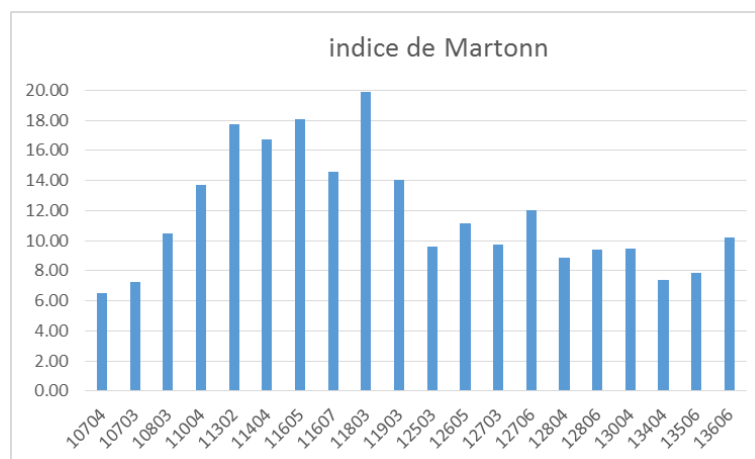
**Figure 4.3 :** diagramme Ombrothermique des stations de la zone d'étude

### 4.4 Résultats de l'Indice de Martonne

L'indice d'aridité de Martonne permet de classer le degré d'aridité ou de sécheresse d'une année donnée.

L'indice de Martonne calculé sur l'ensemble de la période d'étude varie entre 6 et 20. Ainsi, le climat de la zone d'étude est semi-aride (10-20) à aride (5-10).

Selon la figure (4.3) le climat est de type aride dans la région du bas chellif et à l'amont du bassin tandis qu'il est de type semi-aride sur le reste du bassin.



**Figure 4.4** résultats Martonne de 20 stations

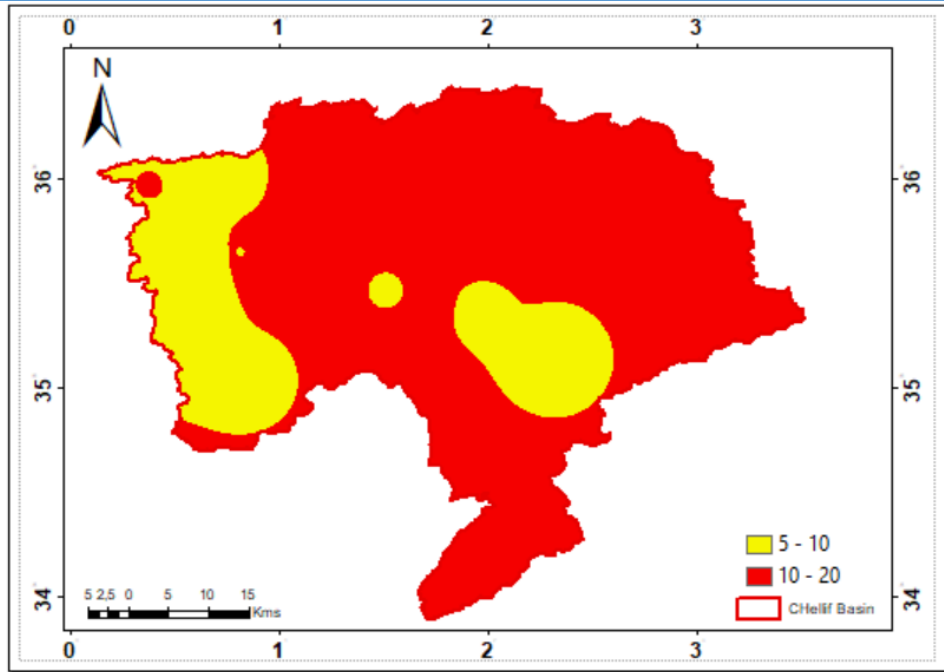
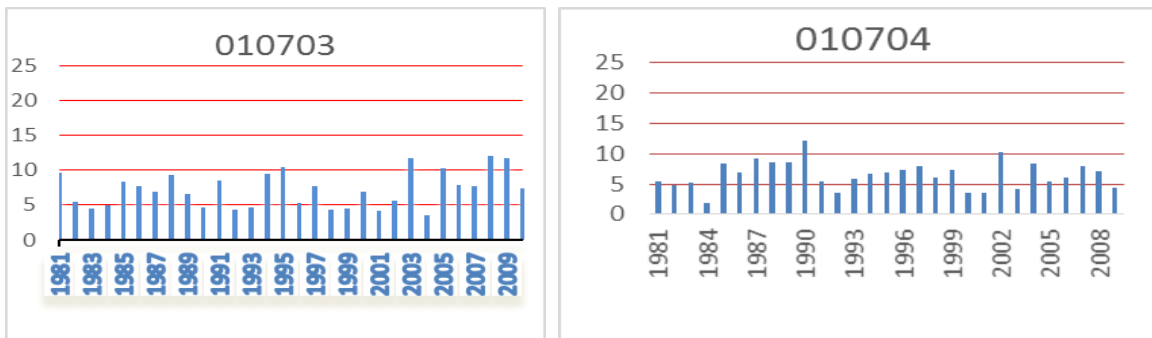


Figure4.5 : indice de Martonne au cours de la période d'étude

La variabilité temporelle de l'indice de Martonne au cours de la période 1981-2010 (figure4.4) montre que les années les plus sèches sont observées à la fin des années 90 début 2000 caractérisé par un indice inférieur à 5 (tableau4.1)

Dans l'ensemble, les stations situées au moyen et haut Chéiff ont enregistré des années plus humides caractérisées par un indice de Martonne qui oscille entre 20 et 30 (climat Sub-humide), contrairement aux stations qui se trouvent au bas Chéiff, où la majorité des années sont caractérisées par un indice de Martonne inférieur à 20.



## Chapitre 4 : résultats et discussions



## Chapitre 4 : résultats et discussions



Tableau 4.2 : Répartition des années en fonction de l'indice de Martonne

Stations	Indice 0-5 aride	Indice 5-10	Indice 10-20 semi-aride	Indice 20-30 Tempère
010703	83/90/92/93 /98/99/ 01/04/	81/82/84/85/86/87/88 89/91/94/96/97/00/02/ 06/07/10	95/03/05/08/09/	



## Chapitre 4 : résultats et discussions

010704	83/85/93/01/02/04/10	81/82/84/86/87/88/89/90/92/94/95/96/97/98/98/99/00/05/06/07/08/09/	91/03/	
010803		82/84/87/92/93/96/98/99/00/01/02/04/06/07/	81/83/85/86/88/89/90/91/94/95/97/03/05/08/09/10	
011004	81/	82/83/98/99/01/04/06/07/	84/85/88/89/92/93/96/97/00/02/03/05/08/09/10	86/87/90/91/94/95
011302			81---84/86---92/93/94/96/99/00/01/04----07/10	85/91/95/97/98/02/03/08/09
011404		92/93/04	81---91/94---03/05---10	
011605			81---83/87---94/96---99/01/04---07	84/85/86/95/00/02/03/08/09/10
011607		92/93/99/01/	81/82/83/84/85/86/87/88/89/90/91/94/96/97/98/00/02/03/04/05/06/07/08/09/10	95
011803			81---10	
011903		99/	81---98/00---10	
012503	82	81/83/84/86/88/89/90/91/92/93/96/98/99/01/02/03/04/07	85/87/94/95/97/00/05/06/08/09/10	
012605		81/83/84/87/88/89/91/92/93/94/98/99/04	82/85/86/90/95/96/97/00/01/02/03/05/06/07/08/09/10	
012703	83/84/85/86/92/	81/87/88/89/91/93/96/02/04/06/07/	82/90/94/95/97/98/99/00/01/03/05/08/09/10	
012706	99/	81/87/89/92/93/04/06/	82/83/84/85/86/88/90/91/94/96/97/98/00/01/02/03/05/07/08/09/10/	95
012804		81---10		
012806	99/	81/82/83/84/86/87/88/89/91/92/93/94/98/02/04/07/	85/90/95/96/97/00/01/03/05/06/08/09/10	
013004		81/82/83/84/87/89/90/92/93/94/96/98/99/00/01/04/06/10/	85/86/88/91/95/97/02/03/05/07/08/09/	
013404	81/	82/---10		
013506	81/99/	83/84/86/87/88/89/90/91/92/93/94/96/97/98/01/02/03/04/06/07/10	82/85/95/00/05/08/09/	
013606		81/84/88/89/90/91/92/93/94/98/99/02/04/06/07/	82/83/85/86/87/95/96/97/00/01/03/05/08/09/10	

### 4.5 Résultats de l'Indice d'Emberger

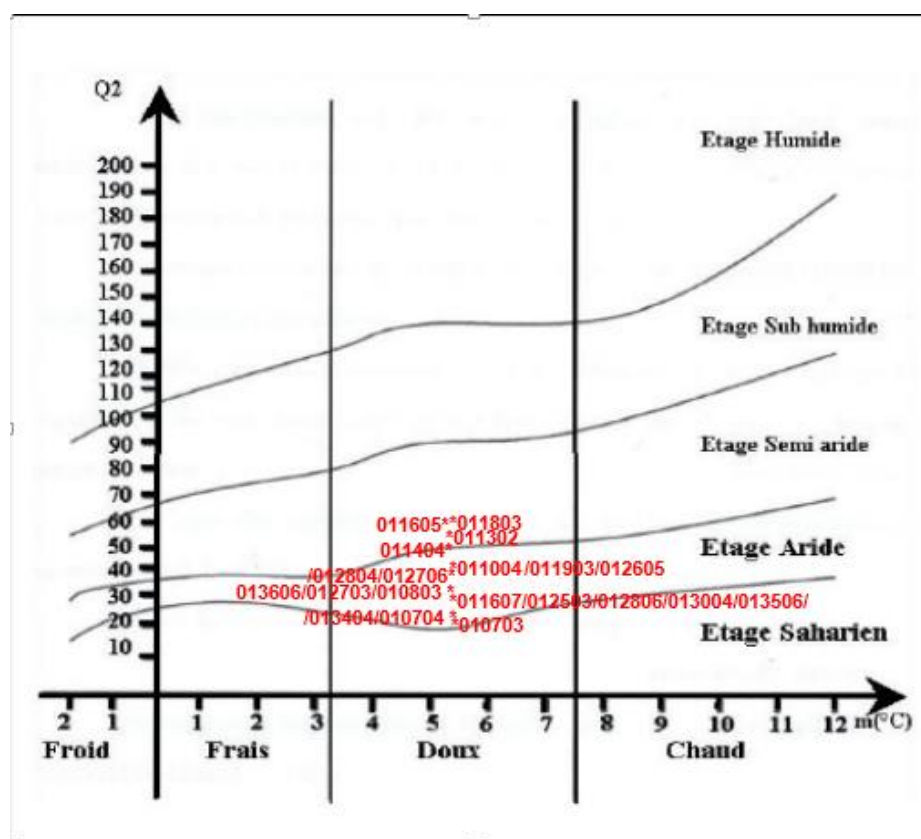
L'étage bioclimatique représenté par l'indice d'Emberger coïncide dans l'ensemble avec les étages bioclimatiques identifiés par l'indice de Martonne. La représentation des stations sur le Climmagrammes d'Emberger la (figure 4.5) montre que la zone

## Chapitre 4 : résultats et discussions

d'étude est soumise à un climat de type semi-aride à aride. D'après la (figure4.6), les régions du bas Chéiff et l'amont du bassin enregistrent les taux les plus bas du Q2 contrairement au reste du bassin.

**Tableau4.3** : les résultats d'indice Emberger (classification des stations)

Etage aride (25-35)	Etage Semi-aride (35-65)
010703 / 010704 / 013404 / 011607/ 012503 / 012806 / 013004 / 013506 / 010803 / 012703 / 013606 / 012706 012804 / 011004 / 011903 / 012605	011302 / 011404 / 011605 / 011803



**Figure 4.6** représentation des résultats d'indice Emberger

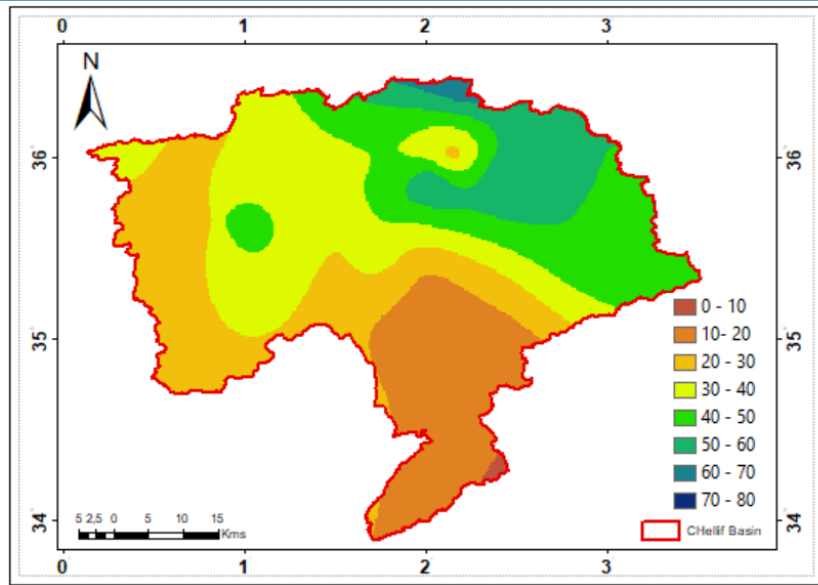


Figure 4.7 : indice d'Emberger (Q2) au cours de la période d'étude

## 4.6 Projections climatiques

### 4.6.1 Variation des pluies et des températures futures.

Afin d'analyser l'impact des changements climatiques sur le bassin du Chélif. Les données de pluies et de températures simulées par le modèle « MPI-ESM-LR » sous deux scénarios de forçages radiatifs RCP 4.5 et RCP 8.5 ont été utilisées.

Pour chaque stations les données simulées historiques (1981-2010) et projetées (2041-2070) ont été extraites à partir de fichiers net.cdf téléchargés sur le site de CORDEX en utilisant Arc gis. Comme le modèle présente une résolution de 50 Km, les données simulées d'un point de maille ne correspondent pas parfaitement aux coordonnées géographiques des données observées. Cette différence affecte sensiblement la qualité des résultats obtenus. C'est pour cette raison que l'interprétation des résultats repose sur l'estimation du biais qui quantifie le taux de changement ou de variation des pluies et des températures entre la période historique et la période de projection. L'estimation du biais ou du coefficient d'échange se fait selon la formule suivante pour les précipitations :

$$\text{Biais} = (P_2 - P_1) / P_1$$

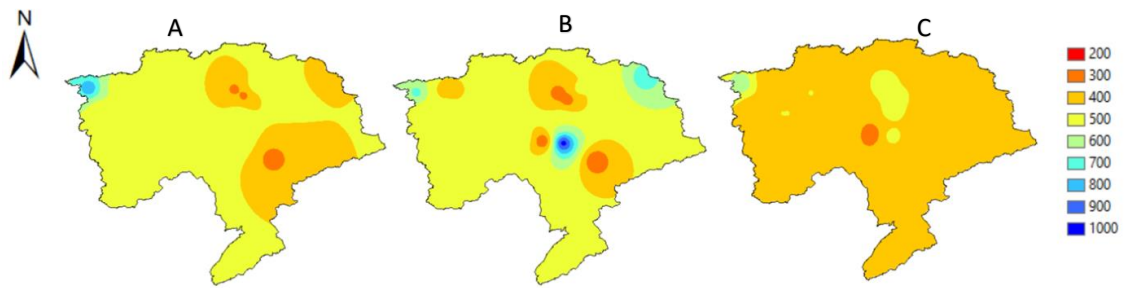
## Chapitre 4 : résultats et discussions

Où :  $P_1$  : correspond aux pluies moyennes de la période historique (1981-2010)

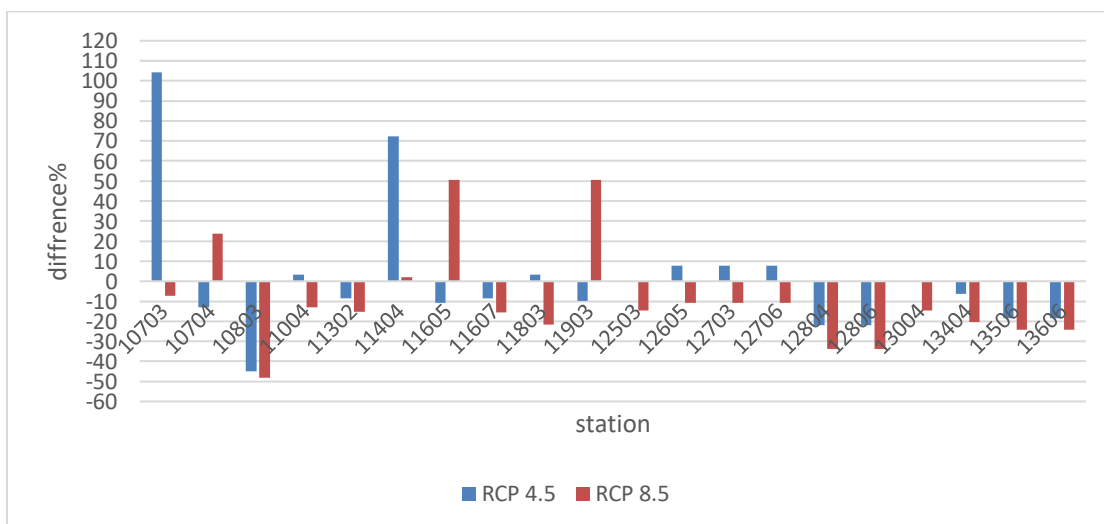
$P_2$  : correspond aux pluies moyennes de la période de projection (2041-2070)

Pour les températures le coefficient d'échange correspond à la différence de température entre la période de projection et la période historique.

La figure 4.7 représente la variabilité spatiale des précipitations à l'échelle du bassin au cours de la période historique (1981-2010) ainsi que la période de projection (2041-2070) selon le scénario climatique RCP 4.5 et RCP 8.5. D'après la figure (figure 4.9) il est clair que si aucune mesure d'atténuation n'est prise en considération les précipitations risquent de baisser de 20 à 40% à l'horizon 2070.



**Figure 4.8** Variation de la pluviométrie pendant la période 81-2010 (a), RCP4.5 (b), RCP 8.5 (c)



**Figure 4.9** : différence de pluie entre la période historique et la période de projection

En ce qui concerne les températures, le scénario 4.5 met en évidence une augmentation des températures qui est plus accentuée à l'aval du bassin, alors que le

RCP 8.5 indique une augmentation des températures qui touche l'ensemble du bassin (figure 4.11).

L'estimation du biais qui reflète la différence de températures entre la période historique et la période de projection révèle une augmentation des températures de 1 à 4 °C selon le RCP 4.5 et de 1.5 à 5°C selon le RCP 8.5.



Figure 4.10 Variation des températures 81-2010, RCP4.5, RCP 8.5

A	B	C
Hist 1981-2010	RCP-4.5	RCP-5.8

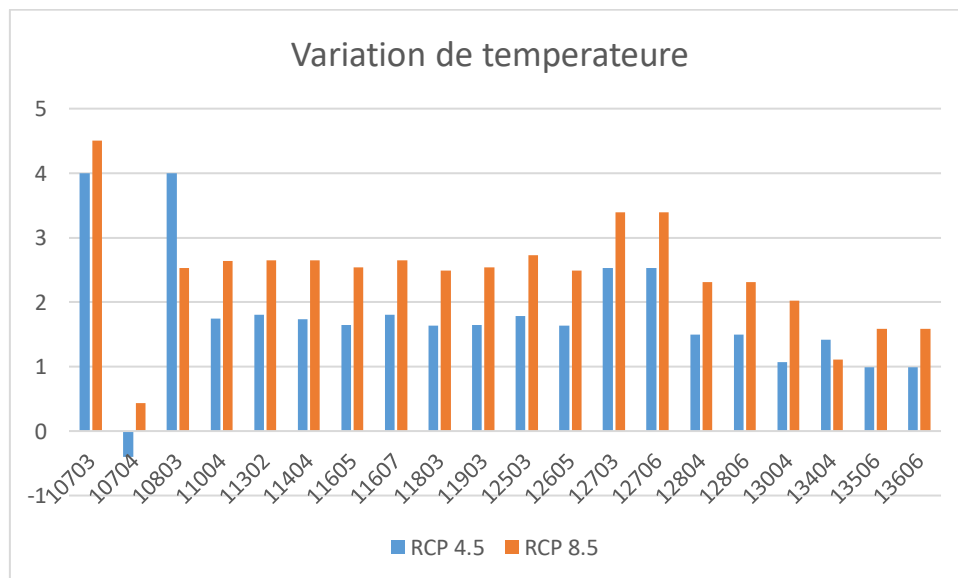


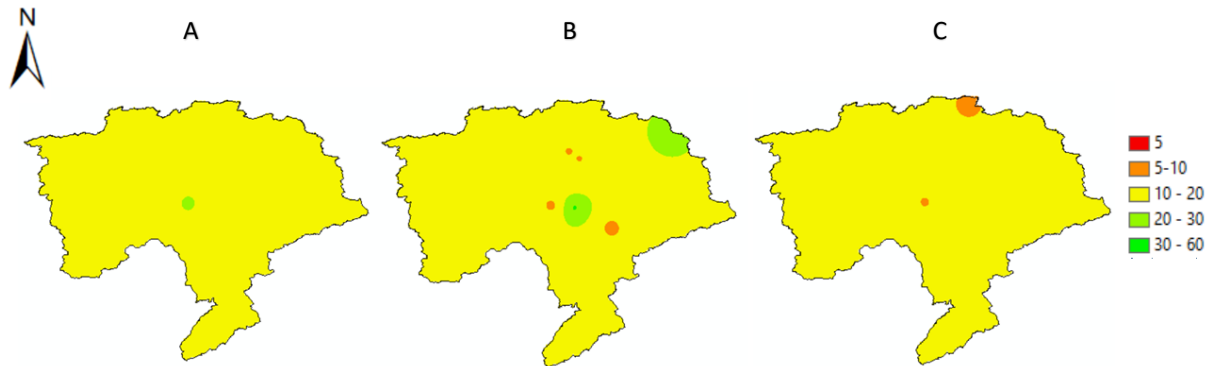
Figure 4.11: variation de température RCP 4.5 RCP 8.5

#### 4.6.2 Variation des indices bioclimatiques au cours de la période de projection

L'indice d'Emberger ainsi que l'indice de Martonne ont été calculés sur la base des pluies et des températures simulées par le modèle « MPI-ESM-LR » au cours de la période historique (1981-2010) et la période de projection (2041-2070) pour les deux scénarios climatiques RCP 4.5 et RCP 8.5. L'interpolation spatiale de l'indice de

## Chapitre 4 : résultats et discussions

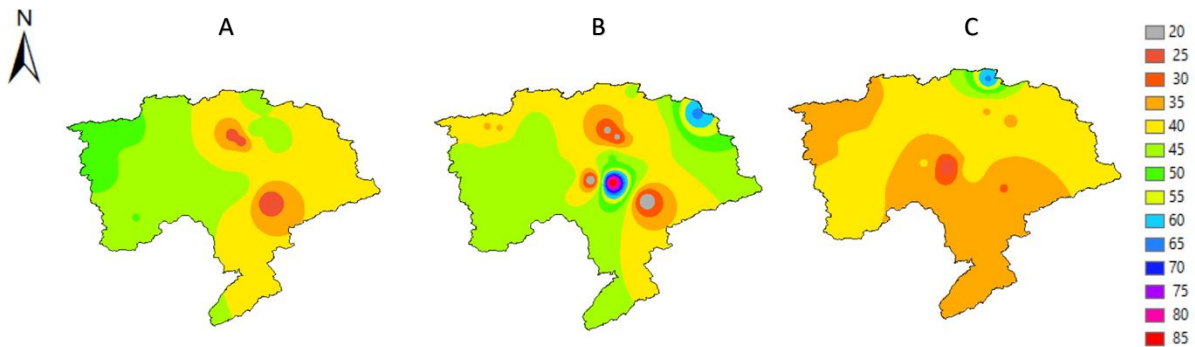
Martonne calculé pour les 20 stations par la méthode IDW (figure 4.11) montre dans l'ensemble que le bassin est soumis à un climat semi-aride au cours des deux périodes historique et de projection.



**Figure 4.11** Variation de l'indice de Martonne 81-2010, RCP4.5, RCP 8.5

A	B	C
Hist 1981-2010	RCP-4.5	RCP-5.8

Concernant la variation de l'indice d'Emberger (Q2), l'interpolation spatiale des données par la méthode IDW (figure 12) révèle une variation importante entre la période historique et la période de projection particulièrement pour le RCP 8.5 où l'aval et l'amont du bassin montre une baisse importante de l'indice Q2 par rapport à la période historique.



**Figure 4.12** Variation Indice d'Emberger 81-2010, RCP4.5, RCP 8.5

A	B	C
Hist 1981-2010	RCP-4.5	RCP-5.8

# CONCLUSION GÉNÉRALE

## **Conclusion générale**

---

### **Conclusion générale**

Ce travail vise à évoluer la variation des étages bioclimatiques du bassin du Chellif sous l'effet du changement climatique. L'estimation des indices bioclimatiques repose sur deux variables climatiques importantes à savoir les précipitations et les températures.

L'évolution des températures au cours de la période d'étude par les tests statistiques de Mann-Kendall et Pettitt a mis en évidence une réduction de la pluviométrie annuelle pour certaines stations qui se traduit par une baisse de 26% à 39 %

Pour l'ensemble de la zone d'étude les résultats ont montré que les mois de septembre, octobre et novembre sont caractérisés par une tendance à l'augmentation des précipitations alors que les mois de décembre avril et mai indiquent une tendance à la baisse.

L'indice de Bagnouls et gaussien a montré que les mois les plus humides sont concentrés entre octobre et Mars, alors que les mois les plus chaud sont juillet et Aout.

L'indice d'aridité de Martonne a permis de classer les étages bioclimatiques de la région d'étude pour qui la majorité des stations se trouvent sous un climat semi-aride à aride. L'indice d'Emberger confirme à son tour ce type de climat.

Les projections climatiques pour la période 2041-2070 ont mis en évidence une baisse de la pluviométrie de 20 à 40% si aucune mesure d'atténuation n'est prise en considération. Les températures risquent d'augmenter de 1 à 5°C dans la zone d'étude.

Cette variabilité va accentuer le climat de la région qui est déjà semi-aride et risque de se transformer dans sa totalité à un climat aride.

Cette étude peut contribuer à la planification des stratégies d'adaptation dans la région particulièrement pour le secteur de l'eau et l'agriculture.

Il est important de souligner que les résultats de cette étude sont conditionnés par un certain nombre d'incertitude tel que la paramétrisation des modèles climatiques, la distance de la station par rapport au point de maille le plus proche ainsi que la résolution du modèle.

Pour améliorer les résultats de ce travail, il est recommandé de faire une correction des biais des données simulées par le modèle climatique afin d'améliorer leur qualité



## ***Conclusion générale***

---

et de densifier le réseau pluviométrique pour une interpolation de données plus représentatives.

**RÉFÉRENCES**

**BIBLIOGRAPHIE**

## Les références bibliographiques

- Ashcroft L., 2017. Temperature and precipitation regional climate series over the central Pyrenees during 1910-2013. *International Journal of Climatology*, n.4,v.37, p.1922 – 1937
- Borbon A., Magdy A.W., Omar M., Saad-Hussein A.,Alfaro S.C.,2019.Past (1950–2017) and future (–2100) temperature and precipitation trends in Egypt. *Weather and Climate Extremes*,v. 26, p.1-12.
- Caloiero T., Coscarelli R., Gaudio R., Leonardo G.P., 2018. Precipitation trend and concentration in the Sardinia region. *Theoretical and Applied Climatology*, v.137, p.297 – 307.
- Cramer W., Guiot J., Fader M., Garrabou J., Gattuso J.P., Iglesias A., Lange M.A., Lionello P., Llasat M.C., Paz S., Peñuelas J., Snoussi M.,Toreti A.,Tsimplis M.N.,Xoplaki E.,2019.Les risques liés aux changements climatiques et environnementaux dans la region méditerranée : Une évaluation préliminaire par le réseau MedECC l'interface science-décideurs - 2019.MedECC, pp.5-22
- Decrouy. 2021 Les climats dans le monde
- Drogoudi P., Kazantzis K.,Kunz A., Blanke M., 2020. Effects of climate change on cherry production in Naoussa, Greece and Bonn, Germany: adaptation strategies. *EuroMediterranean Journal for Environmental Integration*, v.5, p.1- 6.
- FARAH, 2014 MEMOIRE Présenté pour obtenir le diplôme de : Magistère en ECOLOGIE et ENVIRONNEMENT Option : Pathologie des écosystèmes forestiers
- Gendre, 2023 GIEC 2022 : tout ce qu'il faut savoir article (ines)
- GIEC, 2001 Changements climatiques conséquences, adaptation et vulnérabilité. Contribution du Groupe de travail
- KOLLI F, et LEMOUCHI O ,2020 Contribution à l'Etude climatique et bioclimatique de barrage chaffia dans la wilaya El Tarf
- Mate (2003) Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement, pp 465.
- Mayer, 2019 La Méditerranée se réchauffe plus vite que le reste de la planète article
- Melki A., Abida H. 2019. Impact of climatic variation on infiltration rate under an arid climate: case of Northern Gafsa Watershed, Tunisia. *Environment development and sustainability*, p.1-16
- Mostafa A.N., Wheida A., El Nazer M., Adel M., El Leithy L., Siour G., Coman A., Borbon A., Magdy A.W., Omar M., Saad-Hussein A.,Alfaro S.C.,2019.Past (1950–2017) and future (–2100) temperature and precipitation trends in Egypt. *Weather and Climate Extremes*,v. 26, p.1-12.,

- Mokhtari N, Mrabet M, LEBAILLY, P, L. BOCK, 2013 Spatialisation des bioclimats, de l'aridité et des étages de végétation du Maroc
- OMM, 2022 Le rapport annuel de l'OMM souligne la progression continue du changement climatique
- Ouhamdouch S., Bahir M., Ouazar D., 2020. Climate change impact assessment on a carbonate aquifer under semi-arid climate: example of the Cenomanian-Turonian aquifer within Meskala-Ouazzi region (Essaouira Basin, Morocco). *Arabian Journal of Geosciences*, v. 13 Pérez-Zanón N., Sigró J.,
- Peel, M 2007, Finlayson B, L et Mc Mahon T, A (2007)
- Pérez-Zanon N., Sigró J., Ashcroft L., 2017. Temperature and precipitation regional climate series over the central Pyrenees during 1910-2013. *International Journal of Climatology*, n.4, v.37, p.1922-1937
- Simon Stiell (2015) accord de paris
- Taïbi (2016) Influence de la circulation atmosphérique générale sur les précipitations du Nord de l'Algérie. Thèse de doctorat, Ecole nationale supérieure d'hydraulique, Algérie
- Taïbi S., Meddi M., Mahe G., 2019. Seasonal rainfall variability in the southern Mediterranean border: Observations, regional model simulations and future climate
- Taïbi S, Zeroual A, Meddi M .2021. Effect of autocorrelation on temporal trends in air-temperature in Northern Algeria and links with teleconnections patterns
- Unal Y.S., Yuruk C., Incecik S., Topcu H.S., Deniz D., Temizoz H.P., 2020. Investigating urban heat island intensity in Istanbul. *Theoretical and Applied Climatology*, n.1-2, v.139, p. 175-190.
- Zerarka 2018 Les Ressources en eaux dans la Plaine du Moyen Cheliff
- Zeroual A., Assani A.A., Meddi M., Alkama R., 2018. Assessment of climate change in Algeria from 1951 to 2098 using the Köppen–Geiger climate classification scheme. *Climate Dynamics*, v.52, p.227-243.