



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج

Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A.

كلية علوم الطبيعة و الحياة و علوم الأرض و الكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم الفلاحية

Département des Sciences Agronomiques



Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master
Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Aménagement Hydro-Agricole

Thème

**Etude du climat passé et des changements climatiques
futurs dans la région de Sétif**

Présenté par : HOUARI Hadjer

BENZARTIHA Fatima

Devant le jury composé de :

Président : Naouri Mohamed

MCB (Univ. Bordj Bou Arréridj)

Encadrant: M^{me} Chourghal Nacira

MCA (Univ. Bordj Bou Arréridj)

Examineur: Benaini Mohamed

MAA(Univ. Bordj. Bou. Arréridj)

Année universitaire : 2018/2019

Remerciement

Notre thèse a été l'aventure la plus enrichissante de notre vie, aussi bien scientifiquement qu'humainement et l'occasion de nombreuses rencontres, d'échanges et de collaborations. Avant tout, nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir accordé la force, le courage et les moyens afin d'accomplir ce modeste travail.

Au terme de cette étude, nous exprimons notre profonde gratitude à notre promotrice et nous sommes particulièrement sensibles à la confiance que Madame **CHOURGHAL Nacira**, Docteur en Sciences Agronomiques nous a accordée en acceptant de suivre notre travail. Son accueil toujours attentif et bienveillant, ses conseils judicieux et son appui ont été décisifs pour mener à bien cette étude. Merci également d'avoir toujours été enthousiaste à mes idées. Nous lui exprimons notre très vive et respectueuse gratitude.

Nos remerciements s'adressent aussi à Monsieur **Naouri Mohamed** pour avoir accepté de présider ce jury, nous le prions de trouver ici l'expression de notre respectueuse gratitude. Merci à vous de prendre le temps de me donner votre avis sur ce manuscrit

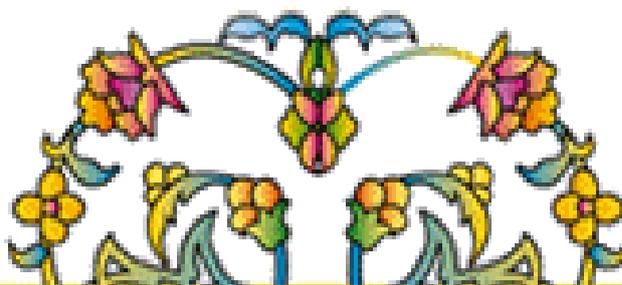
Nous voudrions également remercier Monsieur **Benaini Mohamed** pour avoir accepté d'examiner ce travail, qu'il trouve ici l'expression de nos sincères respects.

Mes remerciements s'adressent à monsieurs **Latrache Abdenour** et **ben othemane ahmed** pour ses conseils Judicieux. D'avoir bien voulu me fournir les séries climatiques historiques de zones d'étude

Je suis particulièrement reconnaissant au personnel de l'aéroport **05 mai 1948**
Pour la qualité de leur service.

Je tiens à remercier particulièrement **SAHNOUN Hiba** qui m'ont encouragé
tout au long de ce travail.

Nos remerciements s'adressent également à tous nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve celles et ceux qui nous ont apporté leur aide, et tous ceux qui ont contribué par leur soutien de près ou de loin, pour la réalisation de ce travail.



DEDICACE

Je dédie de modeste de travail à :

*Au mon dieu de clément et de miséricordieux a **ALLAH** de tout puissant*

*A la source de mes efforts ma vie et bonheur **maman** que j'adore*

*A celui que j'aime beaucoup et qui a soutenue tout au long de ce mémoire **wahid**
et bien sur mes frères **Youssef, Abdallah, et Nacer**, ma sœur **Donia** sans oublier ma
grande mère et mes beaux parents que j'aime pour leur encouragement permanent
et leur soutien moral*

*Aves une grande dédicace à mon Encadrant M. **Chourghal Nacira***

*Atout ma famille **Benzertifa***

*Ames chers amies : **Chahra, Imane, chaima, Khadidja, Aya, Maram, Maria***

*A mon binôme **Hadjer** et tout la famille **Houari***

*Je n'oublierai pas mes collègues pour leur aide et soutien, qu'il soient vivement
remerciés*

*A tous mes professeurs du primaire, du moyen, du secondaire, et de
l'enseignement supérieur*

*A ma Directrice et mes collègues à la Direction de l'Environnement
Que ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail,
trouvent, ici, l'expression de ma profonde gratitude.*

Fatima

Dédicaces

Je tiens avant tout à rendre gloire à Dieu pour sa bonté infinie, pour la santé et la paix accordées

*Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert, et un grand amour, Je dédie ce mémoire
A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et
Source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour
Me voir réussir, que dieu te garde dans son vaste paradis, à toi*

*Mon père **HOUARI Rachid***

*Ma mère **REMMECHE Nadia***

*Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour, à ma sœur **Sabrina**
Tous mes frères : **Hichem, Bilel, Zouhir** et, sans oublier **ma grand-mère***

*Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient
Toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagné durant mon
Chemin d'études supérieures : **REMMECHE Yasmina, BELAIDI Merzaka, BELAIDI
Merbouha***

*Mes aimables amis, collègues d'étude, mes cousins, cousines et à toute la famille **HOUARI**
Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis
merci*

Hadjer

Table de matière	
Remerciement.	i
Dédicace	.i i
Liste des tableaux	.i ii
Liste des figures	.i v
Introduction	1
Partie I : Revues bibliographiques	
Chapitre I : Le climat observé au nord de l’Afrique	
1. Généralités	2
1.1 Le climat	2
2. Eléments du climat	2
2.1 Température	2
a) La température minimale	3
b) la température moyenne	3
c) La température maximale	3
d) Les températures extrêmes	3
2.2 Précipitation	3
3. Le climat observé	4
3.1 Le climat observé dans le monde	4
3.2 Le climat observé en zone méditerranéenne	4
3.3 le climat observé en Afrique	6
Chapitre II : Changement climatique en zone Sud Méditerranéenne	
1 . Le changement climatique	7
2 . La variabilité climatique	7
3. Les simulations du climat	8
3.1 Les modèles climatiques	8
3.2 Les scénarios climatiques	9

4. Les changements climatiques observés	10
4.1 Les changements climatiques dans le monde	10
4.2 Le changement climatique en zone Sud Méditerranéenne	11
4.3 Le changement climatique dans le Nord de l'Afrique	11
Partie II : Matériels et Méthodes	
1. Introduction	13
2. présentation de la zone d'étude	13
2.1. Localisation	13
2.2. Pédologie	14
2.3. Le climat	14
a) Pluviométrie	14
b) Température	15
3. Analyse du climat observé	15
3.1. Source des données observées	15
3.2. Calcul des paramètres statistiques	16
3.2.1. Moyenne arithmétique	16
3.2.2. Ecart type	16
3.3. Etude des tendances du climat observé	17
3.3.1. Le test de Mann-Kendal	17
3.3.2. La méthode du Sen'slope	18
4. Simulation du climat présent et scénarios climatiques futurs	19
4.1. Modèle climatique	19
4.2. Comparaison entre climats et étude du changement climatique futur	19
Partie III : Résultats et Discussion	
1. Caractéristiques du climat récent observé	20
1.1 Précipitation	20
a) Moyenne interannuelles 23	20
b) Moyenne annuelle 23	20
c) Moyenne mensuelle interannuelle 24	22

1.2. Température	23
1.2. 1 Température minimale	23
a) Moyenne interannuelle	23
b) Moyenne annuelle	23
c) Moyennes mensuelles interannuelles	23
1.2. 2 Température moyenne	24
a) Moyenne interannuelle	24
b) Moyenne annuelle	24
c) Moyennes mensuelles interannuelles 27	25
1.1. 3 Température maximale	25
a) Moyenne interannuelle 27	25
b) Moyenne annuelle 28	26
c) Moyennes mensuelles interannuelles 29	27
2. Les tendances du climat observé durant le passé récent	27
2.1. Précipitations	27
2.2.La température	29
2.2.1. Températures minimales	29
2.2.2. Températures moyenne	30
2.2.3. Températures maximales	31
3. Le climat actuel simulé	32
3.1. Précipitations	32
3.2. Températures	33
3.2.1. Température minimale	33
3.2.3. Température maximale	34

4. Le changement climatique futur	35
4.1. Précipitations	35
4.2. Température	36
4.2.1. Température minimale	36
4.2.2. Température moyenne	37
4.2.3. Température maximale	37
Conclusion	39

LISTE DES TABLEAUX

Numéro du tableaux	Titre	Page
I	Moyennes et écarts types des précipitations mensuelles interannuelles durant la période observée..	22
II	Moyennes et écarts types de la température minimale mensuelle interannuelle durant la période (1985-2017)	25
III	Moyennes et écarts types de la température moyenne mensuelle interannuelle durant la période (1985-2017)	25
IV	Moyennes et écarts types de la température maximale mensuelle interannuelle durant la période (1985-2017)	28
V	Anomalies moyennes mensuelles de la précipitation climat futur	28
VI	Anomalies moyennes mensuelles de les températures du climat futur	30
VII	Résultats des tests de tendance des précipitations durant la période (1985-2017) dans la région de Sétif	30
VIII	Résultats des tests de tendance des températures minimales durant la période (1985-2017) dans la région de Sétif	33
IX	Résultats des tests de tendance des températures moyennes durant la période (1985-2017) dans la région de Sétif	36
X	Résultats des tests de tendance des températures maximales durant la période (1985-2017) dans la région de Sétif	37
XI	Anomalies moyennes mensuelles calculées sur les températures moyenne entre climat actuel et futur.	38
XII	Anomalies moyennes mensuelles calculées sur les températures maximales entre climat actuel et futur	39

Numéro de la figure	Le titre	Page
01	Distribution mondiale des biomes et bioclimats méditerrané	5
02	Différents scénarios du SRES	9
03	Localisation de la région de Sétif en Algérie	13
04	Répartition des niveaux de précipitations dans la région d'étude.	15
05	Evolution de la précipitation moyenne annuelle à Sétif durant la période (1985-2017).	21
06	Evolution de la précipitation moyenne mensuelle interannuelle moyenne à Sétif durant la période (1985-2017).	22
07	Evolution de la température minimale annuelle à Sétif (1985-2017)	23
08	Evolution de la température minimale mensuelles interannuelles à Sétif (1985-2017)	24
09	Evolution de la température moyenne annuelle à Sétif (1985-2017)	25
10	Evolution de la température moyenne mensuelles interannuelles à Sétif (1985-2017)	26
11	Evolution de la température maximale annuelle à Sétif (1985-2017)	27
12	Evolution de la température maximale mensuelles interannuelles à Sétif (1985-2017)	27
13	Comparaison entre climat observé et climat simulé : précipitations mensuelles interannuelle	29
14	Comparaison entre climat observé et climat simulé : températures minimale mensuelles interannuelle	30
15	Comparaison entre climat observé et climat simulé : températures moyenne mensuelles interannuelle	31
16	Comparaison entre climat observé et climat simulé : températures maximale mensuelles interannuelles	32
17	Précipitations moyennes mensuelles interannuelles du climat actuel et futur	34

18	Températures minimale mensuelles interannuelles du climat actuel et futur	34
19	Températures moyennes mensuelles interannuelles du climat actuel et futur	35
20	Températures maximales mensuelles interannuelles du climat actuel et futur	35
21	Tendance des précipitations durant la période (1985-2017) de la région de Sétif	36
22	Tendance des températures min durant la période (1985-2017) de la région de Sétif	37
23	Tendance des températures moyennes durant la période (1985-2017) de la région de Sétif	38
24	Tendance des températures max durant la période (1985-2017) de la région de Sétif	39

LISTE DES SYMBOLES AVEC LETTRES ROMAINES

Symbole	Définition
ARPEGE	Action de recherche petite échelle grande échelle
°C	Le degré Celsius
CCNUCC	Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CC	Changement climatique
CEP	Centre Européen de Prévision
CH4	le méthane
CO2	Dioxyde de carbone
DSA	Direction de service agricole de sétif
°F	le degré Fahrenheit
IPCC	International Panel on Climate Change
GES	Gaz à Effet de Serre
GIEC	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
MCG	modèles de circulation générale
mm	millimètres
NAO	Oscillation Nord-Atlantique
ONERC	Observatoire national sur les effets du réchauffements climatiques
ONM	Office National de Météorologie
Pf	Précipitations futures
Ps	Précipitations simulées
T	Température moyenne de l'air
Tf	Température future
Ts	Température simulée

LISTE DES SYMBOLES AVEC LETTRES GRECQUES

Symbole	Définition
σ	L'écart-type
X	la moyenne arithmétique
ε_i	Résidus
x_i	les valeurs de données

Introduction

Introduction

Le climat a toujours réglé le mode de vie des êtres vivants, y compris les humains. Au cours de son histoire l'homme a su s'y adapter en exploitant les ressources naturelles desquelles il tire de l'énergie et se nourrit. En outre, depuis un peu plus un siècle l'homme est devenu acteur de la machine climatique. Par ses activités il modifie le climat. En changeant la couverture végétale du sol, par exemple, il modifie ses capacités d'absorption et de réflexion du rayonnement solaire, et influe ainsi le bilan radiatif et hydrologique. En émettant des polluants il change la composition chimique de l'atmosphère, et donc ses propriétés d'absorption des radiations solaires ou du rayonnement terrestre. En particulier, l'augmentation de la concentration de dioxyde de carbone due, en majeure partie, à l'utilisation des combustibles fossiles, augmente l'effet de serre naturel et entraîne une hausse de la température du globe.

Le Quatrième Rapport du **GIEC** (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) conclut, sur la base des faits observés, que de nombreux systèmes naturels, sont touchés par des changements climatiques régionaux, particulièrement par des augmentations de température. Le réchauffement du climat est révélé par les changements concernant le niveau de la mer, la couverture neigeuse, la superficie des glaciers et les précipitations. Les changements climatiques ont également eu des incidences importantes sur le système socio-économique. En fait, notre vulnérabilité aux phénomènes climatiques s'accroît avec l'augmentation des populations, l'urbanisation et notre dépendance croissante aux infrastructures de transport, de communication et de distribution d'énergie. Dans ce contexte la région de l'Europe et du bassin Méditerranéen est particulièrement sensible aux variations et changements du climat (**Goubanova, 2007**).

Dans ce travail nous nous proposons d'étudier l'évolution du climat observé dans le passé récent et le changement climatique futur à l'Est de l'Algérie, dans la région Sétif. Ceci à travers une série climatique observée de 33 années, collectée au près du service de la météorologie de la région. Le présent document commence par une synthèse bibliographique, afin d'éclaircir certaines notions sur le climat et le changement climatique. On présente ensuite l'ensemble du matériel et méthodes employés pour accomplir l'étude. La dernière partie expose les résultats et discussion et nous terminons évidemment par une conclusion.

Chapitre I

Le climat observé au

nord de l'Afrique

1. Généralités

1.1. Le climat

Au sens étroit du terme, le climat désigne généralement le « temps moyen »; il s'agit plus précisément d'une description statistique en fonction de la moyenne et de la variabilité de grandeurs pertinentes sur des périodes variant de quelques mois à des milliers, voire à des millions d'années. Ces grandeurs sont le plus souvent des variables de surface telles que la température, les précipitations et le vent. Dans un sens plus large, le climat est la description statistique de l'état du système climatique (**Dumas et al., 2005**).

Il se définit comme étant l'ensemble des phénomènes météorologiques qui caractérisent l'état de l'atmosphère et de son évolution en un lieu donné. Il se distingue de la météorologie qui désigne l'étude du temps à court terme et dans des zones ponctuelles (**Hufty, 2001**). La détermination du climat est effectuée à l'aide de moyennes établies à partir de mesures statistiques annuelles et mensuelles sur des données atmosphériques locales: température, précipitations, ensoleillement, humidité, vitesse du vent.

En d'autres termes, le climat, c'est l'ensemble des facteurs météorologiques (des variables de surface comme la température, les précipitations et le vent) qui caractérisent un endroit donné, pendant une période donnée. C'est une présentation synthétique du comportement de l'atmosphère au-dessus d'une région donnée, qui s'appuie sur des statistiques à long terme (**GIEC, 2007**).

Le climat est influencé par une série de paramètres, dont la circulation atmosphérique, la circulation océanique, le relief et l'énergie solaire reçue par la surface terrestre.

2. Eléments du climat

2.1. Température

La température est un paramètre clé dans l'étude et la caractérisation des climats vue son rôle prédominant dans le rayonnement et le bilan énergétique, d'où son importance capitale dans les études qui touchent de près ou de loin le domaine du changement climatique. La température représente donc un facteur limitant vue son implication dans le contrôle de l'ensemble des phénomènes métaboliques et par ce fait le conditionnement total de la répartition de tous les êtres vivants (**Ramade, 1984**).

La température est considérée comme une grandeur physique liée à la notion immédiate de chaud et froid. La température est la manifestation, à l'échelle macroscopique, du mouvement des atomes et molécules. Le régime thermique d'un milieu est la variation des températures enregistrée en

ce milieu. L'amplitude thermique annuelle est la différence de température entre les mois les plus chauds et les mois les plus froids au cours d'une année. La température varie avec les saisons, l'altitude, la latitude et la proximité de la mer (Vincent, 2010).

a. La température minimale : caractéristique, en général des fins de nuit, trouve notamment sa pleine importance en été où l'on sait qu'un repos physiologique pas trop perturbé nécessite une baisse suffisante des températures nocturnes.

b. la température moyenne : est d'être représentative de l'ambiance thermique générale d'une période donnée (année, saison, mois, ...). C'est le paramètre qui est fréquemment utilisé pour les modélisations des évolutions des écosystèmes ou des cultures sous l'influence du changement climatique.

c. La température maximale : est un indicateur adapté pour suivre les fortes chaleurs. Il est plutôt représentatif des débuts d'après-midi. (Languedoc-Roussillon, 2009)

d. Les températures extrêmes : sont des ambiances thermiques qui excèdent la mesure ordinaire de chaleur ou de froid et qui sont susceptibles d'exposer le corps humain au-delà d'une certaine durée, à des modifications physiologiques dangereuses pour sa santé. Il est à noter que les conditions d'humidité et de vitesse de l'air, qui ne visent pas directement la notion de température, peuvent apporter un inconfort supplémentaire (www.unidis.fr/sante-securite).

L'unité internationale de température est le Kelvin (K). Le degré Celsius (°C) est une autre unité très répandue en Europe. Certains pays anglo-saxons et les États-Unis utilisent une autre unité : le degré Fahrenheit (°F). La plus basse température du système Celsius est -273,15 °C correspondant à 0 K. Les formules de transformations d'unités sont : $C = 0,55 \times (°F - 32)$; $K = °C + 273,15$; $°F = 32 + (1,8 \times °C)$ (Vincent et al., 2013).

2.2. Précipitation

Regroupe les différentes formes sous lesquelles l'eau solide (neige), liquide (pluie) et la forme gazeuse (brouillard, rosé) contenue dans l'atmosphère se dépose à la surface du globe. (Elkhatri, 2003) .Les pluies ont pour origine la vaporisation des eaux.C'est le cycle de l'eau qui signifie que l'eau vient de la mer (Belmecheri H, Haddouche I, 2018)

Quelle que soit la forme de la précipitation, on mesure la quantité d'eau tombée durant un certain laps de temps. On l'exprime généralement soit en millimètres (mm), soit en litres par mètre carré (l/m²). 1 mm de précipitations correspond à 1 l d'eau par m². L'intensité de la pluie est la hauteur d'eau précipitée par unité de temps (généralement en mm/h). (Vincent et al., 2013).

3. Le changement climatique observé

3.1. Le changement climatique observé dans le monde

Il existe aujourd'hui un ensemble de preuves scientifiques aboutissant à un monde en train de se réchauffer et à une évolution du climat (**GIEC, 2007**) :

- ✓ Des mesures réalisées par la communauté scientifique internationale indiquent une hausse de la température moyenne mondiale de l'ordre de 0,56 à 0,92°C entre 1906 et 2005. Onze des douze dernières années (1995–2006) figurent parmi les douze années les plus chaudes depuis 1850, date à laquelle ont commencé les relevés instrumentaux de la température à la surface de la terre
- ✓ Sur l'ensemble de la planète, le niveau moyen de la mer s'est élevé en moyenne de 1,8 mm/an en moyenne entre 1961 et 2003, et d'environ 3,1 mm/an en moyenne entre 1993 et 2003.
- ✓ La couverture neigeuse a diminué de quelque 10% depuis la fin des années 1960 dans les moyennes et hautes latitudes de l'hémisphère Nord (Presque tous les glaciers de montagne observés dans les régions non polaires ont reculé pendant cette période.
- ✓ De nombreuses régions du monde subissent davantage de précipitations. Dans certaines parties de l'Afrique et de l'Asie, la fréquence et l'intensité des sécheresses semblent avoir augmenté.
- ✓ L'évolution du climat au cours du XXe siècle correspond à ce à quoi il faut s'attendre en présence d'une augmentation des gaz à effet de serre et des aérosols. Les observations effectuées de l'espace sont conformes aux prévisions modélisées.

3.2. Le changement climatique observé en zone méditerranéenne

Selon la classification de Köppen le climat méditerranéen est un sous type de climat tempéré. Ce mode de classification est très ancien (1923) mais il demeure très intéressant et largement utilisé jusqu'à nos jours (**Foucault, 2009**). Ce type de climat est dit méditerranéen puisqu'il règne autour de la méditerranée. Mais en dehors de cette région proprement dite, des climats similaires existent en Californie, au centre du Chili, dans la province du Cap en Afrique du Sud et dans le Sud-Ouest de l'Australie (**Ricklefs et Miller, 2005**) (Figure1).

Le climat méditerranéen est caractérisé par des hivers doux, humides et des étés chauds et secs (**Dajoz, Lionello et al., 2006; Lolis, Tassin et al., 2012**). La limite de ce climat dans le bassin méditerranéen correspond à peu près à celle de l'olivier (**Aidoud, 1998 et Tassin, 2012**). Ainsi, pour qualifier un climat de méditerranéen, il faut qu'il satisfasse les deux conditions suivantes: -l'été est la saison où les précipitations sont moindres, -les étés sont secs

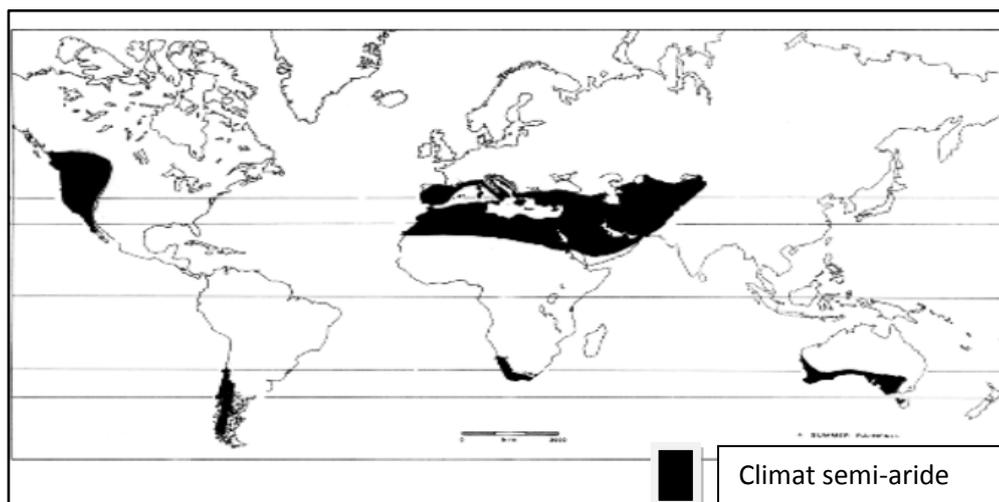


Figure 1 : Distribution mondiale des biomes et bioclimats méditerranéens (Le Houérou, 2007).

Ce climat apparaît comme un climat de transition entre les climats tempérés et les climats tropicaux secs (Salameh, 2008). Dans la région méditerranéenne proprement dite, les principales composantes du système climatique méditerranéen sont la mer méditerranée et l’océan atlantique, ils agissent sur ce climat par le biais de l’évaporation et des échanges de chaleur (Planton, 1998). Cette région est située à la transition des latitudes moyennes soumises à l’Oscillation Nord-Atlantique (NAO) et la zone tropicale. La NAO exerce son influence sur les précipitations d’hiver en méditerranée occidentale, cette action est moins significative pour l’Est et le Sud. Concernant les températures hivernales, le rôle de la NAO n’est pas important dans la méditerranée occidentale et encore plus faible dans la partie orientale (Jalut et al., 2009). L’été est envahi par les hautes pressions subtropicales qui apportent de l’air chaud et sec. Les températures varient considérablement en fonction de la latitude, de l’altitude et de la continentalité. Ainsi, la température moyenne annuelle peut varier à peu près de 7°C à près de 30°C; la moyenne des minima quotidiens du mois le plus froid (janvier) peut varier de -15 °C à +15°C et la moyenne des maxima du mois le plus chaud (juillet) peut varier de +15°C à 45°C. Les précipitations annuelles sont d’une variabilité plus marquée, elles peuvent mesurer 50mm dans les zones pré-désertiques à plus de 3000 mm sur certaines pentes montagneuses dominant la mer et exposées à la trajectoire des dépressions cycloniques (Skouri, 1994; Keltouma, 2013)

3.3. le changement climatique observé en Afrique

Les observations mettent en évidence un changement de la composition de l'atmosphère (augmentation des concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre tels que le CO₂ et le méthane (CH₄), etc.), ainsi qu'un changement du climat mondial (températures, précipitations, niveau de la mer, glace marine, et dans certaines régions, phénomènes climatiques extrêmes, y compris vagues de chaleur, fortes précipitations, et sécheresses, etc.). Onze des douze dernières années (1995–2006) figurent parmi les douze années les plus chaudes depuis 1850, date à laquelle ont débuté les relevés instrumentaux de la température à la surface du globe. Les températures ont augmenté presque partout dans le monde, bien que de manière plus sensible aux latitudes élevées de l'hémisphère Nord. Par ailleurs les terres émergées se sont réchauffées plus rapidement que les océans (**GIEC, 2007**). Cette évolution n'est pas uniforme et tend à varier d'une région à une autre, par exemple, le réchauffement en Afrique est légèrement plus élevé par rapport à la tendance mondiale en 2001.

On ne peut dire à l'heure actuelle si l'accélération du rythme qui a été constatée entre 1993 et 2003 traduit une variation décennale ou un renforcement de la tendance à long terme. Entre 1900 et 2005, les précipitations ont fortement augmenté dans l'Est de l'Amérique du Nord et du Sud, dans le Nord de l'Europe et dans le Nord et le Centre de l'Asie, tandis qu'elles diminuaient au Sahel, en Méditerranée, en Afrique australe et dans une partie de l'Asie du Sud. Il est probable que la sécheresse a progressé à l'échelle du globe depuis les années 1970. Il est très probable que les journées froides, les nuits froides et le gel ont été moins fréquents sur la plus grande partie des terres émergées depuis cinquante ans et que le nombre de journées chaudes et de nuits chaudes a au contraire augmenté. De plus, la fréquence des phénomènes ci-après s'est probablement accrue : vagues de chaleur sur la majeure partie des terres émergées, fortes précipitations dans la plupart des régions et, depuis 1975, élévations extrêmes du niveau de la mer dans le monde entier (**GIEC, 2007**).

Chapitre II

Changement

climatique en zone

Sud Méditerranéenne

1. Le changement climatique

Les changements climatiques désignent une variation statistiquement significative de l'état moyen du climat ou de sa variabilité persistant 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 encore à des changements anthropiques persistants de la composition de l'atmosphère ou de l'affectation des terres.

On notera que la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) définit les « changements climatiques » comme étant des « Changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours des périodes comparables. ». La CCNUCC fait ainsi une distinction entre les « changements climatiques » qui peuvent être attribués aux activités humaines altérant la composition de l'atmosphère, et la « variabilité climatique » due à des causes naturelles. (CCNUCC, 2008)

Selon le GIEC, le changement climatique s'entend d'une variation de l'état du climat que l'on peut déceler (par exemple au moyen de tests statistiques) par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus. Il se rapporte à tout changement du climat dans le temps, qu'il soit dû à la variabilité naturelle ou à l'activité humaine. Cette définition diffère de celle figurant dans la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), selon laquelle les changements climatiques désignent des changements qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables

2. La variabilité climatique

La variabilité climatique désigne des variations de l'état moyen et d'autres statistiques (écarts standards, phénomènes extrêmes, etc.) du climat à toutes les échelles temporelles et spatiales au-delà des phénomènes climatiques individuels. La variabilité peut être due à des processus internes naturels au sein du système climatique (variabilité interne), ou à des variations des forçages externes anthropiques ou naturels (variabilité externe) (ONERC, 2007).

Désigne la modification ou variation significative du climat, qu'elle soit naturelle ou due aux facteurs d'origine anthropique (**Niasse, Afouda et Amani, 2004**). Une telle définition a pour avantage de simplifier celle donnée par la Convention Climat et aussi de prendre en compte celle du GIEC qui considère le changement climatique comme une variation à long terme du climat, qu'elle soit d'origine anthropique ou naturelle.

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**).

3. Les simulations du climat

3.1. Les modèles climatiques

Le climat c'est le résultat de processus interactifs complexes prenant naissance dans le système terre-océan-atmosphère-biosphère-cryosphère en vue de régir l'énergie reçue du soleil. Pour l'étude du climat et la prise en compte de l'ensemble de ces interactions, il est nécessaire d'adopter une approche globale. Pour cela, les scientifiques utilisent des modèles de circulation générale (MCG) de l'atmosphère, qui consistent à intégrer numériquement un ensemble d'équations mathématiques qui représentent les lois fondamentales gouvernant le comportement du système climatique et décrivant les processus physiques liant les diverses composantes du système. L'utilisation des MCG permet de reproduire la circulation atmosphérique à grande échelle et ainsi de simuler les principales caractéristiques de la distribution et de l'évolution du climat à la surface du globe .

Les MCG sont des outils indispensables à la simulation du climat dans le contexte du changement climatique. C'est pourquoi le GIEC utilise une panoplie de différents modèles globaux afin d'évaluer les évolutions du climat dans les différents continents. Ce sont des outils mathématiques complexes basés sur les équations fondamentales qui régissent l'atmosphère. L'atmosphère et les océans sont ainsi découpés en mailles à 3 dimensions de 200 à 300 km de côté (**Lauffenburger, 2007 ; GIEC, 2007; Beltrando et Briche, 2010 ; Jouzel, 2011**).

3.2. Les scénarios climatiques

Généralement, ils sont obtenus à partir de projections qui sont souvent fondés sur des informations complémentaires provenant d'autres sources; quatre genres de scénarios sont

communément utilisés dans l'étude du changement climatique : le scénario climatique, le scénario d'émissions le scénario de forçage radiatif et le scénario du RSSE (GIEC, 2007)

✓ La première série de scénarios sont regroupés sous l'appellation "scénarios A1". Ces scénarios reposent sur l'hypothèse d'une croissance économique rapide de l'économie mondiale associée à une croissance de la population mondiale jusqu'au milieu du 21e siècle, suivie d'une légère baisse de celle-ci et de l'introduction rapide de nouvelles technologies énergétiques efficaces. Les économies régionales se développent fortement et la prospérité est répartie équitablement.

✓ Les scénarios A1 se subdivisent en trois groupes :

en **A1F1**, le monde continue principalement de fonctionner avec les combustibles fossiles.

en **A1T** avec des combustibles non fossiles.

en **A1B** avec un mélange des deux.

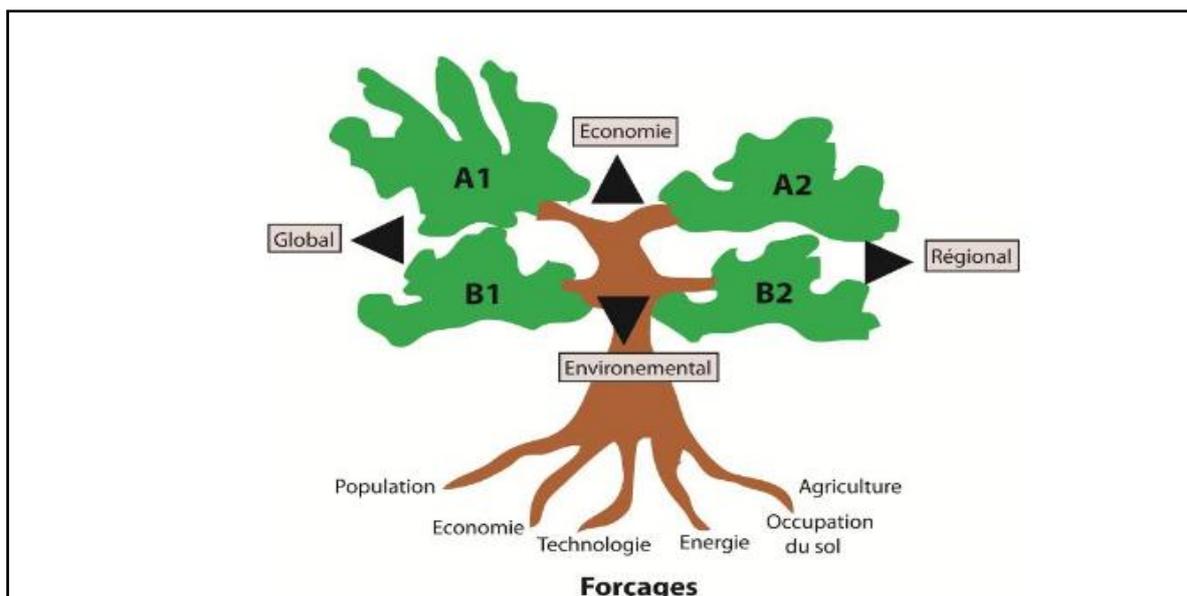


Figure 2 : Différents scénarios du SRES (d'après GIEC, 2001)

✓ Le scénario A2 quant à lui décrit un monde qui reste divisé. Dans l'ensemble, il n'y a pas de redistribution des ressources naturelles disponibles, des connaissances technologiques et du bien-être entre les régions riches et les régions pauvres.

✓ Le scénario B1 suit le scénario A1, mais le monde se tourne plus rapidement vers une économie axée sur les services avec une introduction rapide de technologies propres et durables.

✓ Le scénario B2 parle d'un monde axé sur la préservation de l'environnement et de l'égalité sociale, mais qui part de solutions régionales en matière de durabilité économique, sociale et écologique.

4. Les changements climatiques observés

Les observations mettent en évidence un changement de la composition de l'atmosphère (augmentation des concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre tels que le CO₂ et le méthane (CH₄), etc.), ainsi qu'un changement du climat mondial (températures, précipitations, niveau de la mer, glace marine, et dans certaines régions, phénomènes climatiques extrêmes, y compris vagues de chaleur, fortes précipitations, et sécheresses, etc.). En raison de leurs effets actuels et prévus sur la biodiversité, ces changements sont résumés ci-dessous. Par exemple, la concentration atmosphérique de CO₂ influe sur la vitesse et l'efficacité de la photosynthèse et de l'utilisation de l'eau, et peut donc avoir des effets sur la productivité végétale et sur d'autres processus des écosystèmes. Des facteurs climatiques influent également sur la productivité de la faune et de la flore et sur d'autres fonctions des écosystèmes.

4.1. Les changements climatiques dans le monde

Les modèles climatiques sont les principaux outils utilisés pour réaliser des projections quantitatives des changements du climat à venir. A partir de ces modèles climatiques et de scénarios d'émissions de gaz à effet de serre, des projections pour l'évolution future du climat de la terre ont été élaborées. Les informations les plus récentes ainsi générées indiquent que (GIEC, 2007) :

✓ Un réchauffement d'environ 0,2 °C par décennie au cours des vingt prochaines années est anticipé dans plusieurs scénarios d'émissions SRES. Même si les concentrations de l'ensemble des GES et des aérosols avaient été maintenues aux niveaux de 2000, l'élévation des températures se poursuivrait à raison de 0,1 °C environ par décennie. Les projections à plus longue échéance divergent de plus en plus selon le scénario utilisé.

✓ Une hausse très probable de la fréquence des températures extrêmement élevées, des vagues de chaleur et des épisodes de fortes précipitations.

✓ Une augmentation probable d'intensité des cyclones tropicaux et, avec un degré de confiance moindre, une baisse du nombre de cyclones tropicaux sur l'ensemble de la planète.

✓ Le déplacement vers les pôles de la trajectoire des tempêtes extratropicales, accompagné de changements dans la configuration des vents, des précipitations et des températures ;

✓ Une augmentation très probable des précipitations aux latitudes élevées et, au contraire, une diminution probable sur la plupart des terres émergées subtropicales, conformément aux tendances relevées récemment.

4.2. Le changement climatique en zone Sud Méditerranéenne

Des travaux de plus en plus nombreux laissent entendre des scénarios différents les uns des autres concernant le changement probable du climat terrestre dans un avenir proche. La seule certitude pour les spécialistes est que le climat de la planète entre dans une phase de turbulence (**Lewino, 1997; Ramos, 2000**) due au moins en partie à l'action de l'Homme notamment par la déforestation massive et les rejets excessifs des gaz à effet de serre. Pour la discussion qui suit, nous nous basons sur les résultats de la plupart des modèles climatiques qui prévoient une élévation des températures de 1,5 à 5 °C d'ici la fin de notre siècle. Pour les biogéographes, ce réchauffement est synonyme d'un déplacement des étages de végétation de 100 à 500 km vers les latitudes nord et de 100 à 500 m plus haut en altitude. Concernant les précipitations, les modèles sont beaucoup plus difficiles à établir, mais la plupart des spécialistes s'attendent à un dysfonctionnement du cycle hydrologique dans beaucoup de régions du globe avec de plus en plus d'irrégularités manifestées par des sécheresses très accusées et des inondations catastrophiques.

4.3. Le changement climatique dans le Nord de l'Afrique

Le changement climatique aura des effets dévastateurs sur l'Afrique du Nord. Il y aura des morts et des millions de personnes seront forcées de migrer. Le désert ne cesse de s'étendre. Les récoltes sont mauvaises et les pêcheurs sont entraînés à perdre leurs moyens de subsistance. Les pluies deviendront de plus en plus irrégulières, les ressources en eau diminueront et les tempêtes seront plus violentes. Les étés seront très chauds et les hivers très froids. La sécheresse contraint déjà les villageois à abandonner leurs foyers et l'élévation du niveau de la mer est en train de détruire les terres fertiles. La chute de la production alimentaire et le tarissement des ressources en eau menaceront même les mégapoles comme le Caire, Casablanca et Alger. Les prochaines vingt années vont transformer fondamentalement la région.

La survie des générations futures dépendra de l'abandon de l'exploitation des combustibles fossiles et de l'adaptation au climat qui est d'ores et déjà en train de changer. Des milliards de dollars seront dépensés pour essayer de s'adapter : trouver de nouvelles sources en eau, restructurer l'agriculture et réorienter la production vers de nouvelles cultures, construire des digues pour repousser les eaux salées et changer la forme et le style d'urbanisme des villes

En se référant au 5ème rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (2013) indique les projections suivantes en zone Nord Africaine : les projections de CC attendu au niveau global à l'horizon 2100 seraient:

- Une augmentation de la température moyenne annuelle à la surface de la Terre, variant dans un intervalle de (1 à 4,2 °C). Néanmoins dans tous les cas de figure, le plus préoccupant demeure le rythme avec lequel ce réchauffement aurait lieu, lequel rythme est le plus élevé que la terre ait connu depuis 10 000 ans

- Une élévation du niveau moyen des océans et des mers suite au réchauffement des eaux et à la fonte des glaciers et des calottes glaciaires, variant entre 20 et 70 cm.

- Une augmentation globale des précipitations accompagnée d'une disparité régionale importante.

L'amplitude du CC attendu varie considérablement d'un scénario socio-économique à l'autre. Cela veut dire que les engagements mondiaux, pris par l'ensemble des pays pour atténuer leurs émissions de GES, détermineront dans une large mesure l'ampleur du CC attendu.

Concernant l'élévation attendue des niveaux des océans et des mers, elle est principalement due à l'expansion thermique des eaux. Quant à l'évolution sur le 21ème siècle de la concentration moyenne de GES dans l'atmosphère, elle est appréhendée à l'aide d'un jeu de scénario socio-économique.

dominé par les montagnes boisées; il est plutôt plat dans ses parties centrale et celle du Sud où émergent quelques mamelons dénudés (**Bouzerzour et al., 2006**).

2.2. Pédologie

Selon (**Lahmaret al., 1993**) les sols de la région de Sétif sont dans leurs grandes majorités carbonatés. La partie Nord est couverte par des sols calcaires alors que dans la région des hautes plaines les sols sont de type calcique, riche en argile et pauvre en humus dans la frange Nord, et deviennent caillouteux dans la frange Sud. En outre, les sols salés se trouvent dans les dépressions (chotts) de la région Sud-est. Bien que les sols hydromorphes ont une extension très limitée dans la région, leur présence est signalée uniquement dans les prairies et les lits d'oueds.

La zone montagneuse : dans sa grande partie, elle est couverte par des sols calcaires et des sols alluviaux.

La zone des hautes plaines : dans cette région, on rencontre surtout des sols calciques et calcaires dont la qualité est variable d'un lieu à un autre ; les uns sont riches en argiles mais moins pourvus en humus au Nord.

Vers le Sud, les sols s'amincissent et deviennent caillouteux, dans la frange Sud et Sud-est, les sols sont salins au voisinage des chotts et des sebkhas.

2.3. Le climat

L'orientation du relief est particulièrement lourde de conséquence dans le domaine climatique. Elle provoque le blocage des influences maritimes d'autant plus que Sétif se trouve à moins de 100 km à vol d'oiseau de la mer Méditerranée. Ainsi, la wilaya se caractérise par un climat continental semi-aride, avec des étés chauds et secs et des hivers rigoureux.

a) Pluviométrie

Les pluies sont insuffisantes et irrégulières à la fois dans le temps et dans l'espace. Les monts de Babor sont les plus arrosés avec 700 mm par an. La quantité diminue sensiblement pour atteindre 400 mm en moyenne par an sur les hautes plaines. Par contre, la zone Sud et Sud-est sont les moins arrosées ; les précipitations ne dépassant pas les 300 mm. Les températures moyennes varient selon la saison (figure 4) .



Figure 4 : Répartition des niveaux de précipitations dans la région d'étude. (*Source : DSA de Sétif, 2011*).

b) Température

Selon (Debeche, 2010), l'examen de l'évolution des températures moyennes durant les 25 dernières années dans la zone des hautes plaines montre que le mois de janvier est le plus froid alors que le mois de juillet est le plus chaud (26,07 C°). Aussi, il est noté que la région de Sétif est caractérisée par la longueur de la période de gelée qui peut aller jusqu'à 45 jours par an et des vents de sirocco pendant la saison estivale. Enfin, les vents sont variables avec une prépondérance des vents Ouest et Nord-ouest pendant l'hiver, le sirocco se manifeste pendant l'été avec des effets néfastes sur les céréales.

3. Analyse du climat observé

3.1. Source des données observées

Nous nous sommes déplacés à la région de Sétif et plus précisément à la station météorologique et à l'aéroport de AinArnat, afin d'obtenir les informations des relevés météorologiques journalières pendant 33 ans. Ceci dans l'objectif d'accomplir l'étude du climat observé dans la région dans le passé et prédire le changement climatique futur.

Les données s'étendent sur la période 1985-2017, ils sont à l'échelle de temps journalière et concernent les précipitations, les températures moyennes, les températures

maximales et les températures minimales. L'ensemble des données a été saisi sous Excel, puis vérifié afin de détecter et de corriger les valeurs aberrantes.

3.2. Calcul des paramètres statistiques

3.2.1. Moyenne arithmétique

La moyenne est la valeur de la variable qui, affectant uniformément l'ensemble des unités d'observation, conserverait l'effet total de la variable (**Levy, 1979**)

La « moyenne » se note « \bar{x} » (x barre) on lira : Si la variable statistique est donnée sous forme d'une série x_1, x_2, \dots, x_n , la moyenne arithmétique est à la somme des « x_i » divisée par le nombre « n » (« n » étant égal au nombre de « x » de la série) ..

La moyenne arithmétique est égale au rapport :

$$x = \frac{X_1+X_2+\dots+X_n}{n} \dots\dots\dots(1)$$

$$X = \frac{1}{n} \sum x_i \dots\dots\dots(2)$$

3.2.2. Ecart type

L'écart-type est la mesure de dispersion la plus couramment utilisée en statistique lorsqu'on emploie la moyenne pour calculer une tendance centrale. Il mesure donc la dispersion autour de la moyenne. En raison de ses liens étroits avec la moyenne, l'écart-type peut être grandement influencé si cette dernière donne une mauvaise mesure de tendance centrale (**AFNOR, 2002**). L'écart-type est aussi utile quand on compare la dispersion de deux ensembles de données séparés qui ont approximativement la même moyenne. La dispersion des mesures autour de la moyenne est plus étroite dans le cas d'un ensemble de données dont l'écart-type est plus petit. Habituellement, un tel ensemble renferme comparativement moins de valeurs élevées ou de valeurs faibles. Un élément sélectionné au hasard à partir d'un

ensemble de données dont l'écart-type est faible peut se rapprocher davantage de la moyenne qu'un élément d'un ensemble de données dont l'écart-type est plus élevé.

On définit la variance d'une variable discrète composée de n observations comme suit :

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum (xi - X)^2}}{n} \dots \dots \dots (3)$$

Les données climatiques utilisées sont la température et les précipitations. Elles sont fournies

Par l'ONM (Office National de Météorologie, station de Ain Arnat, Sétif). Ces données couvrent la période 1985-2017

Le climat de notre zone d'étude est de type méditerranéen continental semi-aride, caractérisé par deux saisons:- l'une hivernale pluvieuse et fraîche, l'autre estivale sèche et chaude. (Daget, 1977)

3.3. Etude des tendances du climat observé

Les tendances du climat ont été étudiées utilisant deux méthodes statistiques :

Tendances linéaires utilisant l'estimation de Sen (Sen, 1968) et le test de Mann – Kendal (Mann, 1945) est calculé pour les températures moyennes et précipitations saisonnières dérivé de toute la période (1985-1999)

3.3.1. Le test de Mann-Kendall

Le test Mann-Kendall est applicable dans les cas où les valeurs de données xi d'une série temporelle peuvent être supposées obéir au modèle :

$$xi=(t) + \epsilon i \dots \dots \dots (4)$$

Où f (t) est une augmentation monotone continue ou fonction décroissante du temps et les résidus ϵ_i peuvent être supposés provenir de la même distribution avec moyenne nulle. On suppose donc que la variance de la distribution est constante dans le temps. L'hypothèse nulle, H_0 , est testée, c'est-à-dire que les observations x_i sont ordonnées au hasard dans le temps, contre l'hypothèse alternative, H_1 , où il y a est une tendance monotone croissante ou décroissante. La présence d'une tendance statistiquement significative est évalué en utilisant une statistique calculée Z. Une valeur positive de Z indique une hausse (tendance à la croissance) à différents niveaux de signification et vis versa Les détails de la méthode sont présentés à l'annexe

3.3.2. La méthode du Sen'slope

La méthode de Sen peut être utilisée dans les cas où la tendance peut être supposée linéaire. Cela signifie que $f(t)$ dans l'équation (4) est égale à:

$$f(t) = Qt + B \dots \dots \dots (5)$$

Où Q est la pente et B est une constante. Pour obtenir l'estimation de la pente Q dans l'équation (4), nous calculons d'abord les pentes de toutes les paires de valeurs de données:

$$x = \frac{x_j - x_k}{j - k} \dots \dots \dots (6)$$

S'il y a n valeurs x_j dans la série chronologique nous obtenons autant que $N = n(n-1)/2$ estimations de la pente

L'estimateur de pente de Sen est la médiane de ces N valeurs de Q_i . Les N valeurs de Q_i sont classés de la plus petite à la plus grande et l'estimateur de Sen est:

$$Q = [(N + 1) / 2] \dots \dots \dots (7) \quad \text{si } N \text{ est connu}$$

si N est autre

$$Q = \left[Q_{\left(\frac{N}{2}\right)+} Q_{(N+2)/2} \right] \dots \dots \dots (8)$$

Pour obtenir une estimation de B dans l'équation (5), les valeurs n des différences $x_i - Q_i$ sont calculées. La médiane de ces valeurs donne une estimation de B . Les estimations pour la constante B des lignes des 99% et les intervalles de confiance à 95% sont calculés par une méthodologie similaire.

4. Simulation du climat présent et scénarios climatiques futurs

4.1. Modèle climatique

Les données journalière simulées de précipitation, température minimal, moyenne et maximal sont obtenues par le modèle climatique ARPEGE-Climat, version 4 (Déqué, 2007) de Météo-France. Le modèle couplé ARPEGE-Climat a été choisi pour sa capacité à

reproduire de manière acceptable les principales caractéristiques du climat méditerranéen (Déqué et al., 1994 ; Déqué, 2007).

Le modèle numérique ARPEGE est un modèle de circulation générale global développé en collaboration avec le Centre Européen de Prévision (CEP) pour la prévision numérique du temps. Typiquement la version 4 du modèle ARPEGE-Climat possède un pôle placé en mer Tyrrhénienne avec un facteur d'étirement de 2.5 et une résolution horizontale de l'ordre de 50 km dans la zone Europe-Méditerranée-Afrique du Nord.

Le modèle génère une première série de 33 ans représentant le climat présent, couvrant la période 1985-2017 pour la région de Sétif, et une deuxième série de données représentant le climat futur possible de 2067 à 2100 selon le scénario SRES A1B (IPCC ., 2001). Ce dernier a été choisi du fait de sa caractérisation médiane de l'évolution de la concentration en CO₂ de l'atmosphère et de la croissance économique (Voir la page 9).

4.2. Comparaison entre climats et étude du changement climatique futur

La comparaison des valeurs annuelles et mensuelles des différents paramètres climatiques, entre les séries simulées pour la période de référence (désignées s) et les séries observées (désignées obs), est faite en utilisant le test de Student-Fisher avec une probabilité $P < 0.05$.

Le changement dans le climat est estimé par la méthode des anomalies. Le calcul est fait entre les valeurs mensuelles interannuelles simulées du scénario futur (désignées f) et celles du scénario de référence. Dans le cas de la température, l'anomalie est définie comme étant la différence en °C dans la moyenne mensuelle interannuelle des températures entre le scénario futur et celui représentant la période de référence :

$$\delta T \delta (^{\circ}C) = T_f (^{\circ}C) - T_s (^{\circ}C) \quad (7)$$

L'anomalie dans le cas des autres paramètres climatiques (précipitation, la température minimale, température moyenne et température maximale) est définie comme le rapport exprimé en pourcentage de la différence des moyennes mensuelles interannuelles du paramètre considéré relatives aux deux scénarios simulés (futur et de référence) sur celle du scénario de référence. Dans le cas des précipitations par exemple, elle s'exprime comme suit :

$$\rho P(\%) = \frac{P_f - P_s}{P_s} \cdot 100 \quad (8)$$

Une anomalie peut être positive pour indiquer une élévation du paramètre dans le futur et négative pour indiquer l'inverse.

1 .Caractéristiques du climat récent observé

1.1. Précipitation

a/ Moyenne interannuelles

La précipitation moyenne interannuelle calculée sur la série historique de la région de Sétif est caractérisée par une moyenne de 437,5 mm et un écart type de 12,6 mm. Ce cumul pluviométrique dans la région reflète bien l'aridité relative de l'étage bioclimatique semi-aride.

b/ Moyenne annuelle

La valeur annuelle de la précipitation de notre zone d'étude varie entre une valeur maximale de 756,4 mm calculée sur 2003 et une valeur minimale de 270,2 mm calculée sur 1994. Le caractère aléatoire et irrégulier est bien souligné dans notre zone d'étude, chose clairement visible à travers la figure 5.

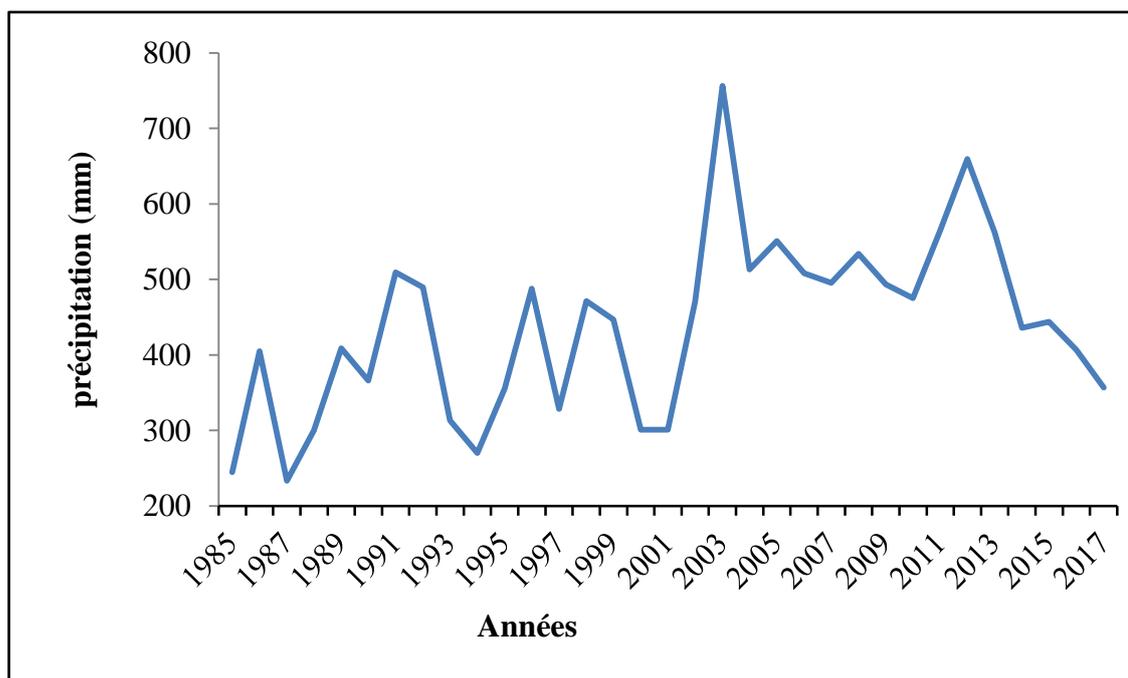


Figure 5 : Evolution de la précipitation moyenne annuelle à Sétif durant la période historique (1985-2017).

c/ Moyenne mensuelle interannuelle

A Sétif la précipitation mensuelle interannuelle augmentent progressivement de l'automne à l'hiver, marquant un maximum en décembre 52,9 mm, puis diminuent pour atteindre un minimum en été, le mois le plus sec étant Juillet avec 13.5 mm (tableau 1). Une période sèche s'étalant du mois de Mai jusqu'au mois d'Aout est bien visible à travers la figure 6.

Tableau I : Moyennes et écarts types des précipitations mensuelles interannuelles durant la période observée.

	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
X (mm)	46,7	42,3	43,8	42,3	43	23,6	13,5	15,2	40,6	31,8	41,8	52,9
σ (mm)	34,5	27,8	27,9	30,1	33,2	17,8	14,6	14,5	26,7	23,6	33,4	39,9

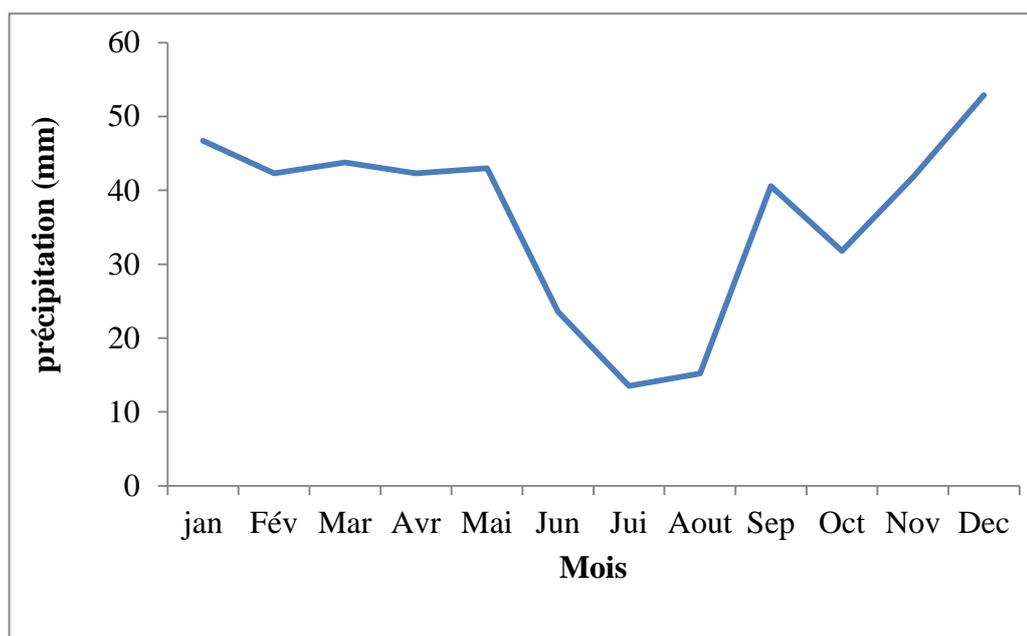


Figure 6 : Evolution de la précipitation moyenne mensuelle interannuelle à Sétif durant la période historique (1985-2017).

1.2. Température

1.2.1. Température minimale

a/ Moyenne interannuelle

La température minimale interannuelle à Sétif est caractérisée par une moyenne de 8,37 °C et d'un écart type de 0.6 °C. Le climat de l'étage bioclimatique semi-aride, caractérisé être froid en hiver est bien souligné.

b/ Moyenne annuelle

La moyenne annuelle varie entre la valeur maximale de 9,5 C° en 1999 et la valeur minimale de 7, 1 C° en 2004 (figure 8). Ici les valeurs indiquent qu'il s'agit plutôt d'une composante cyclique.

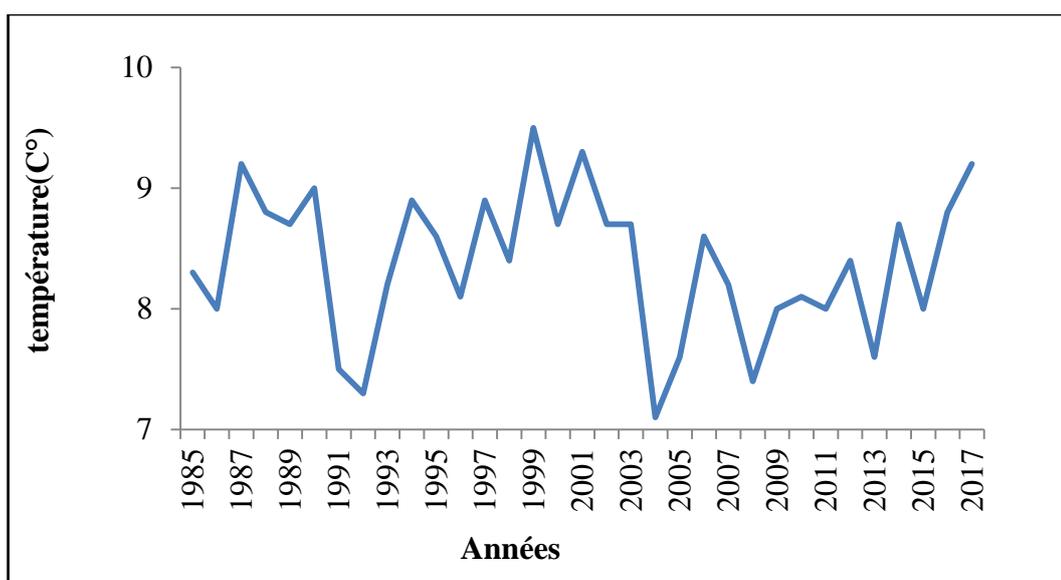


Figure 7 : Evolution de la température minimale annuelle à Sétif (1985-2017)

c/ Moyennes mensuelles interannuelles

A Sétif, les températures minimales mensuelles interannuelles augmentent progressivement de l'hiver à l'été marquant un maximum en Aout 17,9 C°, puis diminuent pour atteindre un minimum en Janvier 0,5 C° (figure 9). Les valeurs moyenne de cette

composante pour chaque mois sont résumées dans le tableau 2, elles témoignent le risque des gelés à partir de la fin automne jusqu'au début printemps.

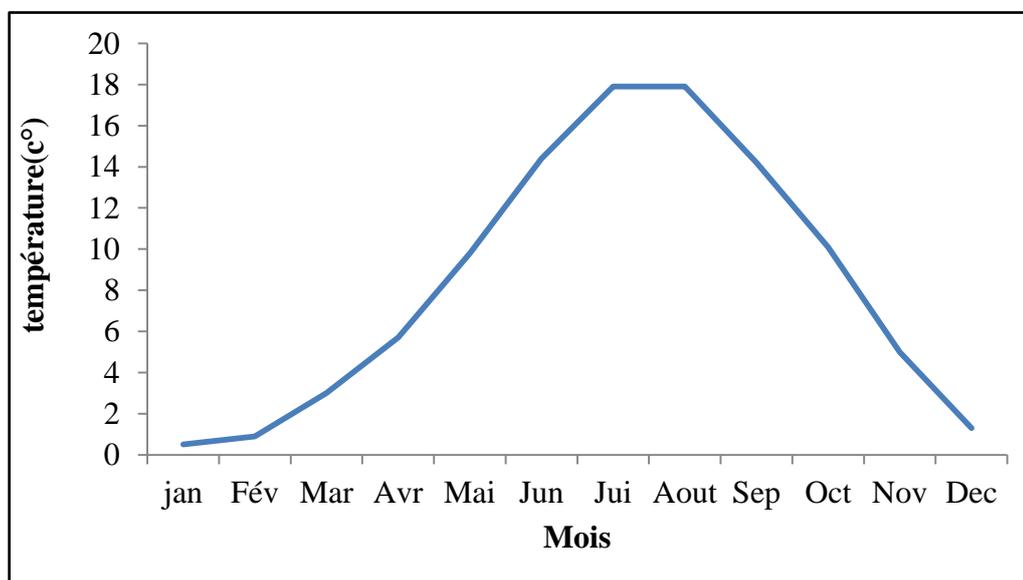


Figure 8 : Evolution de la température minimale mensuelles interannuelles à Sétif (1985-2017)

Tableau II : Moyennes et écarts types mensuelle interannuelle durant la période (1985-2017).

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
X (°C)	0,5	0,9	3	5,7	9,8	14,4	17,9	17,9	14,2	10,1	5	1,3
σ (°C)	1,4	1,3	1,1	1,5	1,8	1,7	1,1	1,2	1,4	1,5	1,2	2,3

1.2.2. Température moyenne

a/ Moyenne interannuelle

La température moyenne interannuelle à Sétif est caractérisée par une moyenne de 14,7°C et d'un écart type de 1,38 °C.

b/ Moyenne annuelle

La température annuelle varie entre la valeur maximale de 20,9 C° en 1995 et la valeur minimale 12,8 de C° en 1991 (figure 9). Un pic en température moyenne de 20.9 °C et qui

observé durant l'année 1995, est remarquable. Ceci devrait nécessiter une analyse complémentaire concernant cette année afin de pouvoir conclure s'il s'agit effectivement d'une année exceptionnelle, si c'est du à un changement dans l'environnement de la station ou tout simplement d'erreurs.

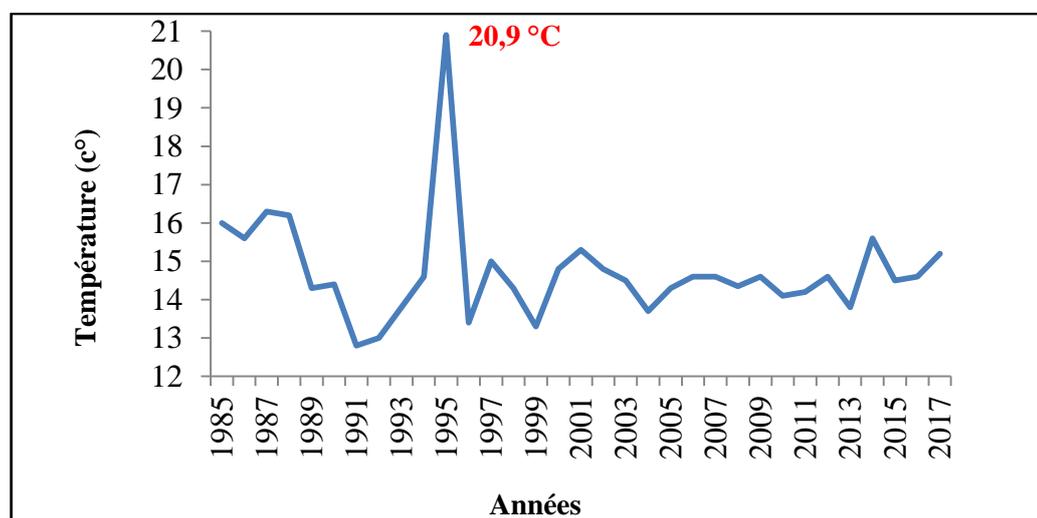


Figure 9 : Evolution de la température moyenne annuelle à Sétif (1985-2017)

c/ Moyennes mensuelles interannuelles

A Sétif, la température moyenne mensuelle interannuelle augmentent progressivement de l'hiver à l'été marquant un maximum en Juillet 28,6 C°, puis diminuent pour atteindre un minimum en Janvier 5 C°, délimitant deux période principale, la première froide allant de Novembre à Mars et l'autre chaude allant de Mai à Septembre (tableau III , figure10).

Tableau III : Moyennes et écarts types mensuelle interannuelle durant la période (1985-2017).

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
X (°C)	5	6,2	8,6	11,9	17	22	25,6	25,7	20,5	15,9	9,5	6,6
σ (°C)	1,2	2,1	1,3	1,6	2,4	2,1	3	1,5	1,5	1,6	1	3,6

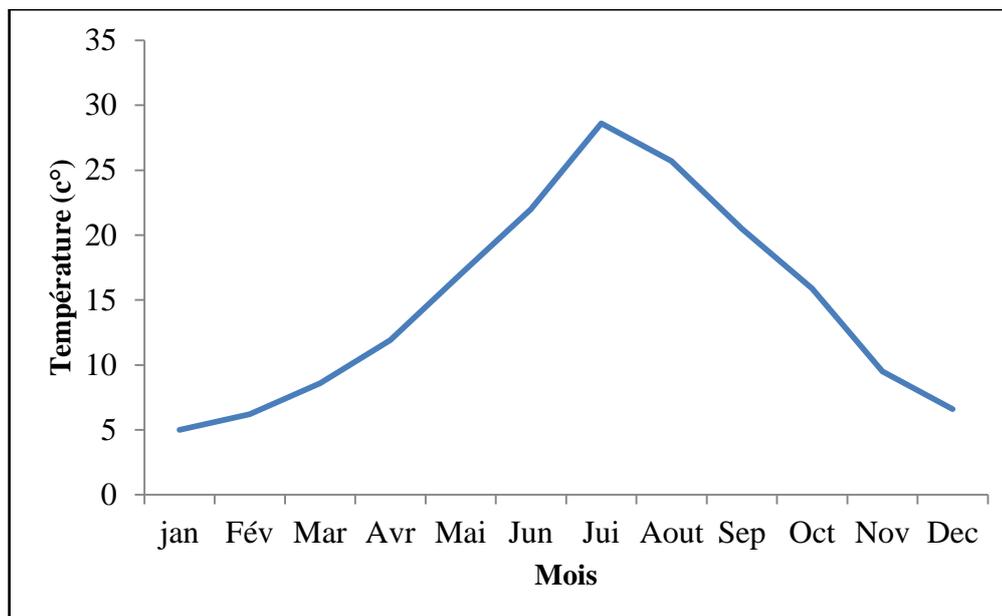


Figure 10 : Evolution de la température moyenne mensuelles interannuelles à Sétif (1985-2017)

1.2.3. Température maximale

a/ Moyenne interannuelle

La température maximale interannuelle à Sétif est caractérisée par une moyenne de 20,5 C° et d'un écart type de 2,4 C°. L'écart entre température minimale et maximale est assez important et avoisine les 10 °C

b/ Moyenne annuelle

L'évolution de la température maximale moyenne annuelle varie entre la valeur maximale de 22,2C° en 2014 et la valeur minimale 8,1 de C° en 1987 (figure11). La valeur caractéristique de l'année 1987 est assez remarquable, les causes doivent être identifiées dans des travaux ultérieurs.

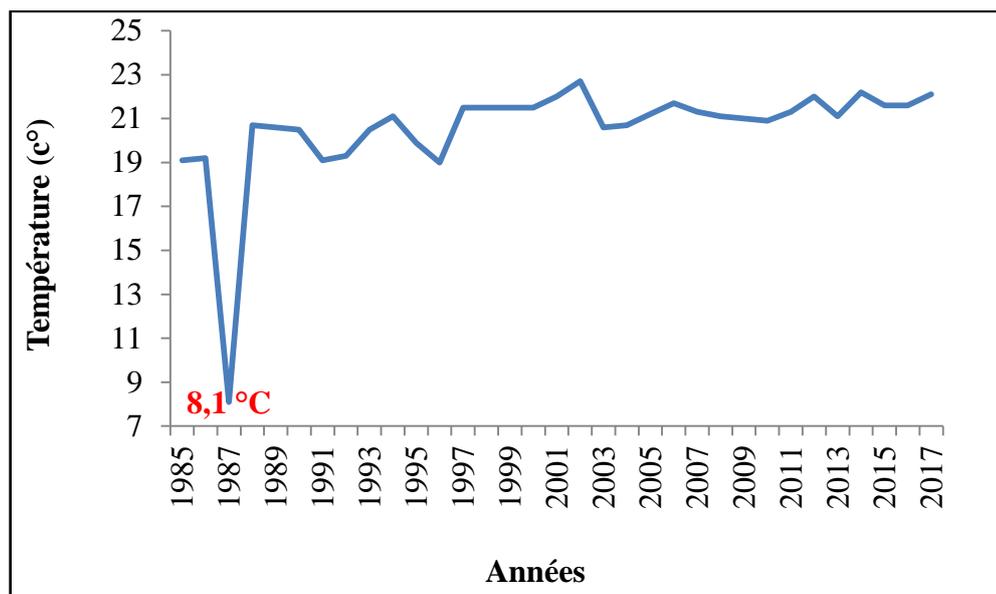


Figure 11 : Evolution de la température maximale annuelle à Sétif (1985-2017)

c/ Moyennes mensuelles interannuelles

A Sétif les températures maximales mensuelles interannuelle augmentent progressivement de l’hiver à l’été marquant un maximum en Juillet 33,9 C°, puis diminuent pour atteindre un minimum en Janvier 9,9 C° (figure12, tableau IV). L’écart entre saison chaude et saison froide est assez conséquent.

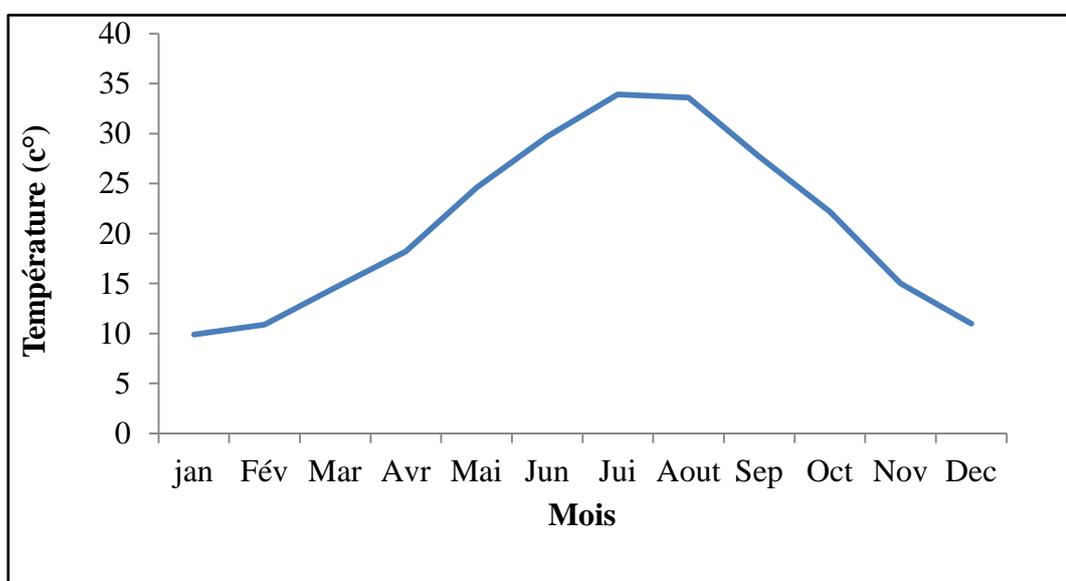


Figure 12 : Evolution de la température maximale mensuelle interannuelle à Sétif (1985-2017)

Tableau IV : Moyennes et écarts types mensuelle interannuelle durant la période (1985-2017).

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
X (°C)	9,9	10,9	14,6	18,2	24,6	29,7	33,9	33,6	27,7	22,2	15	10,9
σ (°C)	1,9	2,9	1,9	2,3	3,8	2,4	1,6	1,4	1,5	2,1	1,4	1,9

Du mois de Mai au mois de Septembre, les températures maximales sont assez élevées, qui jumelées à des vent fort, témoignant les risque de Siroco, assez fréquent durant cette période dans la région.

2. Les tendances du climat observé durant le passé récent

2.1. Précipitations

Concernant la précipitation, le test Mann-Kendal est significativement positif pour le mois d'Avril, ceci est confirmé par le test de Sen's slope (Tableau V).

Tableau V : Résultats des tests de tendances des précipitations durant la période (1985-2017) dans la région de Sétif.

	Début	Fin	N	Test Z	Test S Signification
Janvier	1985	2017	33	0,776	
Février	1985	2017	33	-0,884	
Mars	1985	2017	33	0,450	
Avril	1985	2017	33	2,016	*
Mai	1985	2017	33	0,465	
juin	1985	2017	33	-0,511	
juillet	1985	2017	33	0,667	
Aout	1985	2017	33	-0,636	
Septembre	1985	2017	33	-0,729	
Octobre	1985	2017	33	0,123	
Novembre	1985	2017	33	-1,757	+
Décembre	1985	2017	33	-1,132	

Pour les autres mois de l'année, aucune tendance significative n'est calculée.

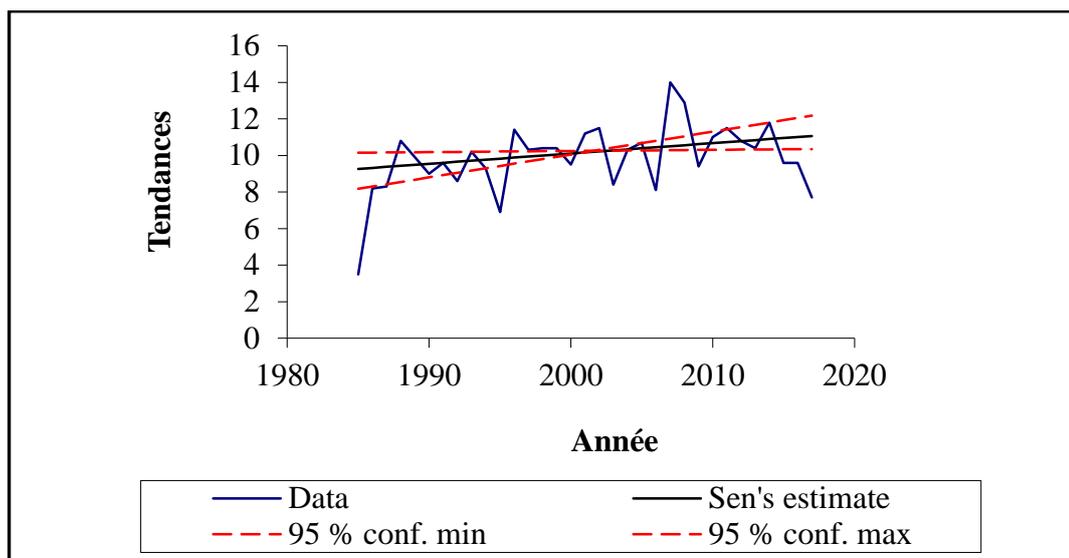


Figure 13 : Tendances des précipitations durant la période (1985-2017) de la région de Sétif.

Les précipitations ont évoluées sans aucune tendance durant notre période d'étude mis à part le mois d'Avril. Dans la partie sud du bassin méditerranéen, de nombreuses études ont montré que les précipitations sont caractérisées par une plus grande irrégularité ainsi que par une fréquence plus faible des jours pluvieux, jumelée à une apparition plus fréquente des pluies torrentielles (Brunetti et al., 2002 ; Alpert et al., 2002).

2.2. La température

2.2.1. Températures minimales

Le test de Mann-Kendall est significativement positif le mois d'Avril. Ces résultats sont confirmés par le test de Sen'slo (tableau VI).

Tableau VI : Résultats des tests de tendance des températures minimales durant la période (1985-2017) dans la région de Sétif

	Début	Fin	n	Test Z	Test S signification
Janvier	1985	2017	33	-1,210	
Février	1985	2017	33	-0,901	
Mars	1985	2017	33	0,186	
Avril	1985	2017	33	2,264	*
Mai	1985	2017	33	-0,124	
juin	1985	2017	33	-0,434	
juillet	1985	2017	33	-0,062	
Aout	1985	2017	33	-0,357	
Septembre	1985	2017	33	-0,031	
Octobre	1985	2017	33	-0,294	
Novembre	1985	2017	33	-1,163	
Décembre	1985	2017	33	-1,864	+

Pour les autres mois de l'année, aucune tendance significative n'est calculée (figure14).

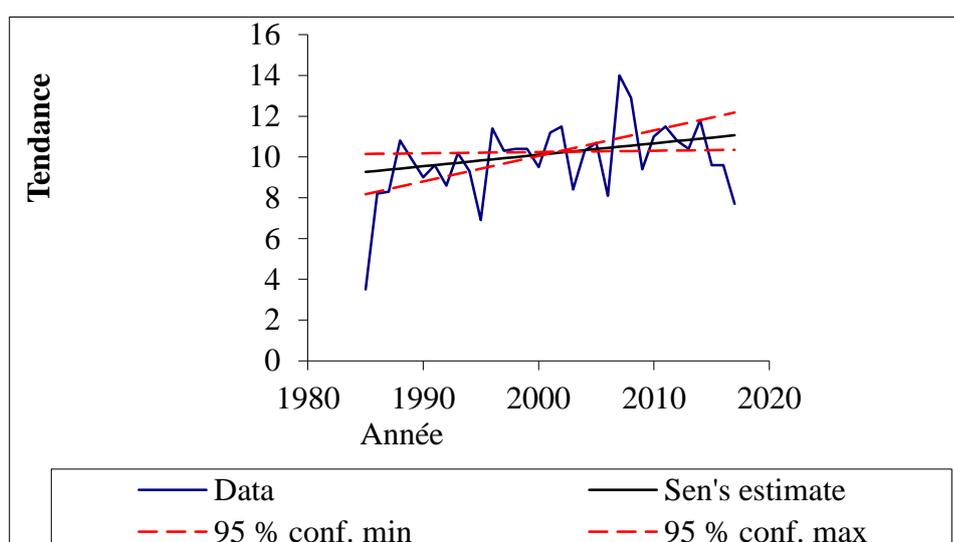


Figure 14 : Tendance des températures min durant la période (1985-2017) de la région de Sétif

2.2.2. Températures moyennes

Le test de Mann-Kendall indique un niveau de signification positif pour la température moyenne en Janvier et Février (tableau VII). Ces résultats sont confirmés par le test de Sen'slop.

Tableau VII : Résultats des tests de tendance des températures moyennes durant la période (1985-2017) dans la région de Sétif

	Début	Fin	n	Test Z	Test S signification
Janvier	1985	2017	33	2,339	*
Février	1985	2017	33	2,060	*
Mars	1985	2017	33	0,697	
Avril	1985	2017	33	1,332	
Mai	1985	2017	33	-0,185	
juin	1985	2017	33	0,712	
juillet	1985	2017	33	0,697	
Aout	1985	2017	33	1,954	+
Septembre	1985	2017	33	-0,061	
Octobre	1985	2017	33	1,069	
Novembre	1985	2017	33	1,874	+
Décembre	1985	2017	33	0,929	

Pour les autres mois de l'année, aucune tendance significative n'est calculée (figure 15).

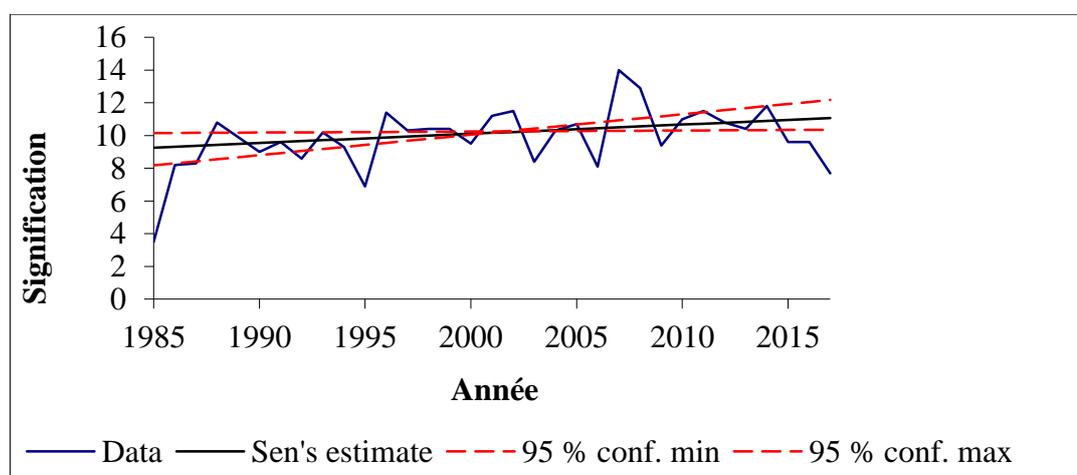


Figure 15 : Tendance des températures moyennes durant la période (1985-2017) de la région de Sétif.

2.2.3. Températures maximales

Le test de Mann-Kendall indique un niveau de signification positif pour la température maximale, le niveau est significatif en Janvier et Novembre, hautement significatif en Avril et très hautement significatif en Juillet (figure 16, tableau8). Ces résultats sont confirmés par le test de Sen'slop.

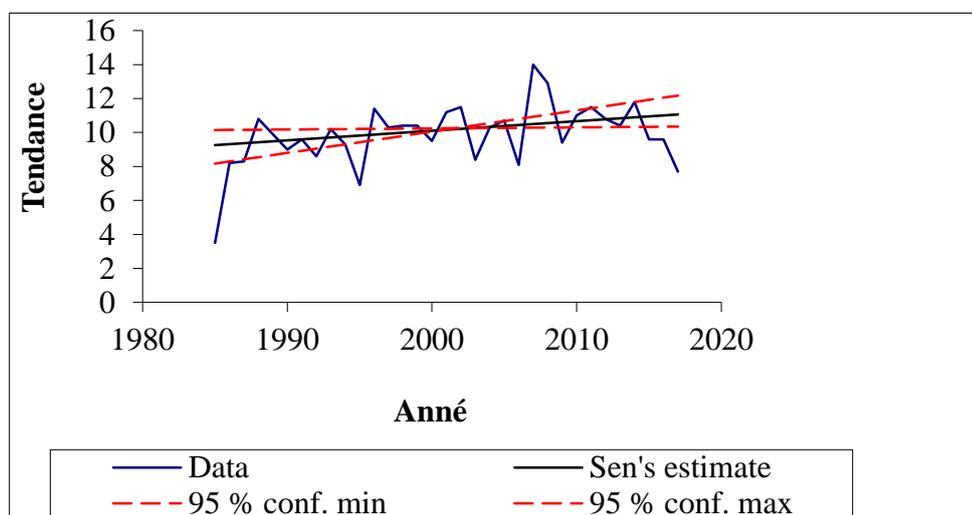


Figure 16 : Tendance des températures max durant la période (1985-2017) de la région de Sétif

Tableau VIII : Résultats des tests de tendance des températures maximales durant la période (1985-2017) dans la région de Sétif

	Début	Fin	n	Test Z	Test S signification
Janvier	1985	2017	33	2,171	*
Février	1985	2017	33	0	
Mars	1985	2017	33	1,769	+
Avril	1985	2017	33	2,747	**
Mai	1985	2017	33	0,992	
juin	1985	2017	33	1,008	
juillet	1985	2017	33	3,818	***
Aout	1985	2017	33	1,754	+
Septembre	1985	2017	33	1,194	
Octobre	1985	2017	33	1,458	
Novembre	1985	2017	33	1,985	*
Décembre	1985	2017	33	1,178	

Pour les autres mois de l'année, aucune tendance significative n'est calculée (figure 19).

Le changement climatique à travers la région sud-méditerranéenne est caractérisé par une augmentation des températures, un accroissement de la fréquence d'occurrence des stress thermique et hydrique (sécheresse) (IPCC, 2007 ; 2013).

3. Le climat actuel simulé

3.1. Précipitations

Les valeurs mensuelles interannuelles simulées évoluent de la même manière que l'historique, des différences sont cependant remarquées (figure.17). L'analyse de la distribution des précipitations dans différentes régions de l'Algérie montrent une instabilité de la structure dans l'espace et dans le temps (Bouaoune et Dahmani-Megrouche, 2010 ; Hamlaoui-Moulai et al., 2013). Cela rend délicate la comparaison entre les estimations des points grilles du modèle et les points de mesure.

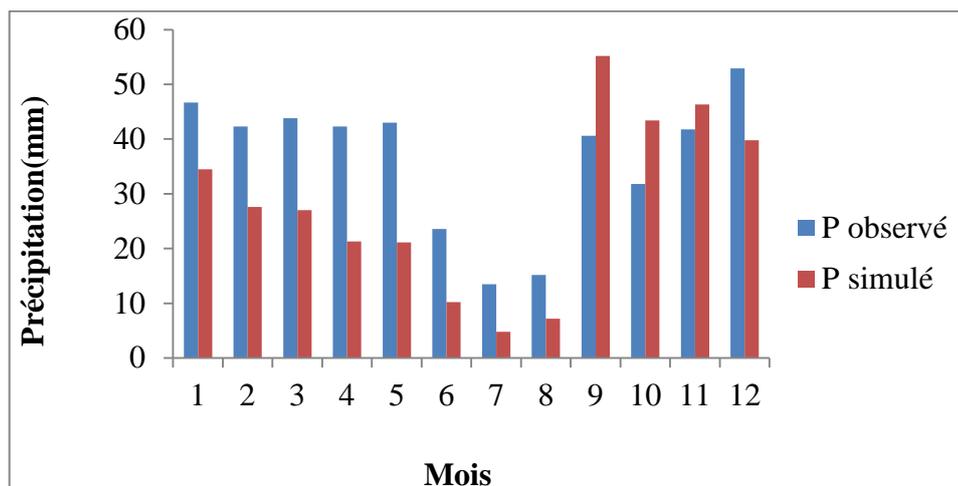


Figure 17 : Comparaison entre précipitations mensuelles interannuelles observées et simulées à Sétif

3.2. Températures

3.2.1. Température minimale

La température minimale mensuelle interannuelle de la période de référence est bien simulée par le modèle ARPEGE (figure 18).

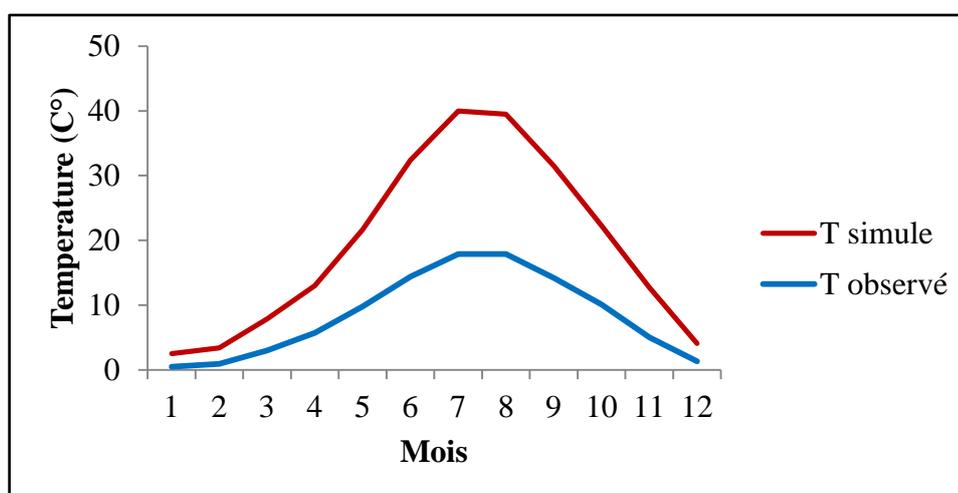


Fig.18. Comparaison entre températures minimales mensuelles interannuelles observées et simulées à Sétif

3.2.2. Température moyenne

La température moyenne mensuelle interannuelle de la période de référence est bien simulée par le modèle ARPEGE (figure.19)

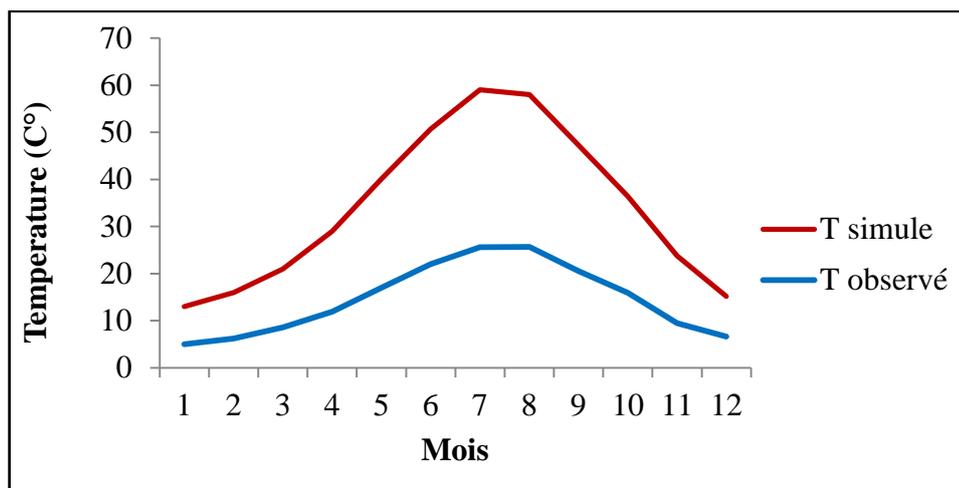


Figure 19 : Comparaison entre températures moyennes mensuelles interannuelles observées et simulées à Sétif

3.2.3. Température maximale

La température maximale mensuelle interannuelle de la période de référence est bien simulée par le modèle ARPEGE (figure.20)

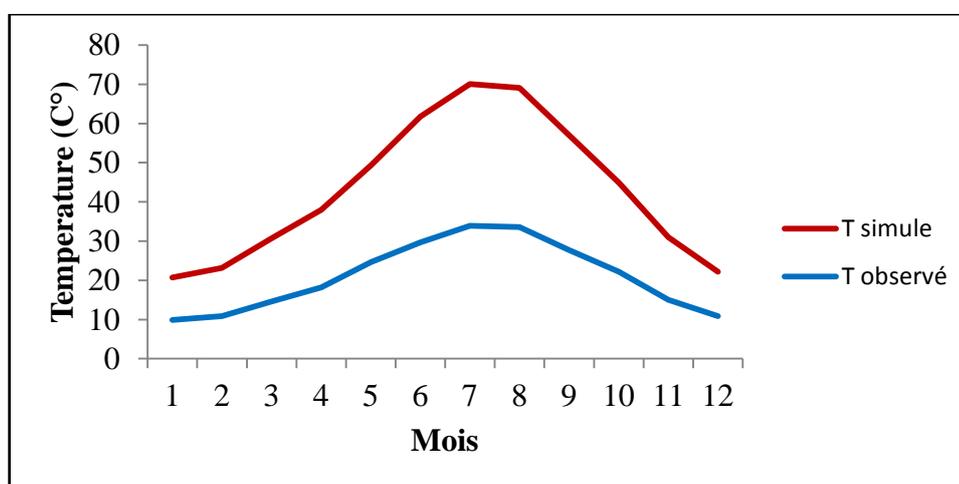


Figure 20 : Comparaison entre températures moyennes maximales interannuelles observées et simulées à Sétif

Globalement le modèle climatique utilisé reproduit bien les températures. Un décalage est cependant constaté entre valeurs observées et simulées. Ici il serait intéressant de vérifier les méthodes, l'appareillage et l'environnement dans lesquelles les données sont collectées afin de vérifier la fiabilité des données climatiques.

4. Le changement climatique futur

4.1. Précipitations

Les anomalies calculées pour notre zone d'étude indiquent une décroissance du régime pluviométrique de -4.6 % (Figure.21). Elles viennent confirmer ainsi la diminution des précipitations futures dans la partie sud du bassin méditerranéen indiquée dans les rapports de l'IPCC (2007, 2013).

Les valeurs diminuent tout au long de l'année avec une décroissance maximale en Mars, Avril et Aout (Tableau9). Des augmentation importantes sont indiquées dans le scénarios futur, c'est le cas des mois d'Octobre (+24%), Juin (+66%) et exceptionnellement Juillet avec (+110%).

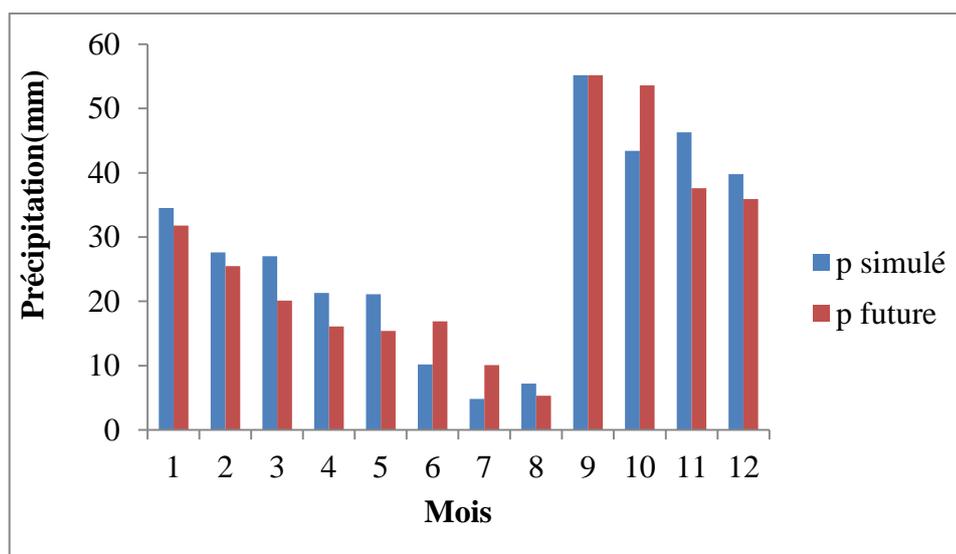


Figure 21 : Précipitations moyennes mensuelles interannuelles du climat actuel et futur(2067-2100)

Tableau IX : Anomalies moyennes mensuelles calculées sur les précipitations entre climat actuel et futur.

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P (%)	-8	-8	-26	-24	-27	66	110	-26	0	24	-19	-10

4.2. Température

4.2.1. Température minimale

L'étude du changement climatique est basée sur le calcul des anomalies à partir des scénarios actuels qui s'étendent sur les périodes 1985-2017 et les scénarios futurs qui concernent la période 2067-2100, le modèle ARPEGE prévoit une température moyenne interannuelle de l'ordre de 13,9°C, soit un réchauffement moyen de la zone d'étude de +3°C vers la fin du 21^{ème} siècle. (figure.22)

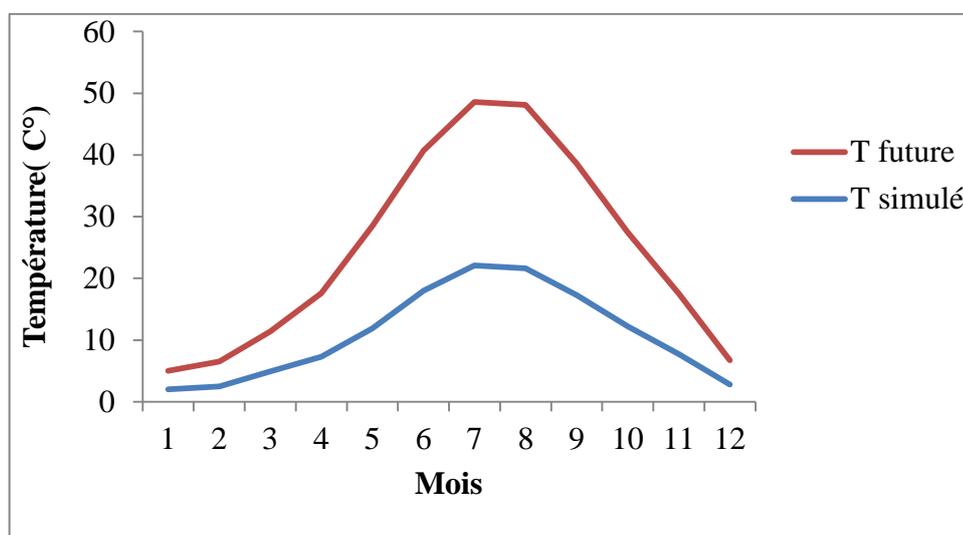


Figure 22 : Températures moyennes mensuelles interannuelles du climat actuel et futur

Tableau X : Anomalies moyennes mensuelles calculées sur les températures minimales entre climat actuel et futur.

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tmin (°C)	+1	+1,5	+1,6	+3	+4,7	+4,7	+4,4	+4,9	+4	+3	+2,1	+1,1

Les projections indiquent que les températures les plus élevées occurred à partir de Mai (+4.7 °C) et continuent jusqu'au mois d'Octobre (+4 °C).

4.2.2. Température moyenne

Le modèle ARPEGE prévoit une température moyenne interannuelle de l'ordre de 19,6 °C, soit un réchauffement moyen de la zone de 3,08°C vers la fin du 21^{ème} siècle.(figure.23).

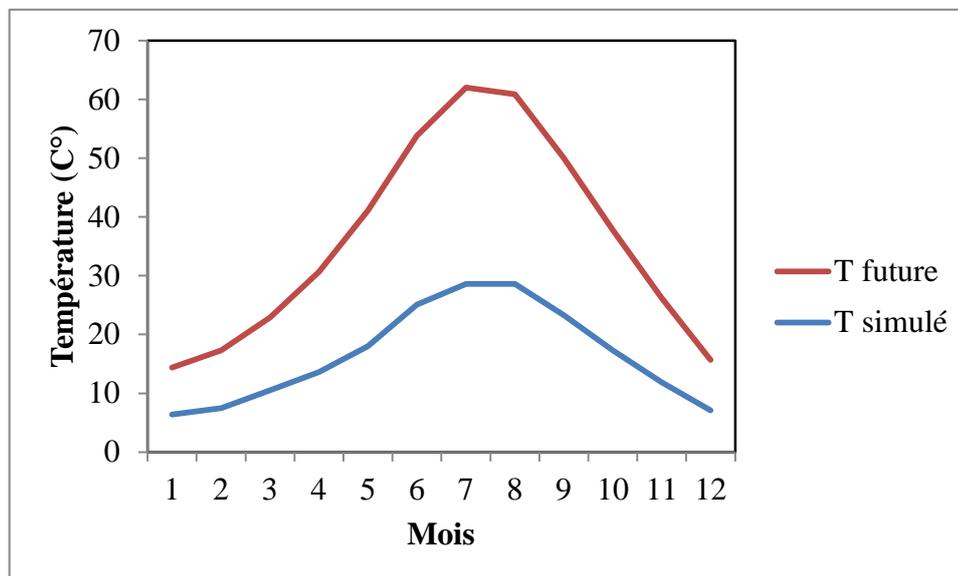


Figure 23 : Températures moyennes mensuelles interannuelles du climat actuel et futur.

Le tableau XI montre que les maximums sont prévues à partir d'Avril (+3.5°C) et continuent jusqu'au mois d'Octobre (+3.2 °C), marquant un premier pic au mois de Mai (+5.1°C) et un deuxième en Juillet (+4.8°C).

Tableau XI : Anomalies moyennes mensuelles calculées sur les températures moyennes entre climat actuel et futur.

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tmoy (°C)	+1,6	+2,3	+1,9	+3,5	+5,1	+3,6	+4,8	+3,7	+3,4	+3,2	+2,4	+1,5

4.2.3. Température maximale

Le modèle ARPEGE prévoit une température moyenne interannuelle de l'ordre de 25,1 °C, soit un réchauffement moyen de la zone de 2,9°C vers la fin du 21^{ème} siècle (figure.24, Tableau XII).

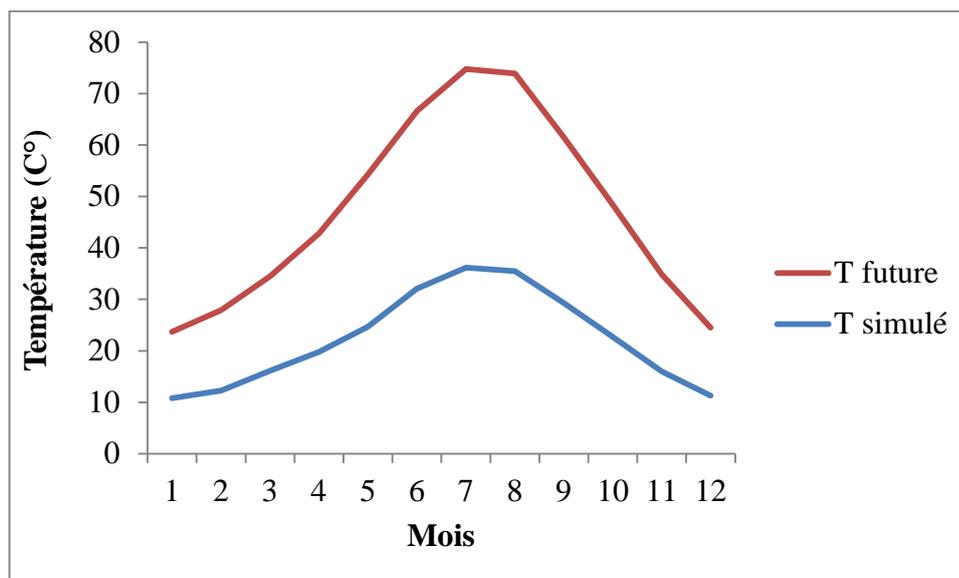


Figure 24 : Températures moyennes mensuelles interannuelles du climat actuel et futur

Le tableau12 indique des valeurs exceptionnelles en Février (+3.3 °C), Avril (+3.2°C), Mai (+4.9°C) et Octobre (+3°C).

Tableau XII : Anomalies moyennes mensuelles calculées sur les températures maximales entre climat actuel et futur

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
t:max (°C)	+2,1	+3,3	+2,3	+3,2	+4,9	+2,4	+2,4	+2,9	+2,9	+3	+2,9	+1,9

Conclusion

Conclusion générale

Notre travail porte sur et l'analyse de l'évolution du climat observé dans le passé récent, l'examen de ses tendances et enfin l'analyse des changements climatiques futurs. Le travail a porté sur la zone de Sétif à l'Est de l'Algérie en étage bioclimatique semi- aride, et a été accomplis utilisant une série climatique observée de 33 ans, s'étalant de 1985 à 2017. Les données sont collectées à l'échelle de temps journalières et concernent : la précipitation, la température minimale, moyenne et maximale.

Nous avons d'abord analysé l'évolution dans le temps des différents paramètres climatiques choisis. Pour cela, trois composantes ont été choisis à savoir ; l'interannuel, l'annuel et le mensuel interannuel.

L'étude de la tendance a été faite par le moyen de deux méthodes statistiques robustes ; le teste de Man Kendal et celui de Sen'Slope.

Les précipitations dans la région ont un caractère aléatoire et très irrégulier. Elles varient entre des valeurs très élevées et le 0mm qui dominant leur distribution. La moyenne interannuelle calculée sur notre période d'étude s'élève à 437,5 mm. Les précipitations ont évoluées sans aucune tendance durant notre période d'étude mis à part le mois d'Avril

La température minimale moyenne interannuelle avoisine les 8°C, la température moyenne interannuelle avoisine les 15°C la température maximale interannuelle avoisine les 21°C. Les tests statistiques indiquent une tendance significativement positive de la température minimale pour le mois d'Avril, significativement positive de la température moyenne pour les mois de Janvier et Février. Les tendances sont et significativement positive en Janvier et Novembre, hautement significatif en Avril et très hautement significatif en Juillet concernant les températures maximales.

6).

Les précipitations sont projetées baisser de -4.6% avec des augmentations exceptionnelles et remarquables en été.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Aidoud, (1998)** . La désertification causes climatiques ou anthropiques.
- Bahlouli F, Bouzerzour H, Benmahammed A., (2006)** .la durée de vie de la feuille étendard, la vitesse de remplissage et la remobilisation des assimilés de la tige du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous climat ...
- Belmecheri H, Haddouche I ., (2018)**.Etude spatio-temporelle de la variabilité pluviométrique annuelle et saisonnière Du Bas et moyen Chélif occidentale
- Chourghal.,(2016)** .thèse Impacts des changements climatiques sur la culture du blé dur en Algérie 2016,7p
- Chacha ., (2011)** .Réponses de plantes aquatiques invasives au réchauffement climatique
- Dumas A, Carmack E, Melling H .,(2005)** .Climate change impacts on the Beaufort shelf landfast ice
- Dajoz., (2006) ; Lionello et al ., (2006) ; Lolis et al., (2012) ; Tassin,(2012)** .La généralités sur le climat - Université de Bejaia
- Daget .,(1977)** .Changements climatiques entre les deux périodes 1913-1936 et 1975
- Déqué M (2007)** .Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: model results and statistical correction according to observed values. *Glob Planet Change* 57:16–26. doi:10.1016/j.gloplacha.2006.11.030
- Déqué M, Dreveton C, Braun A, Cariolle D (1994)**. The ARPEGE-IFS atmosphere model : a contribution to the French community climate modelling. *Climate Dynamics* 10:249-266. Doi: 10.1007/BF00208992
- DSA**.Direction des services de Sétif,(2011)
- El khatri .,(2003)** .Etude de la variabilité spatiale de la sécheresse Au Nord-Ouest de l'Algérie
- Foucault A., 2009** . Climatologie et paléoclimatologie, DUNOD, Coll
- GIEC., 2007** .Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (publié sous la direction de~)]. GIEC, Genève, Suisse, p. 30.
- GIEC., 2007** . Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I,
- Goubanova K, 2007** .Une étude des événements climatiques extrêmes sur l'Europe et le bassin Méditerranéen et de leur évolution futur
- Hufty ., 2001** . Introduction à la climatologie: le rayonnement et la température, l'atmosphère, l'eau, le climat et l'activité humaine
- IKTITEN K ., 2013** .Contribution à la modélisation du climat de la Kabylie
- IPCC. 2001**.IPCC Third Assessment Report: Climate Change 2001. IPCC, Geneva.
- Jalut., (2009)**.Holocene circum-Mediterranean vegetation changes: climate forcing and human impact
- Le houérou ., 2007** .Les écosystèmes forestiers méditerranéens face aux changements climatiques

Lauffenburger., 2007, GIEC., 2007 ; Beltrando., 2010 ; Jouzel., 2011 .Changement climatique dans le vignoble de Champagne - TEL (thèses

Lewino F., 1997 .Le réchauffement planétaire

Niasse, Afouda et Amani.,(2004) .Réduire la vulnérabilité de l'Afrique de l'Ouest aux impacts du climat sur les ressources en eau, les zones humides et la désertification

ONERC., (2007) . Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique, Paris, La documentation française.

Planton .,(1998) .Simulations couplées globales des changements climatiques associés à une augmentation de la teneur atmosphérique en CO2

Ricklefs RE, Miller GL., 2005 .Climat, Topographie et diversité de la Nature. In: Université DB (ed) Ecologie. De Boek & Larcier, Paris, France

Ramade F.,(1984) .Éléments d'écologie. Ecologie fondamentale. McGraw-Hill, 397 p.

Salameh., (2008) .MODÉLISATION MULTI-ÉCHELLES DE LA CIRCULATION ATMOSPHÉRIQUE HIVERNALE SUR LE BASSIN MEDITERRANÉEN : ROLE DES INTERACTIONS D'EC

Sen, 1968 in Heddadji N, Bouabbdalah A., 2017 .Etude de l'évolution de quelques paramètres climatiques durant la période (1985-1999) de la région de Sidi Bel Abbès 2017

Skouri., 1994 et Keltouma ., (2013) .Le climat - options méditerranéennes - CIHEAM

UNFCCC., 2007 .Climate change impacts, vulnerabilities and adaptation in developing countries. United Nations Framework Convention on Climate Change, 64p

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (1992) .,United Nations Framework Convention on Climate Change: Text, Geneva, World Meteorological Organization and United Nations Environment Program.

Vincent, Trewin B, Villarroel C., (2013) .Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset

Les sites web

www.unidis.fr/sante-securite