



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج

Université Mohammed El Bachir El Ibrahimi B.B.A

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des 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 des Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Sciences Agronomiques
Spécialité : Aménagement Hydro-Agricole

Intitulé

**Étude de l'évolution passée et future des
précipitations et températures à l'échelle
régionale Nord Algérien.**

Présenté par : OUASSA Amina
FHAIMA Lina

Soutenu le :Devant le jury :

Président	Mr. TIAIBA. M.	MCB	Faculté SNV-STU, Univ. Bordj Bou Arreridj
Encadrant	M ^{me} CHOURGHAL N.	Pr.	Faculté SNV-STU, Univ. Bordj Bou Arreridj
Examineur	Mr. HERIZI T.	MCB	Faculté SNV-STU, Univ. Bordj Bou Arreridj

Année Universitaire 2023/2024

Remerciement

En premier lieu et avant tout ; Nous remercions **ALLAH le PUISSANT** de nous avoir aidé ; donné le courage et la patience et permis d'accomplir ce travail.

Nous tenons tout d'abord à adresser nos plus vifs remerciements à **Mme CHOURGHAL N.**, qui nous a encadré et dirigé avec bienveillance le long de la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions infiniment M. TIAIBA M., pour avoir accepté de présider notre jury ainsi que M. HERIZI T., pour avoir accepté d'évaluer notre travail.

Merci également à tous les enseignants de l'université Mohamed el Bachir el Ibrahimy pour la qualité de formation reçue.

Merci à notre famille de nous avoir encouragé et soutenu tout au long de notre étude.

Merci à notre promotion pour ces cinq belles années passées avec vous.

Nos remerciements vont enfin à toute personne qui a contribué de près ou loin à l'élaboration de ce travail.

Dédicace :

Alhamdulil ALLAH, le tout puissant de m'avoir donné courage, santé et patience pour achever ce travail

♥ *A mon père Abd arrahmane Ouassa*

♥ *A mon soleil dans l'existence ma mère, sans toi je ne serai pas là. Zu'Allah te protège*

♥ *A mes frères, Billal et Marouane*

♥ *A mes sœurs, Haizya, Rima, Yasmine*

♥ *A mon cher ami, Chahinaze*

A mon binôme, Lina

Je leurs dédie ce modeste travail en témoignage de ma gratitude infinie. Je remercie toutes les personnes qui ont contribué de la réalisation de ce projet de fin d'études.

Amina

Dédicace :

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude ; l'amour, le respect ...

Ainsi, c'est tout simplement que je dédie cette mémoire

A Mon père, qui ma encouragé et soutenu tout le long de mes études ; cher papa ! Merci pour tous ce que vous m'avez donnée ; et tous ce que vous m'avais fait jusqu'a maintenant ... tu étais toujours ma force, ma source d'énergie, ma motivation. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'estime, le dévouement et le respect que je te dois. Vous êtes un super papa,

A Ma mère, Tu es pour moi la lumière qui me guide dans les moments les plus obscurs. Par ton amour que je suis la, par tes sacrifices que j'ai réussit et que j'ai jamais abandonné, par ton courage que je n'ai jamais arrêté de rêver et continuer à atteindre mes objectifs, t'as réussit à être la meilleur maman, je t'aime,

A Ma sœur Malak , Tu as toujours m'encouragé à atteindre ce que je veux, Tu sais que l'affection et l'amour fraternel que je te porte sont sans limites. Merci pour ton soutien et ton accompagnement. Je suis tellement fière que tu es ma sœur d'amour.

A Mon frère Didou, Malgré ton jeune âge mais je me sens toujours que tu es mon grand frère, le courage que vous m'avais donné, tes conseils, tes sacrifices, ton soutien, la fierté que je vois dans tes yeux ma toujours poussé à faire encore plus ... je t'aime.

A Mon chère binôme Amina, qui m'a encouragé et aidé à réaliser ce mémoire tout au long de l'année.

ARIGATO !

Lina

Table des matières

Liste des tableaux.....	01
Liste des figures	02
Introduction	06
<i>Partie I : Matériel et Méthodes</i>.....	08
1. Présentation des régions d'étude	09
1.1. Introduction.....	09
1.2. La région de Tiaret	09
1.2.1. Situation géographique	09
1.2.2. Climat	10
1.2.2.1. Températures.....	10
1.2.2.2. Précipitations.....	10
1.2.3. Le sol à Tiaret	11
1.3. La région de Guelma	12
1.3.1 Situation géographique	12
1.3.2 Climat	12
1.3.2.1. Températures.....	12
1.3.2.2. Précipitations.....	13
1.3.3 types de sols.....	14
1.4. La région de Médéa.....	15
1.4.1 Situation géographique.....	15
1.4.2. Climat	16
1.4.2.1. Température.....	16
1.4.2.2. Précipitation.....	17
2. Données climatiques et traitement.....	18

2.1. Paramètres étudiés et échelle de temps	18
2.2. Source de données- le modèle de simulation ARPEGE -Climat v6.2.....	18
2.3. Calcul des paramètres statistiques.....	19
2.3.1. Moyenne arithmétique	19
2.3.2. Ecart type	19
2.4. Scénario climatique futur.....	20
3. Estimation du changement climatique futur.....	20
<i>Partie II : Résultats Et Discussions.....</i>	<i>21</i>
1. Analyse du climat du passé	22
1.1. Températures	22
1.1.1. Valeurs annuelles.....	22
1.1.2 Valeurs mensuelles interannuelles	22
1.1.3 Valeurs interannuelles	24
1.2 Précipitations.....	25
1.2.1 Valeurs annuelles.....	25
1.2.2. Valeurs mensuelles interannuelles.....	25
1.2.3 Valeurs interannuelles.....	25
1.3 Discussion.....	26
2. Le climat du futur à l'échelle Nord Algérien	27
2.1 Températures	27
2.1.1 Valeurs annuelles	27
2.1.2. Valeurs mensuelles interannuelles	30
2.1.3. Valeurs interannuelles	32
2.2 Précipitations.....	33
2.2.1. Valeurs annuelles.....	33
2.2.2. Valeurs mensuelles interannuelles.....	35
2.2.3. Valeurs interannuelles	35

2.3 Discussion.....	37
3. Estimation du changement climatique à l'échelle régionale Nord Algérien	37
3.1. Températures.....	37
3.2. Précipitations	40
3.3. Discussion.....	41
Conclusion.....	44
Références bibliographiques.....	46
Résumé.....	53

Liste des Tableaux

Titre	Page
Tableau 1. Températures moyennes, minimales et maximales mensuelles interannuelles à Tiaret calculées sur la période 1991-2021.	10
Tableau 2. Températures moyennes, minimales et maximales mensuelles interannuelles à Guelma calculées sur la période 1991-2021.	13
Tableau 3. Températures moyennes, minimales et maximales mensuelles interannuelles à Médéa calculées sur la période 2016 – 2024.	17
Tableau 4. Températures minimales interannuelles dans les trois régions d'études.	24
Tableau 5. Températures maximales interannuelles dans les trois régions d'études.	24
Tableau 6. Précipitations interannuelles dans les trois régions d'étude.	26
Tableau 7: Températures minimales interannuelles selon les scénarios passé et futurs dans les trois régions d'étude.	33
Tableau 8. Températures maximales interannuelles selon les scénarios passés et futurs dans les trois régions d'étude.	33
Tableau 9. Précipitation interannuelles selon les scénarios passés et futurs dans les trois régions d'étude.	36

Listes des Figures

Titre	Page
Figure 1. Situation géographique de la région de Tiaret.	09
Figure 2. Précipitations mensuelles interannuelles à Tiaret durant la période 1991- 2021 (mm).	11
Figure 3. Diagramme ombrothermique de la région de Tiaret tracé sur la période (1991-2021).	11
Figure 4. Situation géographique de la région de Guelma.	13
Figure 5. Précipitations mensuelles interannuelle à Guelma durant la période 1991-2021 (mm).	14
Figure 6. Diagramme ombrothermique de la région de Guelma tracé sur la période (1991-2021).	14
Figure 7. Situation géographique de la région de Médéa.	16
Figure 8. Précipitations mensuelles interannuelles à Médéa durant la période 2016-2024 (mm).	17
Figure 9 : Digramme ombrothermique de la région de Médéa tracé sur la période 2016 - 2024	18
Figure 10. Le modèle ARPEGE de l'échelle globale à l'échelle de la région méditerranéenne.	19
Figure 11. Evolution des températures minimales annuelles du passé dans les trois régions (1980-2005).	22
Figure12: Evolution des températures maximales annuelles du passé dans les trois régions (1980-2005) dans les trois régions	23
Figure 13. Evolution des températures minimales mensuelles interannuelles du passé (1980-2005) dans les trois régions.	23
Figure14: Evolution des températures maximales mensuelles interannuelles du passé (1980-2005) dans les trois régions	24
Figure 15. Evolution des précipitations annuelles du passé (1980-2005) dans les trois régions.	25
Figure 16. Evolution des précipitations mensuelles interannuelles du passé (1980-2005) dans les trois régions.	26
Figure 17. Comparaison entre températures minimale futur et passée dans la région de Guelma.	28

Figure 18. Comparaison entre températures minimale futur et passé dans la région de Médéa.	28
Figure 19. Comparaison entre températures minimale futur et passé dans la région de Tiaret.	28
Figure 20. Comparaison entre températures maximales futur et passé dans la région de Guelma.	29
Figure 21. Comparaison entre températures maximales futur et passée dans la région de Médéa.	29
Figure 22. Comparaison entre températures maximales futur et passé dans la région de Tiaret.	29
Figure 23. Températures minimales mensuelles interannuelles dans le climat passé et futur à Guelma.	30
Figure 24. Températures minimales mensuelles interannuelles dans le climat passé et futur à Médéa.	30
Figure 25. Températures minimales mensuelles interannuelles dans le climat passé et futur à Tiaret.	31
Figure 26. Températures maximales mensuelles interannuelles dans le climat passé et futur à Guelma.	31
Figure 27. Températures maximales mensuelles interannuelles dans le climat passé et futur à Médéa	32
Figure 28. Températures maximales mensuelles interannuelles dans le climat passé et futur à Tiaret.	32
Figure 29. Précipitations annuelles de climat passé et futur de la région de Guelma.	34
Figure 30. Précipitations annuelles de climat passé et futur de la région de Médéa.	34
Figure 31. Précipitations annuelles de climat passé et futur de la région de Tiaret.	34
Figure 32. Précipitations mensuelles interannuelles dans le climat passé et futur à Guelma.	35
Figure 33. Précipitations mensuelles interannuelles dans le climat passé et futur à Médéa.	36

Figure 34. Précipitations mensuelles interannuelles dans le climat passé et futur à Tiaret.	36
Figure 35. Anomalies calculées sur les températures minimales de la région de Guelma.	38
Figure 36. Anomalies calculées sur les températures minimales de la région de Médéa.	38
Figure 37 : Anomalies calculées sur les températures minimales de la région de Tiaret.	39
Figure 38. Anomalies calculées sur les températures maximales de la région de Guelma.	39
Figure 39. Anomalies calculées sur les températures maximales de la région de Médéa.	39
Figure 40. Anomalies calculées sur les températures maximales de la région de Tiaret.	40
Figure 41. Anomalies calculées sur les précipitations de la région de Guelma.	40
Figure 42. Anomalies calculées sur les précipitations de la région de Médéa.	41
Figure 43. Anomalies calculées sur les précipitations de la région de Tiaret.	41

Liste des abréviations

ARPEGE : Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle

CNRM : Centre National de Recherches Météorologiques

CEP : Conseil en évolution professionnelle

CNRM : Centre National de Recherches Météorologiques

IPCC-AR4: Intergovernmental Panel on Climate Change- the Fourth Assessment Report

ENSO: El Niño South Oscillation

NAO: North Atlantic Oscillation

ONM : Office National de Météorologie

RCP : (pour « Representative Concentration Pathway » en anglais, « Trajectoires représentatives de concentration » en français)

Introduction

Le climat est l'ensemble des caractéristiques météorologiques d'une région donnée intégrées au long terme (**Ramade, 2002**). Selon les manuels techniques : « Le climat au sens étroit du terme est généralement défini comme un « temps moyen » ou, plus précisément, comme une description statistique en termes de moyenne et de variance de paramètres pertinents, tels que la température, les précipitations, sur une longue période pouvant atteindre les millions d'année (**Solomon et al. 2007**).

Le climat de la terre change, mais il existe une différence entre variabilité et changement climatique ; la variabilité du climat se réfère à la variabilité observée dans les données climatiques quand l'état du système climatique ne montre pas de changement (**Mavi et Tupper, 2004**). La variabilité dans une série climatique est marquée par une stabilité de la moyenne (la série est dite stationnaire), et par une fluctuation des observations autour de cette moyenne (**Burroughs, 2001**). A l'inverse, le changement du système climatique est caractérisé par un changement dans les moyennes des variables climatiques calculées sur une longue période d'années, qui peut être accompagné par un changement dans la distribution des fréquences des événements rares (**Salinger et al, 2000**).

Le changement climatique est le résultat en grande partie de l'activité humaine, en particulier de la production industrielle et du changement dans l'usage et de la couverture des sols. Ces types d'activités contribuent à une augmentation des concentrations de dioxyde de carbone, de méthane, d'oxyde nitreux et d'autres gaz à effet de serre ainsi que d'aérosols dans l'atmosphère, perturbant ainsi le bilan énergétique de l'enveloppe superficielle terrestre ainsi que ses bilans hydrologique et chimique (**IPCC, 2013**).

Dès les années 1960, de nombreux scientifiques ont travaillé sur l'estimation de l'impact de l'accroissement du taux de CO₂ sur l'augmentation des températures et sur le climat futur de manière générale (**Smagorinsky et al., 1965 ; Gebhart, 1967 ; Manabe, 1969 ; Manabe et Brian, 1969 ; Bryson, 1970 ; Robinson et Robbins, 1970 ; Broecker, 1975 ; Ramanathan et al., 1985 ; Watts, 1980**). La création du Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat (GIEC) en 1998 a permis l'établissement d'une famille de scénarios (SRES) d'évolution socio-économique future, pour lesquels on peut prévoir des concentrations différentes en GES (GIEC, 1998). Ces scénarios couvrent différentes orientations politico-socio-économiques allant d'une consommation massive de l'énergie fossile, à une utilisation importante de technologies propres, en passant par un système

Énergétique équilibré entre les ressources fossiles et renouvelables (**Gallopın et al, 1997 ; IPCC, 2007**). En 2014, le GIEC, développe une nouvelle famille de scénarios climatique (RCP) en se basant sur le forçage climatique induit par l'augmentation des GES dans l'atmosphère à des seuils différents (**GIEC, 2014**).

Le développement de modèles climatiques de circulation globale MCG et de circulation régionale MCR, et l'emploi des scénarios climatiques SRES ou RCP développés par le GIEC permet de générer des projections climatiques concernant le futur tant à l'échelle globale que régionale.

D'après le rapport de l'IPCC de 2018, on estime que les activités humaines ont provoqué un réchauffement de la planète d'environ 1,0°C par rapport aux moyennes de températures observées avant la période préindustrielle (deuxième moitié du 18ème siècle). Le réchauffement atteindrait 1,5°C entre 2030 et 2052 si la tendance reste équivalente (**I.P.C.C., 2018**).

Le bassin Méditerranéen et donc la région Nord Africaine, est particulièrement touché par le changement climatique global et ses impacts , notamment par la hausse des températures, la montée du niveau des eaux, ainsi que le renforcement des évènements climatiques extrêmes (vagues de chaleur, précipitations massives, etc.) et la dégradation de l'environnement naturel (sécheresses, inondations, canicules, feux de forêt, stress hydrique, désertification, érosion ou encore forte dégradation de la biodiversité terrestre et marin(**Plan Bleu, 2015**). D'après les études du GIEC (**GIEC, 2013 ; 2018**), une hausse substantielle des températures est à prévoir : autour de 2°C en fonction des saisons et des scénarios d'ici 2050, 2 à 6°C d'ici 2100. Dans tous les cas, la hausse des températures en Méditerranée sera supérieure à la hausse des températures mondiale (**GIEC, 2022**).

Dans ce travail nous nous proposons d'étudier l'évolution du climat observé et futur et d'estimer le changement climatique concernant les températures minimales, maximales et les précipitations à l'échelle régionale Nord Africain à travers le choix de trois zones d'études ; Guelma, Médéa et Tiaret. Ce travail est accomplis par l'emploi d'une base de donnée conséquente générée par le modèle climatique ARPEGE-Climat version 6.

Le présent de mémoire commence par une introduction qui synthétise le contexte et les objectifs de l'étude. Deux parties suivent après ; matériels et méthodes et résultats et discussion. Nous terminons enfin le document par une conclusion.

Partie I :

Matériel et Méthodes

1. Présentation des régions d'étude

1.1. Introduction

Notre étude est réalisée à l'échelle régionale Nord Algérien. En fonction de la disponibilité des données climatiques, trois régions ont été choisies ; Guelma à l'est, Médéa au Centre et Tiaret à l'Ouest.

1.2. La région de Tiaret

1.2.1. Situation géographique

La wilaya de Tiaret est située au nord-ouest de l'Algérie, dans la région des Hauts Plateaux (Fig. 1). C'est une région qui s'étend sur une superficie de 20050,50 km². Elle constitue un centre de liaison important entre plusieurs wilayas et une zone de contact entre le sud et le nord du pays.



Fig. 1. Situation géographique de la région de Tiaret (Source :

<https://www.vectorstock.com/royalty-free-vector/tiaret-red-highlighted-in-map-algeria-vector-31254035>).

Elle est délimitée par plusieurs wilayas :

- Au nord, par les wilayas de Tissemsilt et Relizane,
- Au sud, par les wilayas de Laghouat et d'El Bayadh,
- A l'ouest, par les wilayas de Mascara et Saida,
- A l'est, par la wilaya de Djelfa.

Coordonnées géographiques :

Latitude : 35°22'15" Nord

Longitude : 1°19'01" Est

Altitude par rapport au niveau de la mer : 1031 m.

1.2.2. Climat

1.2.2.1. Températures

Tiaret, a un climat méditerranéen, caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers doux et pluvieux. En moyenne, le mois de Juillet connaît la température la plus élevée avec une valeur moyenne de 26.9 °C. Janvier est le mois le plus froid de l'année avec une température moyenne de 6.2 °C à cette période. Les températures moyennes minimales sont plus basses et varient entre un minimum de 2°C en Janvier et un maximum de 19.6°C en Août. A l'inverse, les températures maximales sont élevées et varient entre un minimum de 11.2°C en Janvier et un maximum de 33.4°C en Août (Tableau 1).

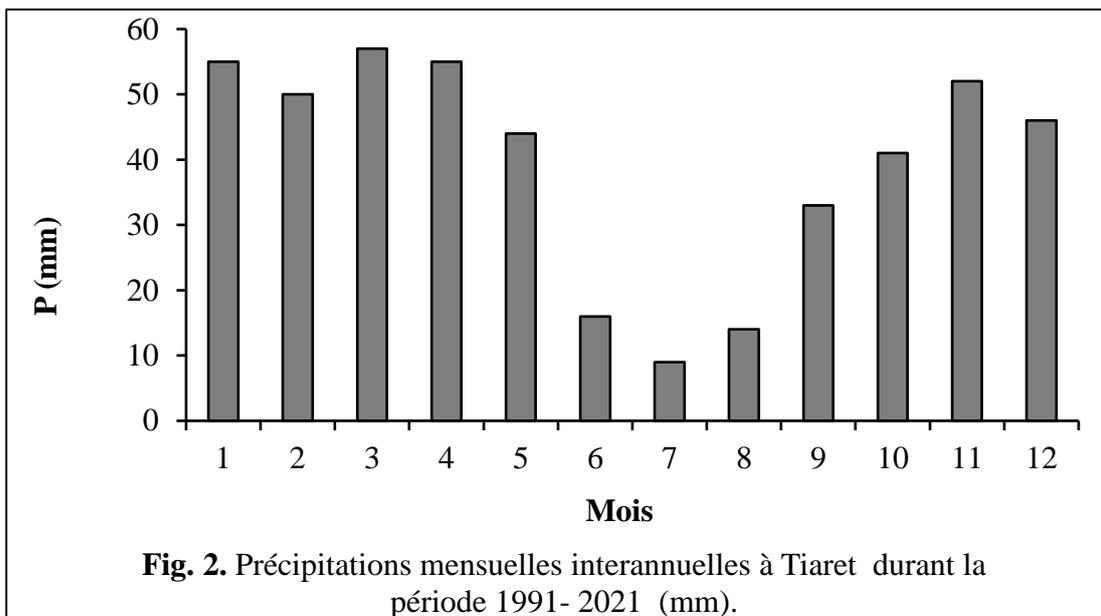
Tableau 1. Températures moyennes, minimales et maximales mensuelles interannuelles à Tiaret calculées sur la période 1991-2021.

	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Jui.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Tmoy (°C)	6.2	6.9	10.1	13.2	17.4	22.8	26.9	26.5	21.6	17.2	10.4	7.3
Tmin (°C)	2	2.4	5	7.4	11.2	15.8	19.5	19.6	15.9	12	6.3	3.5
Tmax (°C)	11.2	12	15.7	19.2	23.6	29.6	34	33.4	27.9	23	15.2	12.1

(Source : <https://fr.climate-data.org/afrique/algerie/tiaret/tiaret-3693/#climate-table>).

1.2.2.2. Précipitations

La fluctuation des précipitations est notable, avec 70 mm d'écart observé entre le mois le moins arrosé et le mois le plus arrosé. Une saison plus ou moins humide s'étale du mois d'Octobre au mois de Mai et une autre sèche couvre la période estivale (Fig. 2).

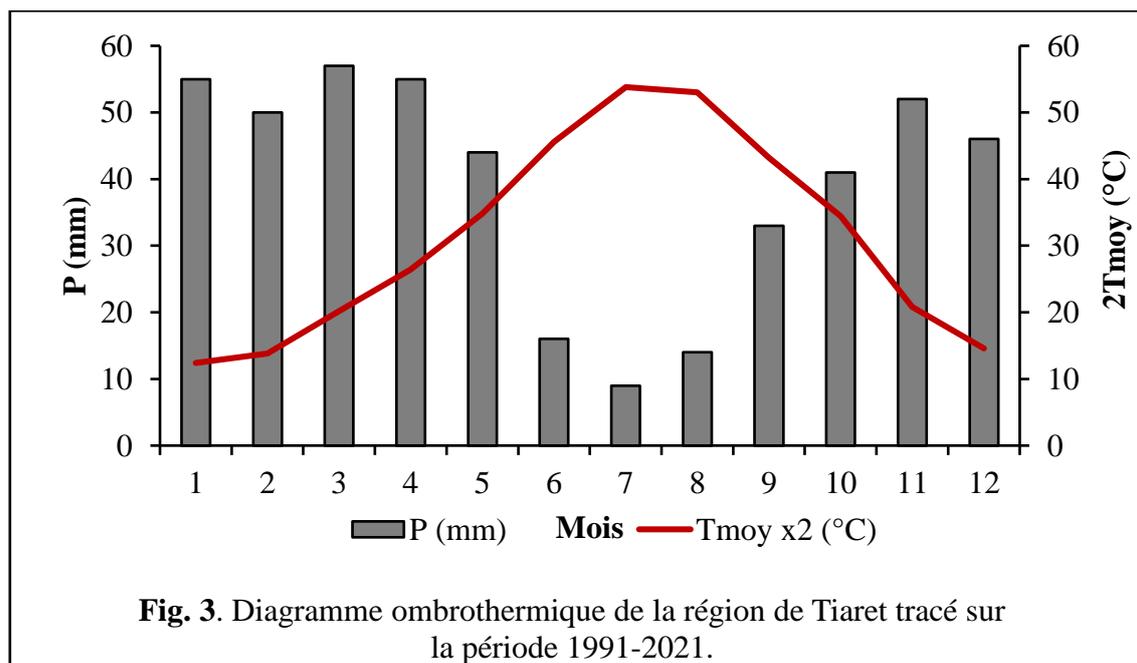


(Source : <https://fr.climate-data.org/afrique/algerie/tiaret/tiaret-3693/#climate-table>).

Le diagramme ombrothermique tracé sur la période 1991-2021 à partir des températures et des précipitations, indique la présence d’une période de sécheresse caractéristique de la région s’étalant du mois de Mai au début du mois d’Octobre (Fig. 3).

1.2.3. Le sol à Tiaret

Le sol dans la Wilaya de Tiaret est généralement de type calcaire, se sont généralement des sols brun calcaire avec un pH légèrement alcalin (Ziani, 2021).



1.3. La région de Guelma

1.3.1 Situation géographique

La wilaya de Guelma, située au nord-est algérien (Fig.4), C'est une région qui s'étend sur une superficie de 3686,84 km.

Elle est délimitée par plusieurs wilayas :

- Au nord par la wilaya d'Annaba.
- Au nord-est par la wilaya d'El Tarf.
- A l'est par la wilaya Souk Ahras.
- Au sud par la wilaya Oum El Bouaghi.

Coordonnées géographiques :

Latitude : 36° 28' 00" Nord,

Longitude : 7° 26' 00" Est

Altitude : 290 m.

1.3.2. Climat

1.3.2.1. Températures

Les conditions climatiques régnant à Guelma sont caractérisées par une température chaude et modérée. En moyenne, le mois de Juillet connaît la température la plus élevée avec une valeur moyenne de 26.4 °C. Janvier est le mois le plus froid de l'année avec une température moyenne de 7.7 °C à cette période. Les températures moyennes minimales sont plus basses et varient entre un minimum de 3°C en Janvier et un maximum de 19 °C en Août. A l'inverse, les températures maximales sont élevées et varient entre un minimum de 13.1°C en Janvier et un maximum de 34.2 °C en Juillet (Tableau 2).



Fig.4. Situation géographique de la région de Guelma (Source : <https://www.vectorstock.com/royalty-free-vectors/guelma-vectors>)

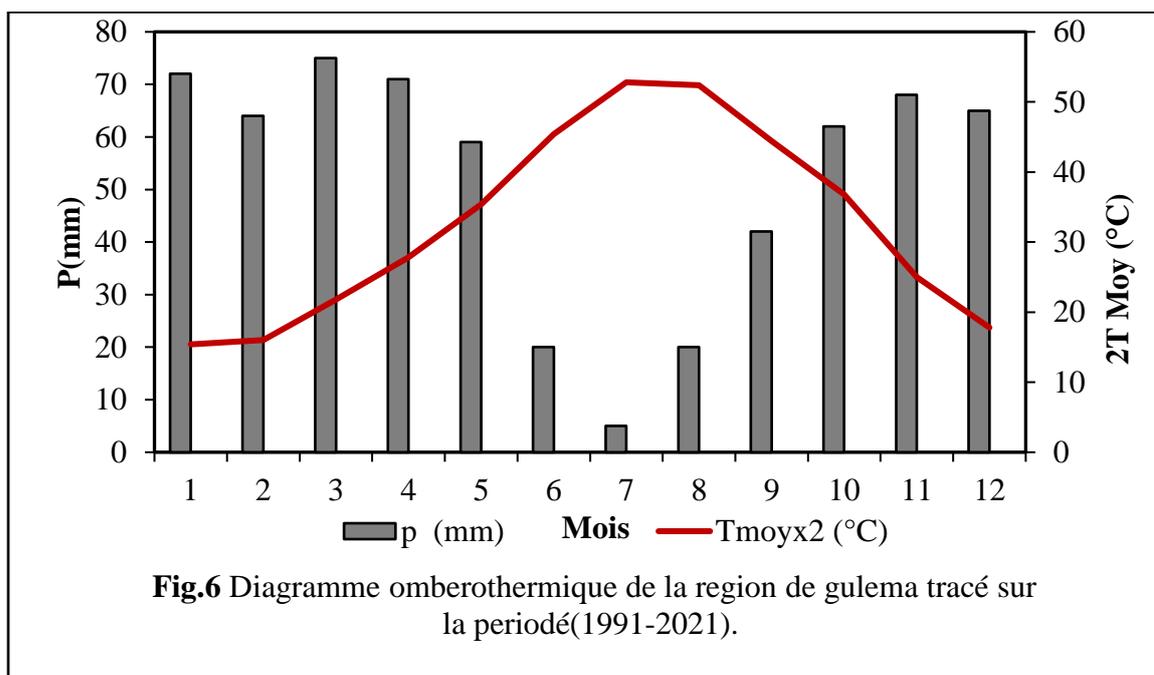
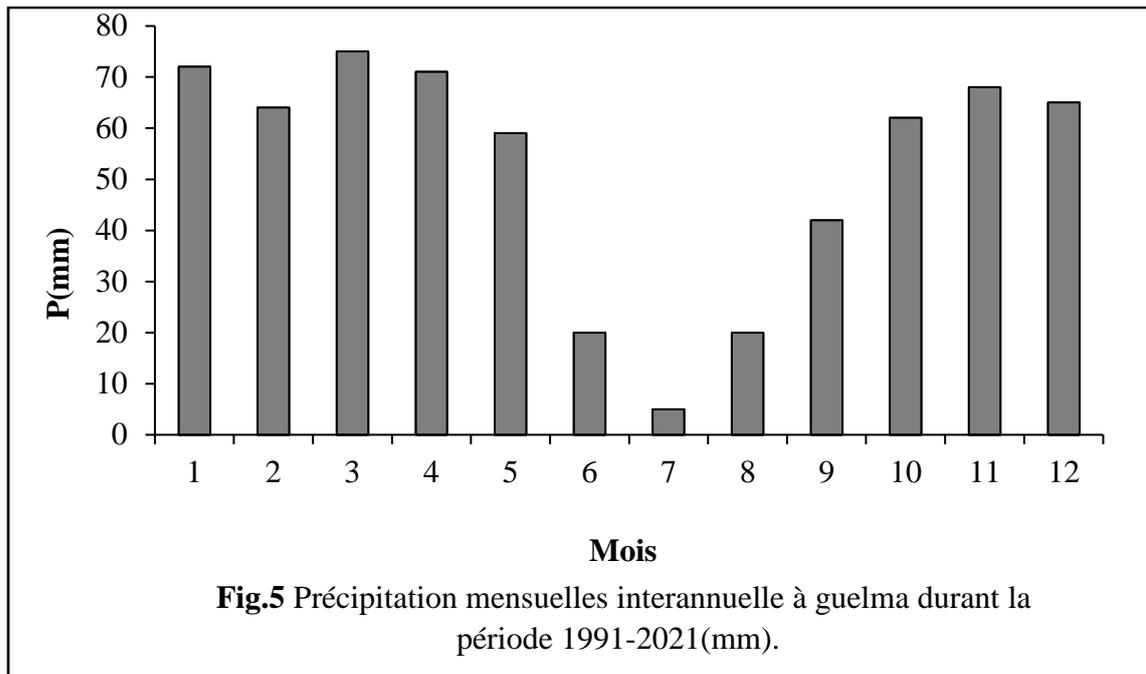
Tableau 2. Températures moyennes, minimales et maximales mensuelles interannuelles à Tiaret calculées sur la période (1991-2021)

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avar.	Mai.	Juin.	Jui.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Tmoy (°C)	7.7	8	10.9	13.9	17.7	22.7	26.4	26.2	22.2	18.4	12.5	8.9
Tmin (°C)	3	3	5.4	7.9	11.3	15.3	18.5	19	16.5	13	7.8	4.4.
Tmax (°C)	13.1	13.5	17	20.2	24.4	30	34.2	34	28.8	24.7	18	14.2

(Sources : <https://en.climate-data.org/africa/algeria/guelma-1151/>)

1.2.3.2 Précipitations

La fluctuation des précipitations est notable, avec 70 mm d'écart observé entre le mois le moins arrosé et le mois le plus arrosé. Une saison plus ou mois humide s'étale du mois d'Octobre au mois de juin et une autre sèche couvre la période estivale (Fig.5).



Le diagramme ombrothermique tracé sur la période à partir des températures et des précipitations, indique la présence d'une période de sécheresse caractéristique de la région s'étalant du mois de Mai au début du mois d'Octobre (Fig.6).

1.3.2.1 Types de sols

Les sols à Guelma sont des formations marno-calcaires ou calcaires et dolomitiques du 'Crétacé. (Ehrwein, 1984). Le sol de la wilaya de Guelma présente des richesses minières très importantes et peu exploitées.

1.4. La région de Médéa

1.4.1 Situation géographique

La wilaya de Médéa est située au nord de l'Algérie (Fig. 3). C'est une région qui s'étend sur une superficie de 8.775,65 km². Le Chef lieu de la wilaya est située à 88 km à l'Ouest de la capitale, Alger.

Elle est délimitée par plusieurs wilayas :

- La Wilaya de BLIDA au Nord.
- La wilaya de Djelfa au Sud.
- Les wilayas d'Ain DEFLA et Tisse silt à l'Ouest.
- Les Wilaya de M'SILA et Brouira à l'Est.

Coordonnées géographiques :

Latitude : 36°15'51" Nord.

Longitude : 2°45'14" Est.

Altitude: 910 m.



Fig. 7. Situation géographique de la région de Médéa (Source : <https://www.vectorstock.com/royalty-free-vectors/medea-vectors>).

1.4.2. Climat

1.4.2.1. *Température*

Climat méditerranéen semi continental, froid et humide en hiver, tempéré au Printemps et Chaud et sec en été. En moyenne, le mois de Juillet et Août connaît la température la plus élevée avec une valeur moyenne de 25 °C. Janvier est le mois le plus froid de l'année avec une température moyenne de 6 °C à cette période. Les températures moyennes minimales sont plus basses et varient entre un minimum de 1 °C en Janvier et un maximum de 17 °C en Juillet et Août. A l'inverse, les températures maximales sont élevées et varient entre un minimum de 11°C en Janvier et un maximum de 32°C en Juillet et Août (Tableau 3).

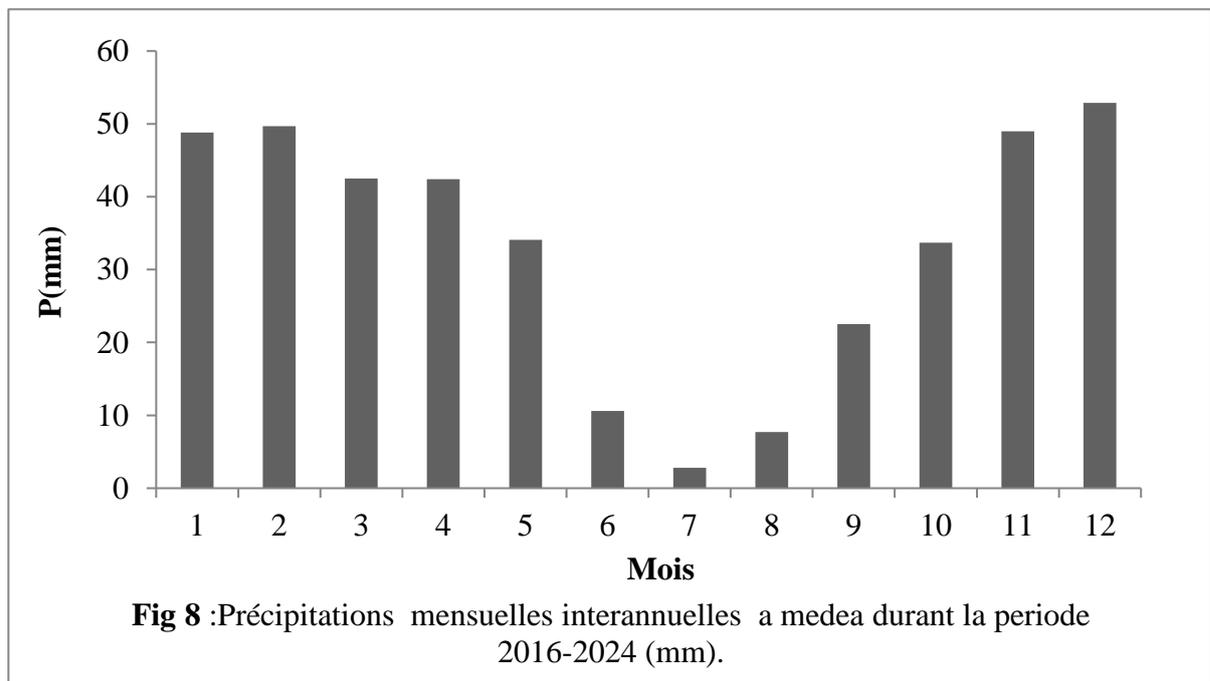
Tableau 3. Températures moyennes, minimales et maximales mensuelles interannuelles à Médéa calculées sur la période 2016 – 2024.

	Jan.	Fé	Mars	Avar	Mai.	Juin.	Jui.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Toy (°C)	6	7	9	12	16	21	25	25	21	16	10	7
Tmin (°C)	1	2	3	6	10	14	17	17	14	10	6	2
Tmax (°C)	11	12	15	18	22	28	32	32	27	22	16	12

(Source : <https://fr.weatherspark.com/y/47091/M%C3%A9t%C3%A9o-moyenne-%C3%A0-M%C3%A9d%C3%A9a-Alg%C3%A9rie-tout-au-long-de-l'ann%C3%A9e>).

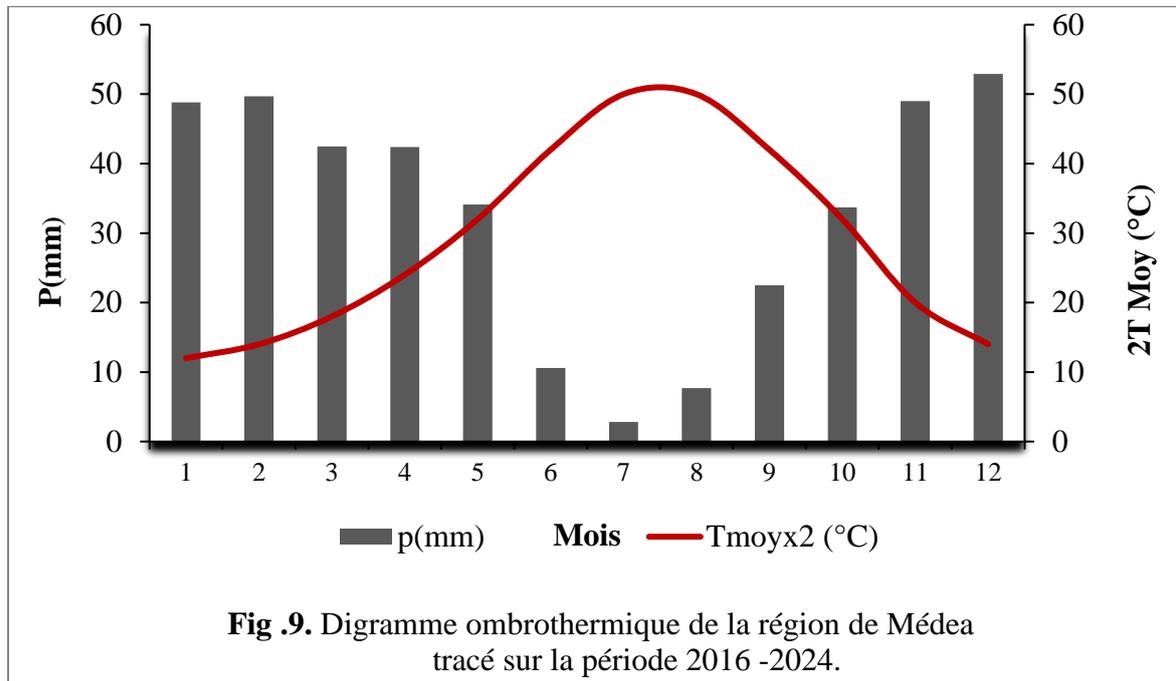
1.4.2.2 Précipitation

La fluctuation des précipitations est notable, avec 50,1 mm d'écart observé entre le mois le moins arrosé et le mois le plus arrosé. Une saison plus ou mois humide s'étale du mois d'Octobre au mois de Mai et une autre sèche couvre la période estivale (Fig. 8)



Source : (<https://fr.weatherspark.com/y/47091/M%C3%A9t%C3%A9o-moyenne-%C3%A0-M%C3%A9d%C3%A9a-Alg%C3%A9rie-tout-au-long-de-l'ann%C3%A9e>).

Le diagramme ombrothermique tracé sur la période 2016-2024 à partir des températures et des précipitations, indique la présence d'une période de sécheresse caractéristique de la région s'étalant du mois de Mai au début du mois d'Octobre (Fig.9.).



1.4.3 Types de sols

Les sols sont profonds où le complexe d'altération des grès est resté en place (pente faible), et les sols sont de type brun calciques.

2. Données climatiques et traitement

2.1. Paramètres étudiés et échelle de temps

Les données s'étendent sur la période 1980-2005 pour le climat du passé et de 2071-2100 pour le climat du futur. Elles sont générées par le modèle climatique ARPEGE- Climat v6.2, à l'échelle de temps journalière et concernent les précipitations, les températures maximales minimales.

2.2. Source de données- le modèle de simulation ARPEGE -Climat v6.2

Le modèle numérique ARPEGE -Climat v6.2 a été développé en 2017 par le CNRM (Centre National de Recherches Météorologiques). C'est un modèle de circulation générale global et spectral développé en collaboration avec le Centre Européen de Prévision (CEP à Reading, U.K.) pour la prévision numérique du temps. La grille d'ARPEGE a la capacité

d'être basculée pour changer la position du pôle et étirée pour augmenter la résolution dans une zone d'intérêt. Cette capacité de zoom a permis de développer des études régionales du climat avec ARPEGE-Climat (**Déqué and Pielieuvre, 1995 ; Gibelin and Déqué, 2003**).

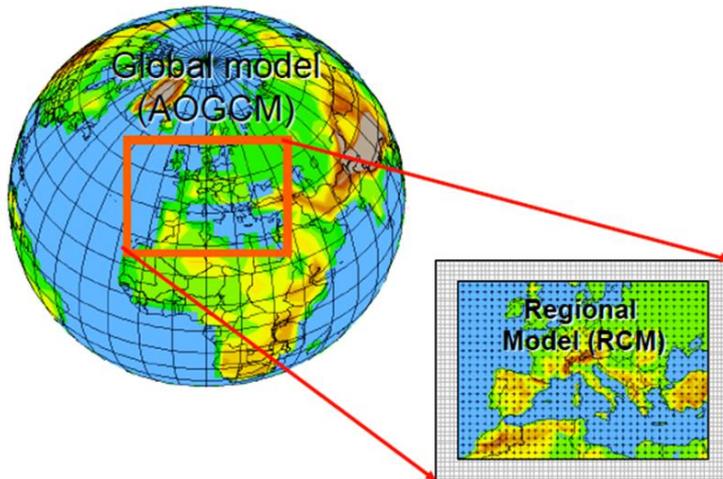


Fig. 10. Le modèle ARPEGE de l'échelle globale à l'échelle de la région méditerranéenne.

(Source : <https://www.guidingpartnerships.com/?a=thirty-years-of-regional-climate-modeling-where-are-we-ss-3Aqg9Yfv>).

2.3. Calcul des paramètres statistiques

A partir des valeurs journalières des trois paramètres étudiés pour les séries du climat du passé et du futur, les valeurs mensuelles, puis mensuelles interannuelles, annuelles et enfin les valeurs interannuelles ont été calculées ainsi que leurs écarts type, selon la méthodologie qui suit :

2.3.1. 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 :

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \dots \dots \dots (1)$$

2.3.2. 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 (AFNOR2002).

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

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

2.4. Scénario climatique futur

Les scénarios climatiques peuvent donner des informations importantes sur l'évolution du climat d'une région. Munies de celles-ci, il devient possible de prévenir les impacts négatifs potentiels des changements climatiques tout en favorisant un développement résilient au climat et sobre en émissions.

Le RCP4.5 est un scénario qui représente un monde où des efforts modérés sont déployés pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Les émissions continuent d'augmenter jusqu'au milieu du siècle, puis commencent à diminuer grâce à des mesures d'atténuation, mais ne reviennent jamais aux niveaux préindustriels (IPCC, 2014).

3. Estimation du changement climatique futur

Une première analyse comparative entre les deux climats du passé et du futur a été réalisée en se basant sur les différentes représentations graphiques des trois paramètres.

L'estimation du changement dans le climat est estimée 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 (désigné s). 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 :

$$\delta T \delta(^{\circ}C) = T_f (^{\circ}C) - T_s (^{\circ}C) \quad (2)$$

L'anomalie dans le cas des précipitations par exemple, elle s'exprime comme suit :

$$\rho P (\%) = \frac{P_f - P_s}{P_s} \cdot 100 \quad (3)$$

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

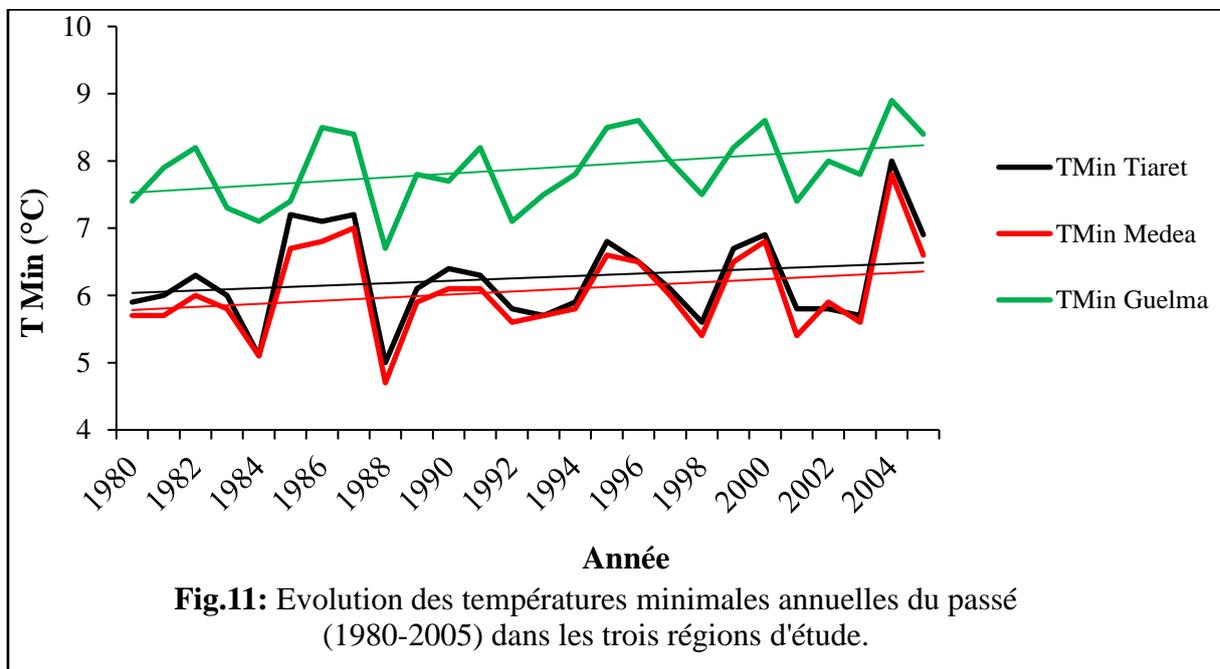
Partie II :
Résultats Et Discussions

1. Analyse du climat du passé

1.1. Températures

1.1.1. Valeurs annuelles

Les températures minimales dans les trois régions d'études varient d'une année à une autre avec une tendance à la hausse visible sur les trois graphiques. Une augmentation des températures minimales annuelles est relativement importante durant la période 1984-1988 (Fig.11). Les valeurs continuent à augmenter jusqu'à la fin de la période d'étude mais de manière moins prononcée. A Médéa et à Tiaret les températures minimales sont assez faibles et évoluent entre 4.7°C et 8°C. A Guelma, elles sont plus élevées et évoluent entre 6.7°C et 8.9°C.

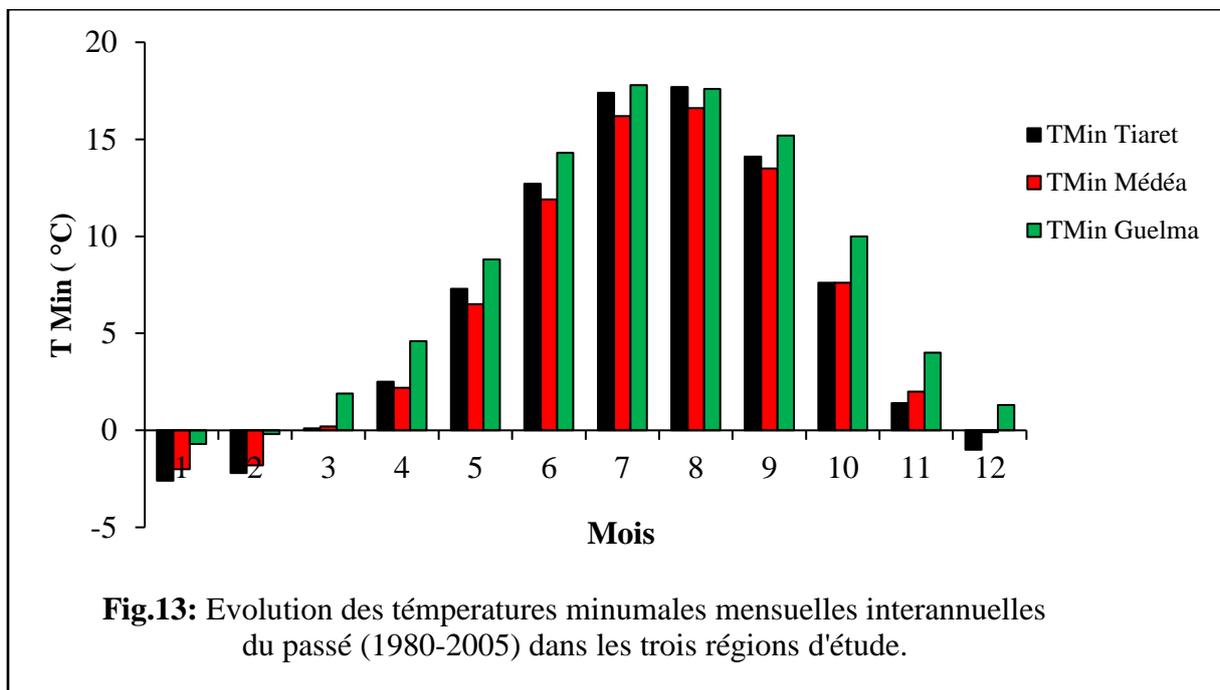
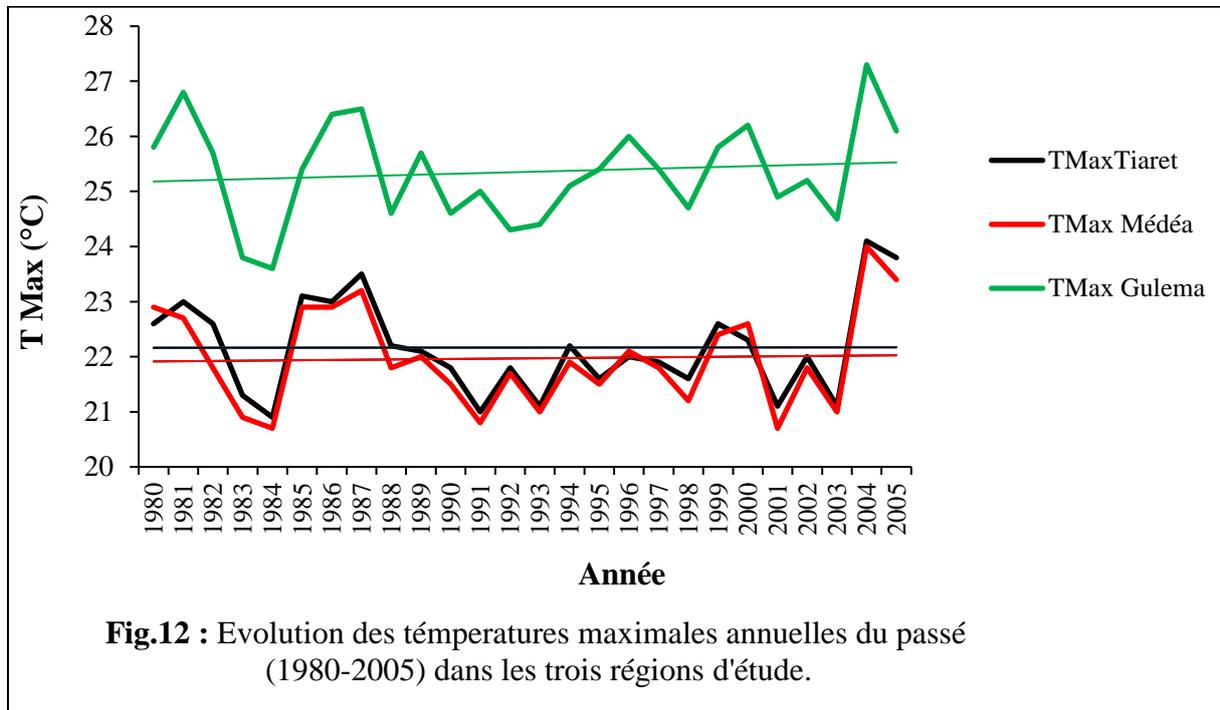


Les températures maximales annuelles dans les trois régions d'études varient d'une année à une autre avec une ligne vers la hausse (Fig.12). Une période relativement chaude est observée de 1984-1988. A Médéa et à Tiaret les températures maximales sont plus faibles et évoluent entre 20.3°C et 20.9 °C. A Guelma, elles sont plus élevées et évoluent entre 23.8 °C et 27.3°C.

1.1.2 Valeurs mensuelles interannuelles

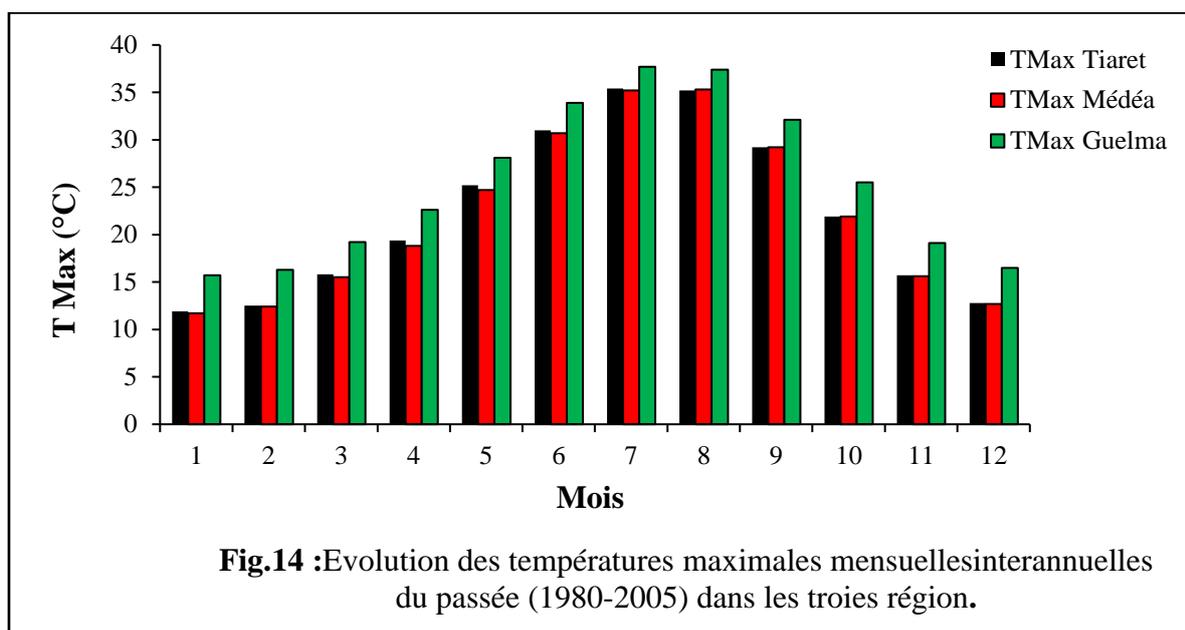
Les températures mensuelles interannuelles minimales dans les trois régions d'études sont marquées par une cyclicité où les températures augmentent de l'hiver vers l'été (Fig.13). Les valeurs pendant l'hiver peuvent descendre au dessous du -2.2°C et atteindre un maximum de

17.8°C en été valeurs observées à Guelma). Les températures minimales sont les plus élevées à Guelma suivie par Tiaret puis par Médéa.



Les températures maximales mensuelles interannuelles dans les trois régions d'études évoluent cycliquement (Fig.14). Elles sont les plus faibles pendant l'hiver et peuvent descendre au dessous du 11.7°C. Les valeurs les plus élevées concernent l'été où la température maximale peut atteindre (37.7°C). Il est à noter, comme ça été le cas pour les

températures annuelles, que les valeurs les plus élevées sont observées à Guelma suivie par Tiaret et enfin Médéa.



1.1.3 Valeurs interannuelles

Les températures minimales et maximales interannuelles dans les trois régions d'études sont reportées au niveau des (Tableau 4) et (Tableau 5). Les valeurs les plus élevées des deux variables concernant la région de Guelma suivie par Tiaret puis Médéa. La variabilité des températures minimales et maximales n'est, cependant, pas prononcée et ne dépasse pas les 1°C pour les trois régions d'étude.

Tableau 4 : Températures minimales interannuelles dans les trois régions d'étude.

Régions	T Min (°C)	Ecart type (°C)
Tiaret	6.3	0.69
Médéa	6.1	0.66
Guelma	7.9	0.56

Tableau 5: Températures maximales interannuelles dans les trois régions d'étude.

Régions	T Max (°C)	Ecart type (°C)
Tiaret	22.2	0.88
Médéa	22	0.9
Guelma	25.4	0.91

1.2.Précipitations

1.2.1. Valeurs annuelles

Les précipitations annuelles dans les trois régions d'étude sont relativement faibles (Fig.15) avec les valeurs les plus faibles observées à Guelma. Elles sont très variables dans le temps à Tiaret et Médéa et plus régulières à Guelma. Les valeurs annuelles des précipitations varient entre un minimum de 283.6mm à Guelma et un maximum de 921.5mm à Médéa.

Aucune tendance à la baisse ou à la hausse n'est visible sur la représentation graphique.

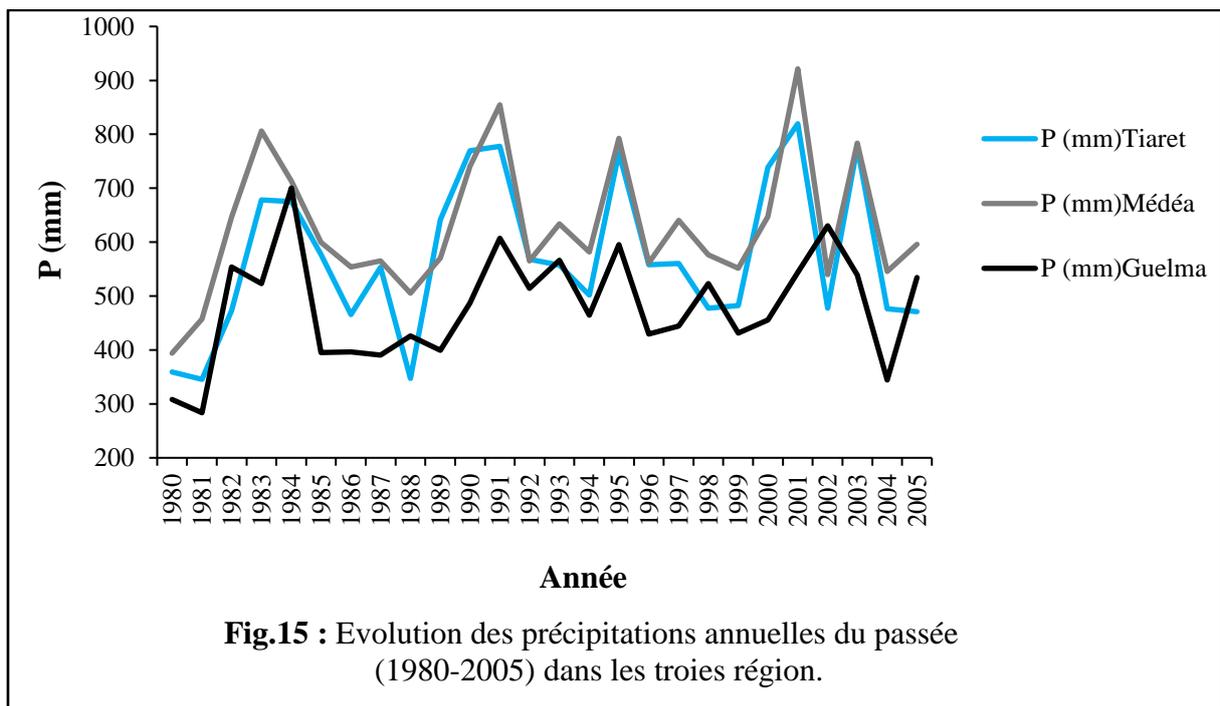


Fig.15 : Evolution des précipitations annuelles du passé (1980-2005) dans les trois régions.

1.2.2. Valeurs mensuelles interannuelles

Les précipitations mensuelles interannuelles augmentent progressivement, marquent leur maximum en hiver à Médéa (février avec 79.4 mm), puis diminuent pour atteindre leur valeur minimale en été à Guelma (Août 18.3) (Fig. 16).

2.2.3 Valeurs interannuelles

Concernant les précipitations, la valeur interannuelle la plus faible est calculée sur Guelma (480.3mm) contre une précipitation interannuelle maximale à Médéa de 628.6mm (Tableau 6). Les écarts types sont assez élevés, avec la valeur la plus élevée calculée sur Tiaret (140.9mm) et le plus faible à Guelma (100.8mm).

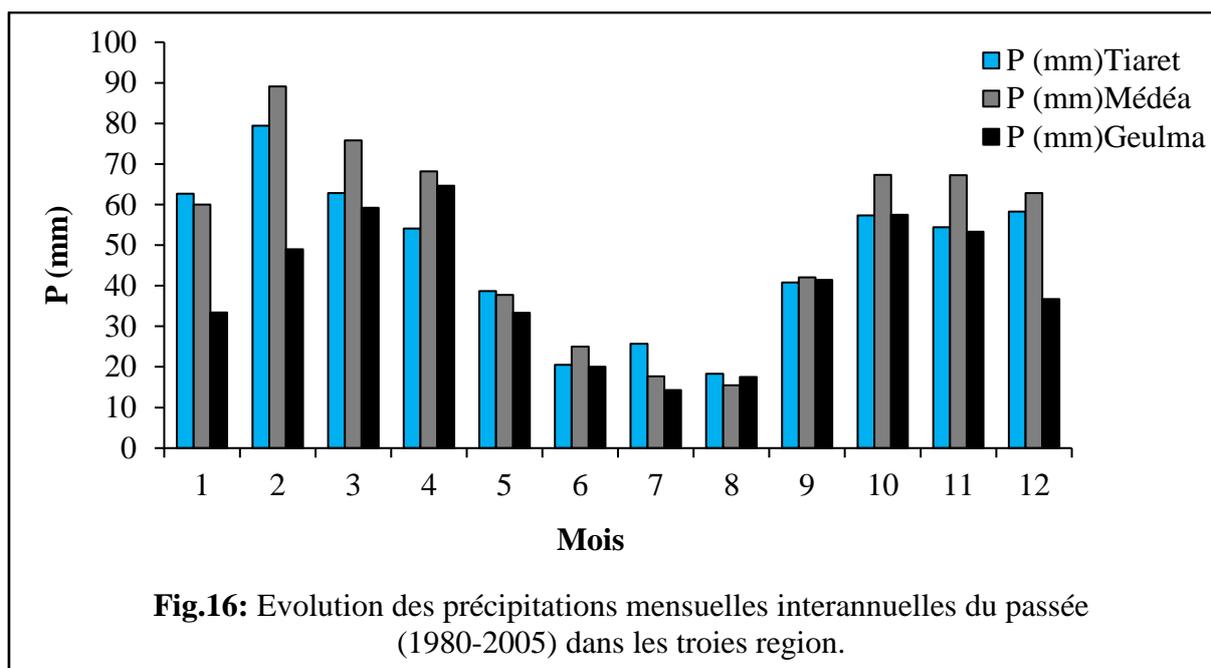


Tableau 6 : Précipitations interannuelles dans les trois régions d'étude.

Régions	Moyenne (mm)	Ecart type (mm)
Tiaret	572.9	140.9
Médéa	628.6	124.7
Guelma	480.3	100.8

1.3.Discussion

L'analyse du climat du passé indique quelques différences climatiques entre les trois régions d'étude. Les températures minimales et maximales sont assez élevées, avec deux saisons bien distinctes ; une saison sèche et chaude s'étalant de avril à octobre avec une précipitation moyenne ne dépassant pas les 30mm, une température maximale pouvant aller jusqu'au 39°C et des températures minimales qui peuvent atteindre les 17°C, et une saison assez froide et faiblement humide sur le reste de l'année. La pluviométrie y est faible et très irrégulière dans l'espace et dans le temps.

En effet, dans presque toutes les régions d'Afrique du Nord, il y a eu une tendance au réchauffement significative au cours des dernières décennies, plus prononcée en été et en ce qui concerne les températures minimales (Donat et al. 2013). La tendance au réchauffement s'est accompagnée d'une augmentation des nuits chaudes, des journées chaudes et des vagues

de chaleur, ainsi que d'une diminution des vagues de froid (**Elsharkawy et Elmallah 2016 ; Filahi et al. 2017 ; Nashwan et al. 2019 ; Zeroual et al. 2019**).

Aussi, les climatologues soulignent la forte variabilité annuelle des quantités de précipitations et les périodes de sécheresse et les vagues de chaleur qui y sont associées (**Cook et al. 2016 ; Lelieveld et coll. 2016**). dD même, la variabilité spatio-temporelle en région sud-Méditerranéenne est largement documentée (**Forland et al., 1996 ; Schonwiese et Rapp, 1997, Meddi et Talia, 2008 ; Chourghal, 2016**).

2. Le climat du futur à l'échelle Nord Algérien

2.1.Températures

2.1.1. Valeurs annuelles

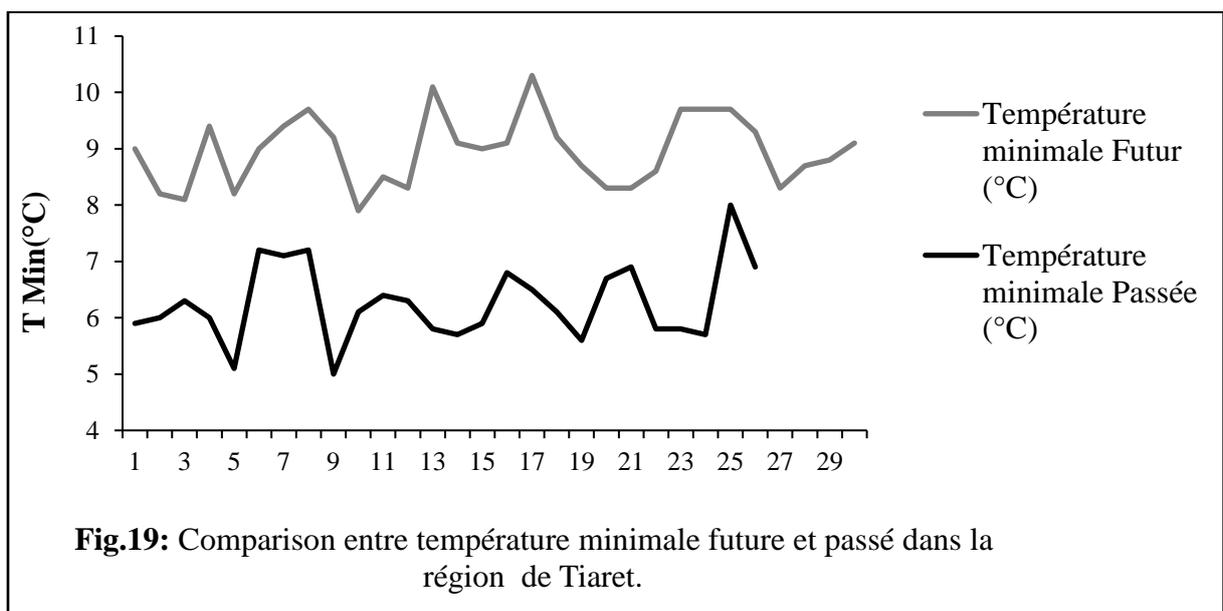
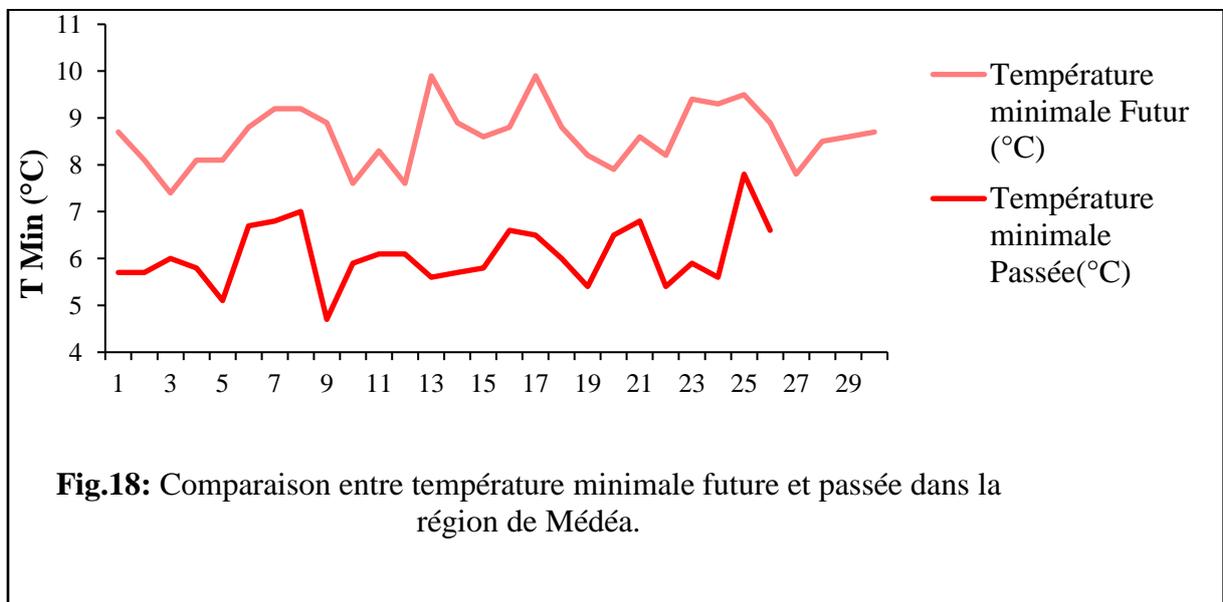
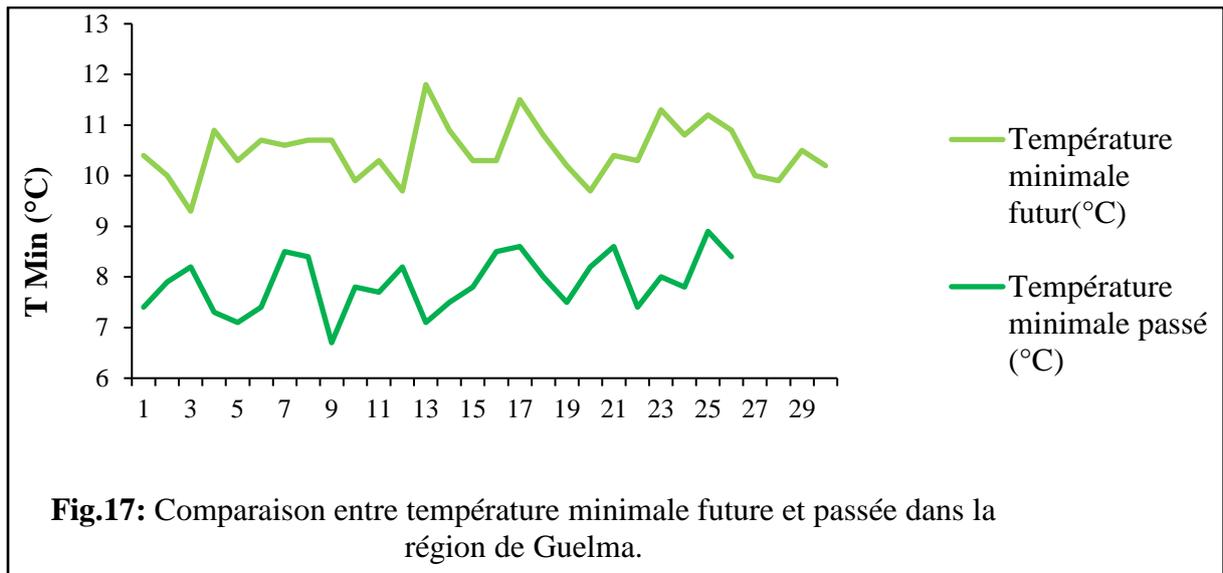
Les températures minimales dans le climat du futur selon le scénario RCP 4.5 généré par le modèle climatique ARPEGE-climat, sont nettement plus élevées que celles du climat du passé dans les trois régions d'étude.

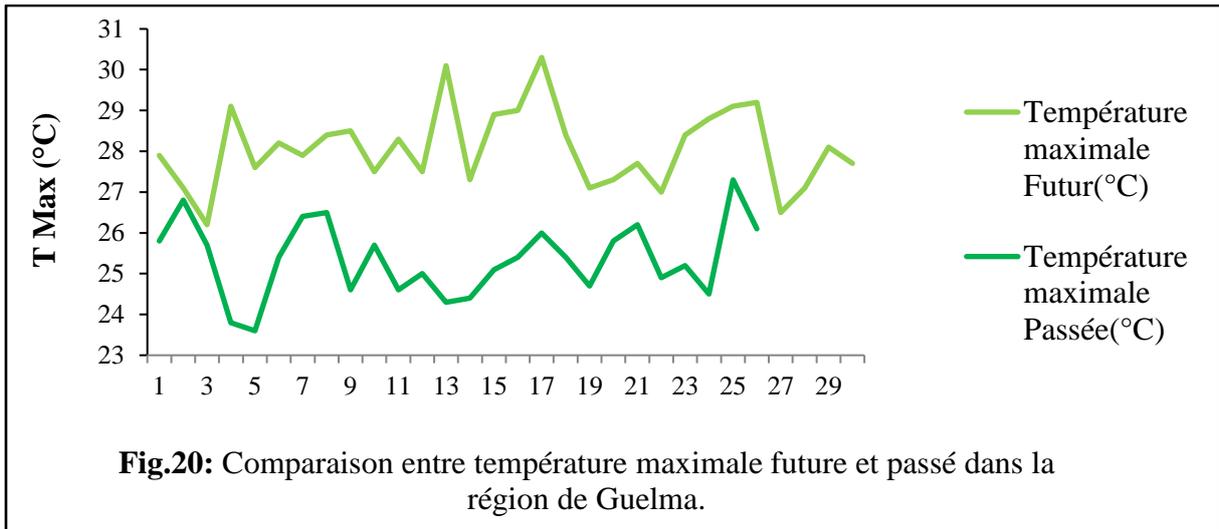
A Guelma, le décalage entre les deux scénarios est bien visible sur le graphique (Fig.17). Les valeurs annuelles oscillent entre un minimum de 9.7°C et un maximum de 11.8°C dans le scénarios futur contre un minimum de 6.7°C et un maximum de 8.9°C dans le climat passé. A Médéa (Fig18.), le décalage est moins important, il est au maximum de 9.9°C contre 7.8°C et au minimum de 7.4°C contre 4.7°C. A Tiaret (Fig.19), les températures minimales atteignent au minimum 6.1°C contre 8.3°C et au maximum 8°C et 10.3°C entre climats passé et futur.

Les températures maximales augmentent dans le climat futur selon le scénario RCP 4.5, ceci concerne les trois régions d'études. Cependant la tendance à la hausse est moins prononcée en comparaison avec les augmentations constatées sur les températures minimales.

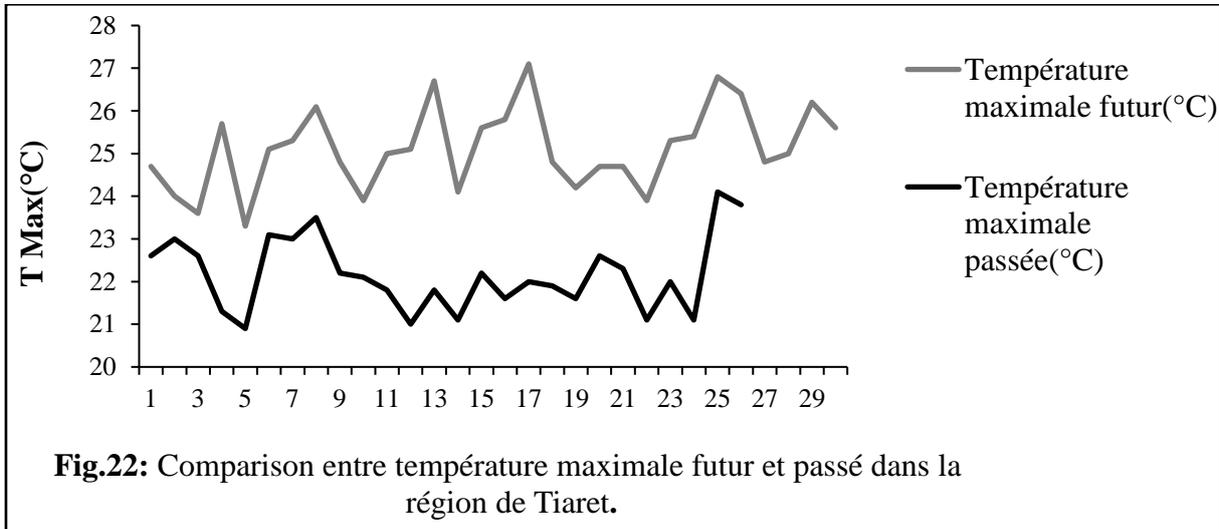
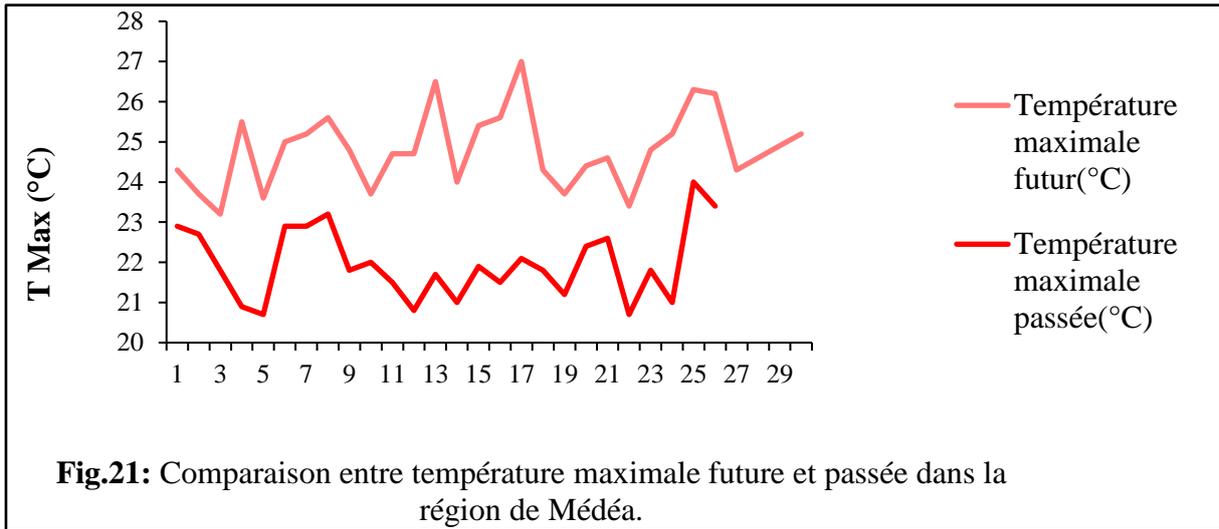
A Guelma (Fig.20), le minimum est de 26.5°C contre 25.7°C et le maximum est de 30.3°C contre 27.3°C entre climats futur et passé.

A Médéa (Fig.21), les températures maximales sont au minimum de 23.2°C et au maximum de 27°C dans le climat passé contre minimum de 20.7°C et un maximum de 24°C dans le climat passé.





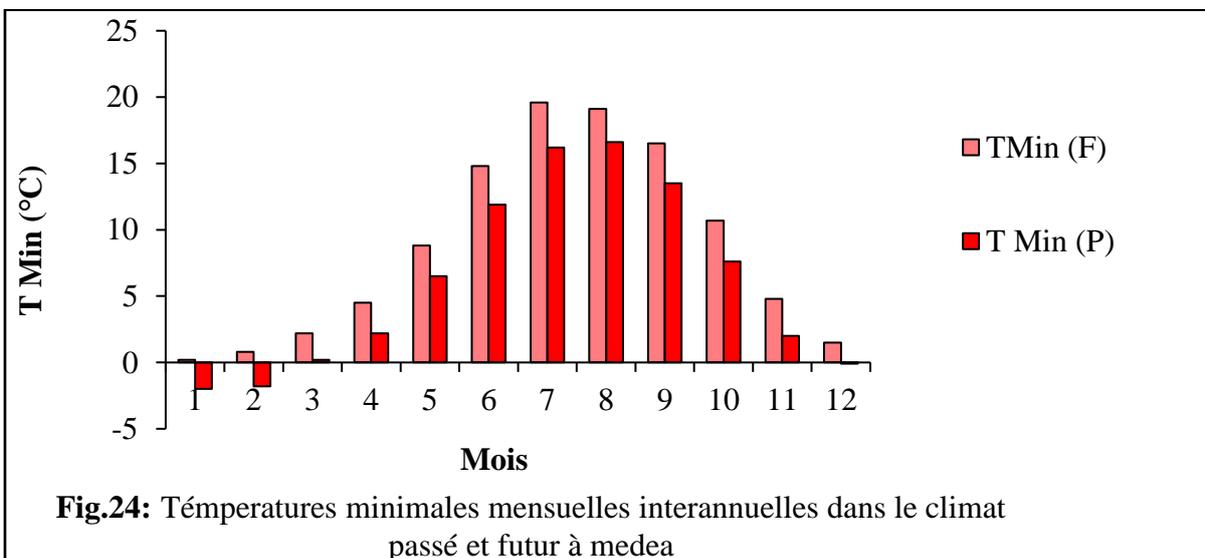
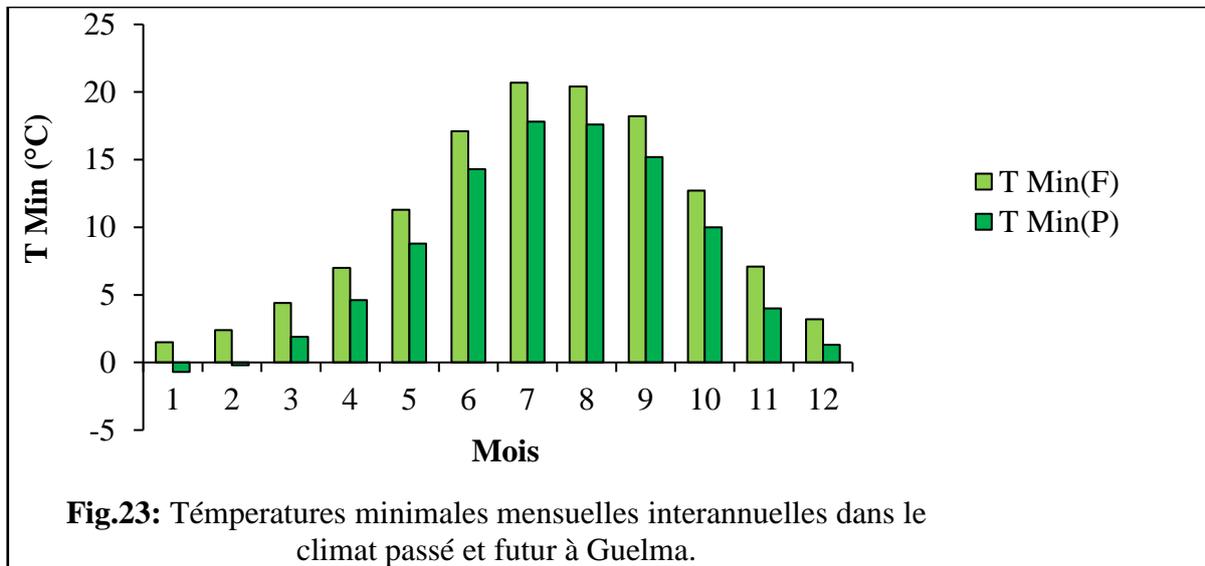
A Tiaret (Fig. 22), les valeurs sont les plus élevées, elles sont au minimum de 23.3°C et au maximum de 27.1°C dans le climat futur contre un minimum 20.9°C de et un maximum de 24.1°C dans le scénario futur

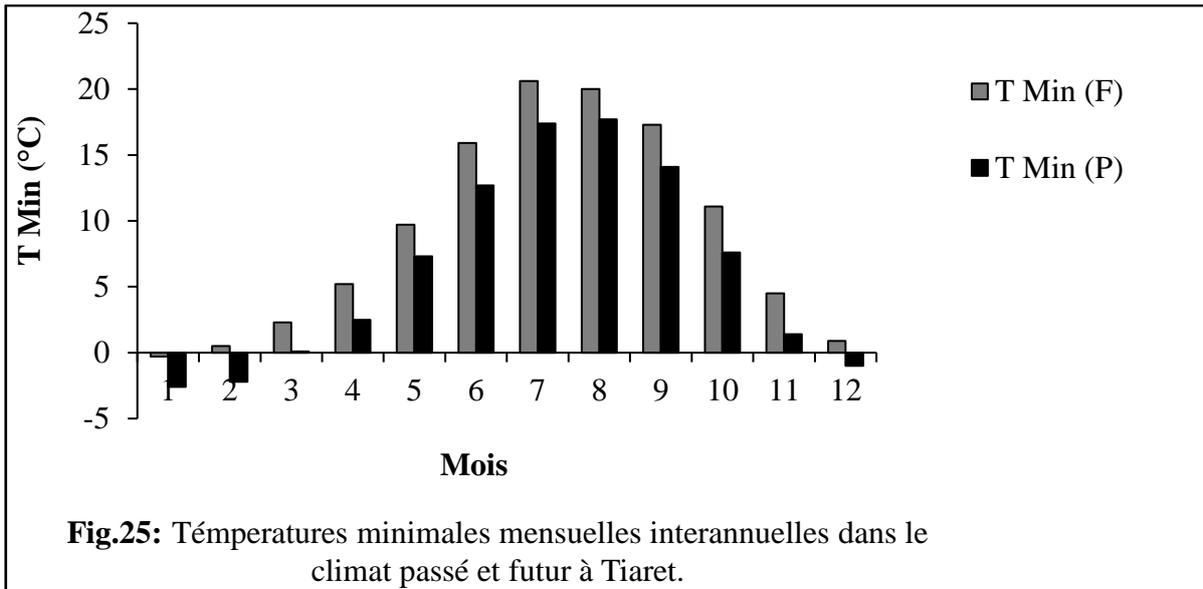


2.1.2. Valeurs mensuelles interannuelles

Les températures minimales mensuelles interannuelles dans le climat futur (2071-2100) sont plus élevées que celles du climat passé dans les trois régions d'étude. Une augmentation systématique concerne tous les mois de l'année dans le climat futur dans les trois régions d'étude.

A Guelma la température minimale future respectivement en juillet et Janvier atteint les 20.7°C et 1.5°C contre 17.8°C et -0.7°C dans le climat passé (Fig. 23). A Médéa, le mois la température minimale mensuelle interannuelle bascule de 19.6°C à 0.2°C en juillet et de 16.2°C et -2°C en Janvier entre climat passé et scénario futur (Fig. 24). A Tiaret, les températures minimales mensuelle interannuelles s'élève de 20.6°C 17.4°C en janvier et de -2.6 à -0.3°C à Tiaret entre les deux climats passé et futur (Fig. 25).

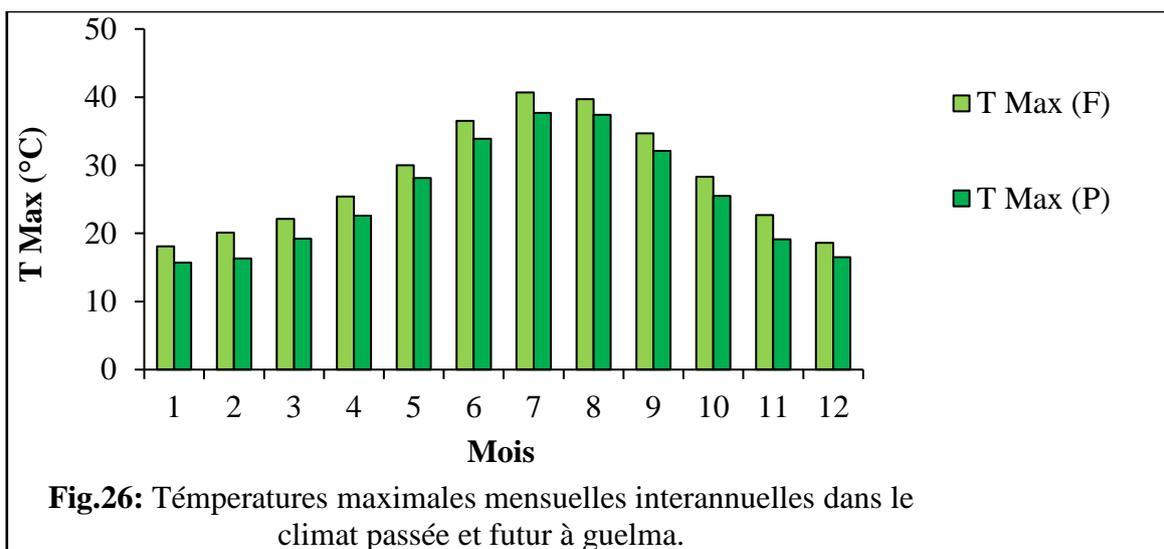


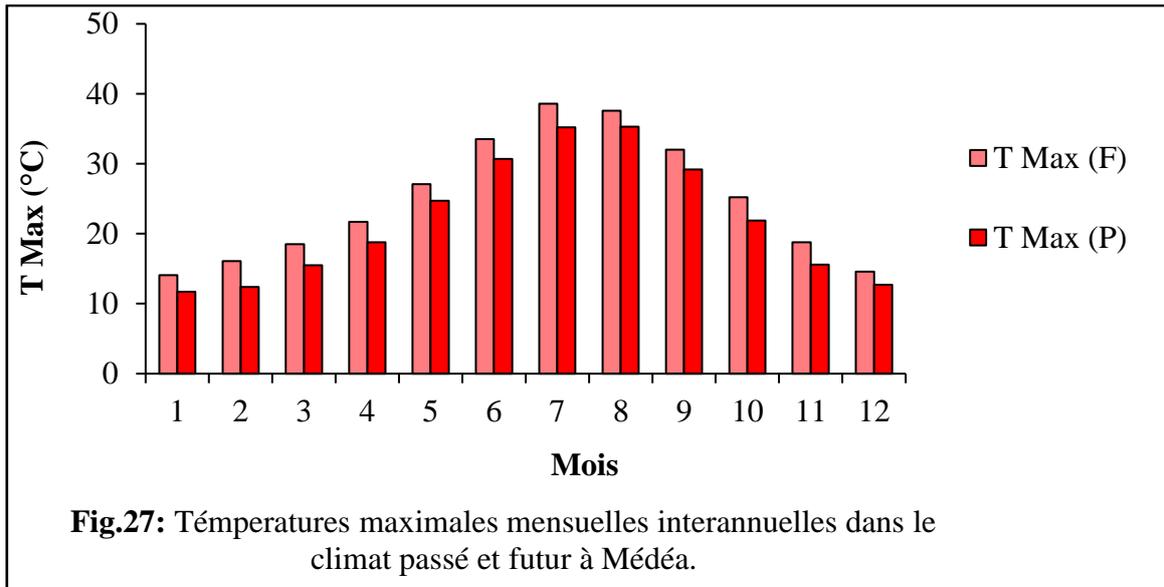


Les températures maximales interannuelles dans le climat futur sont plus élevées que celles du climat passé. Elles augmentent systématiquement pour les trois régions pour tous les mois de l'année.

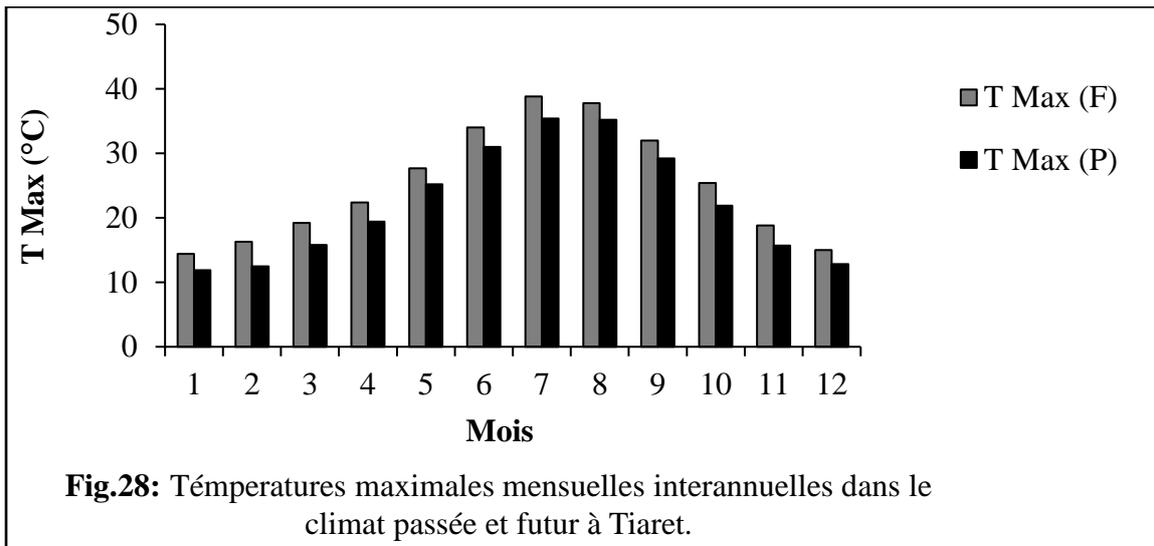
Dans la région de Guelma, la température maximale interannuelle pendant le mois de Janvier, passe de 15.7°C à 18.1°C entre climats passé et futur. En Juillet, elle s'élève de 37.7°C à 40.7°C entre les deux climats étudiés (Fig. 26).

Dans la région de Médéa, les valeurs de la température maximale interannuelle s'élèvent de 35.2°C à 38.6°C en juillet et de 11.7°C à 14.1°C en janvier dans les deux climats passé et futur (Fig. 27).





A Tiaret, les valeurs sont de 35.4°C à 38.8°C en juillet et de 11.9°C à 14.4°C en janvier entre climat passé et futur (Fig. 28).



2.1.3. Valeurs interannuelles

Les températures minimales interannuelles dans le climat futur sont supérieures à celles du climat passé (Tableau7). La différence est la plus importante à Tiaret suivie de Guelma puis de Tiaret. Les écart types augmentent légèrement entre climat passé et futur mais reste faibles et ne dépassent pas les 1°C pour les trois régions d’Eudes. La variabilité des températures minimales interannuelles déjà faible dans le climat passé, diminue d’avantage dans le climat futur dans les trois régions d’étude.

La température maximale interannuelle est toujours plus élevée dans le scénario futur que dans le scénario passé (Tableau 8). Les valeurs les plus élevées concernent Guelma suivie par Tiaret puis Médéa. La différence entre climat passé et futur avoisine les 2.5°C de l'Est vers l'Ouest.

Tableau 7: Températures minimales interannuelles selon les scénarios passé et futur dans les trois régions d'étude.

Régions Scénario	Paramètre	Guelma	Médéa	Tiaret
Passé	Moyenne	7.9	6.1	6.3
	Ecart type	0.56	0.66	0.69
Futur	Moyenne	10.4	8.6	8.9
	Ecart type	0.56	0.65	0.62

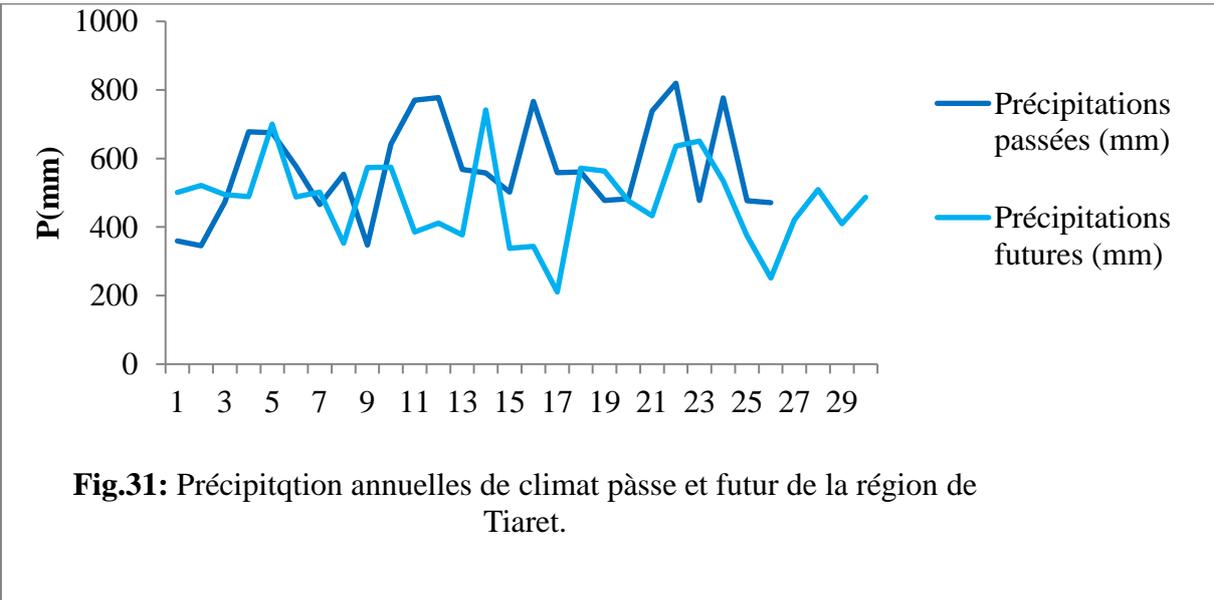
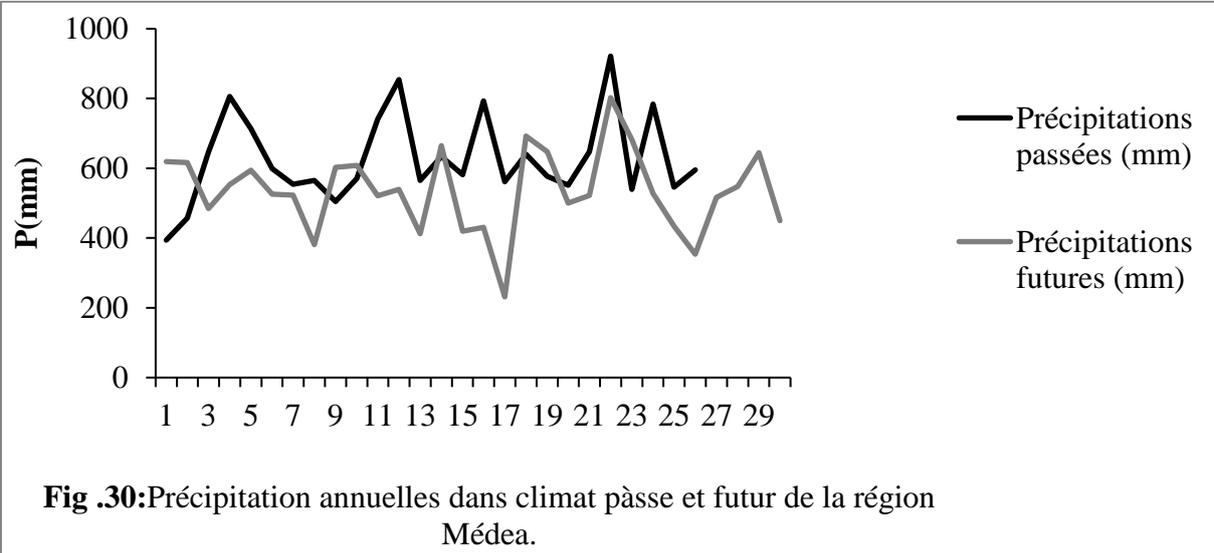
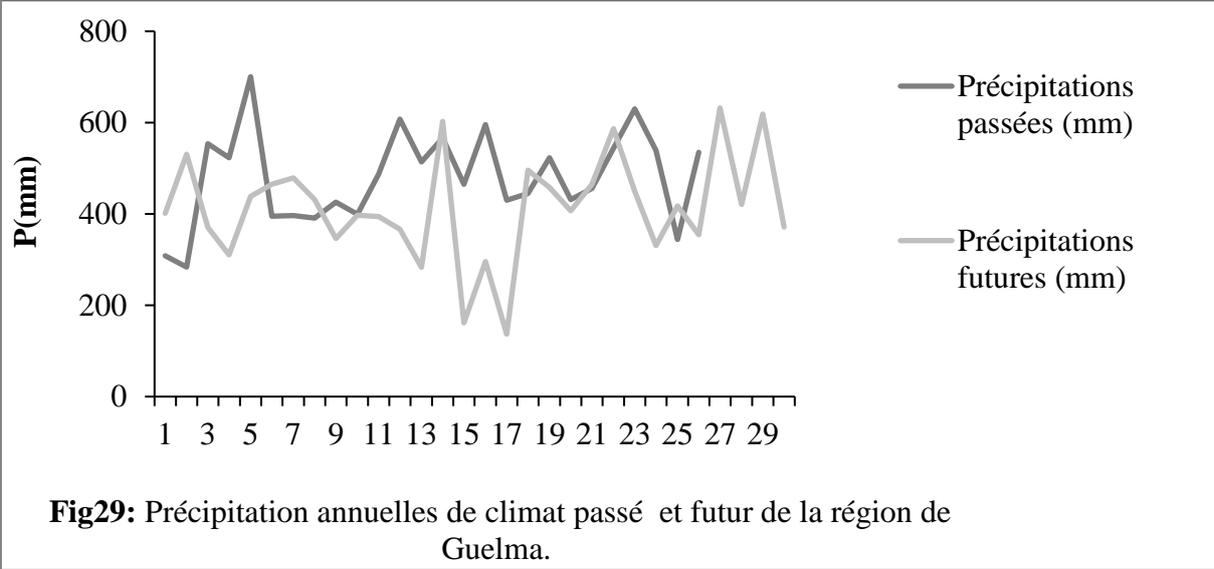
Tableau 8: Températures maximales interannuelles selon les scénarios passé et futur dans les trois régions d'étude.

Régions Scénario	Paramètre statistique	Guelma	Médéa	Tiaret
Passé	Moyenne	22.2	22	25.4
	Ecart type	0.88	0.9	0.91
Futur	Moyenne	24.9	24.6	28.3
	Ecart type	0.97	0.94	0.97

2.2. Précipitations

2.2.1. Valeurs annuelles

Les représentations graphiques des précipitations passées et futures indiquent une régression des précipitations avec quelques exceptions dans chaque région (Fig.29, Fig. 30, Fig. 31). Le caractère aléatoire de la pluviométrie est plus prononcé dans le climat futur en comparaison avec le climat passé. Des périodes de sécheresses sont bien visibles, elles sont plus fréquentes et même plus sévères.



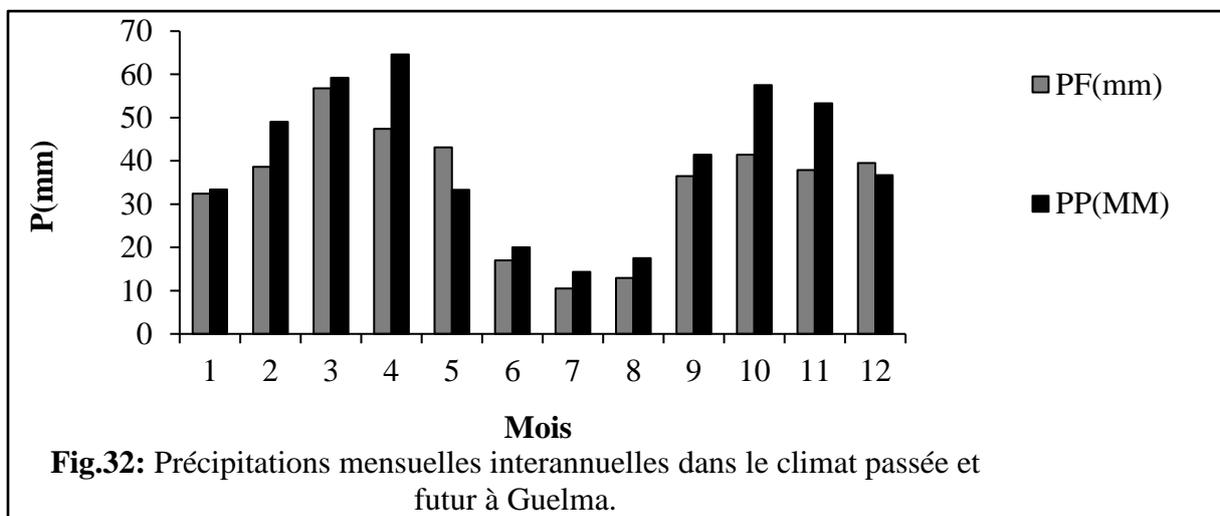
2.2.2. Valeurs mensuelles interannuelles

Les précipitations mensuelles interannuelles futures générées par du modèle Arpège-Climat sont plus faibles que celles du passé mis à part certaine exception.

A Guelma, la précipitation mensuelle interannuelle diminue particulièrement pendant octobre, novembre, février et avril et augmente légèrement en mai (43mm contre 33.3mm) et décembre (39.5mm contre 36.7mm) (Fig.32).

A Médéa les précipitations mensuelles interannuelles diminuent pendant toute l'année dans le climat futur en comparaison avec le climat actuel, mais considérablement pendant les mois février, avril, octobre et novembre (Fig.33). De légères augmentations futures sont projetées pour les mois de mai (63.3mm contre 60mm) et décembre (67.9mm contre 62.8mm).

A Tiaret, le climat futur projette des diminutions importantes le long de l'année en comparaison avec le climat passé, particulièrement concernant janvier (32.4mm contre 62.7mm) et février (38.6mm contre 79.4mm). Une légère amélioration des précipitations est calculée sur le mois de mai (43.1mm contre 38.7mm) (Fig.34).



2.2.3. Valeurs interannuelles

Dans les trois régions d'étude, la précipitation interannuelle régresse entre scénario passé et futur (Tableau 9). Ceci concerne particulièrement Guelma et Tiaret où la diminution avoisine respectivement pour les deux régions les 70mm et 100mm. A l'inverse, les écarts types augmentent dans les trois régions.

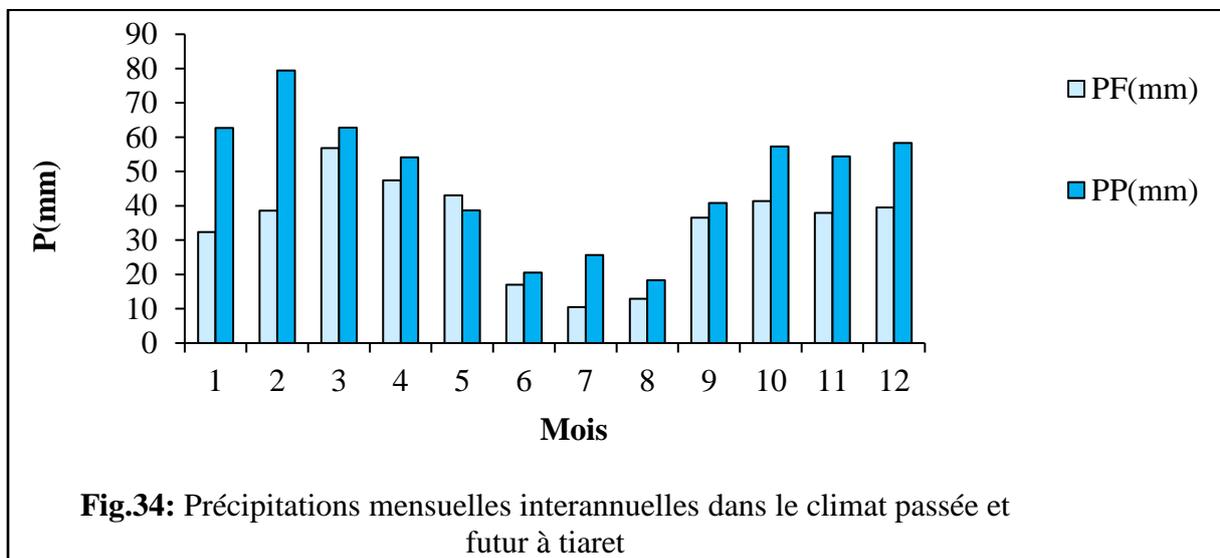
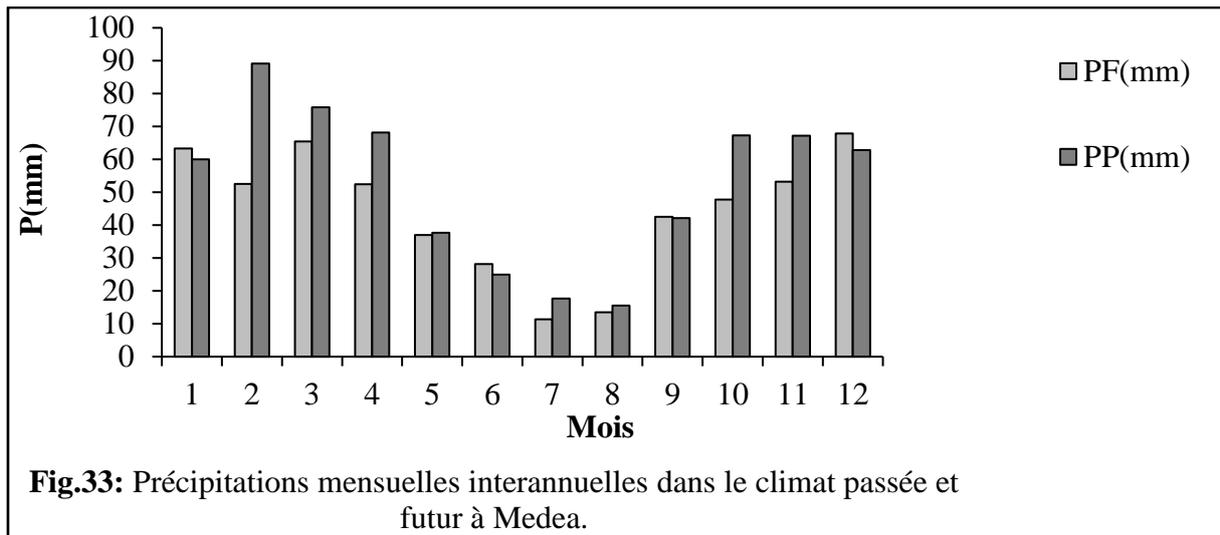


Tableau 9: Précipitation interannuelles selon les scénarios passé et futur dans les trois régions d'étude.

Régions / Scénario	Paramètre	Guelma	Médéa	Tiaret
Passé	Moyenne (mm)	480.3	628.6	572.9
	Ecart type (mm)	100.8	117.1	122.7
Futur	Moyenne	413.9	535.1	477.4
	Ecart type (mm)	116.4	124.7	140.9

2.3. Discussion

La comparaison entre les deux scénarios passé et futur indique l'élévation de la température minimale et maximale entre climat passé et futur dans les trois régions d'étude, particulièrement à Tiaret.

A l'inverse et dans toutes les régions étudiées, les précipitations futures sont inférieures à celle du climat passé.

Les projections futures sur l'Afrique du nord indiquent des changements considérables dans la moyenne, la variabilité et les extrêmes de températures et de précipitations au cours du 21^{ème} siècle, faisant de la région l'un des principaux « points chauds » du changement climatique (**Diffenbaugh and Giorgi, 2012 ; Schillig et al., 2020**). En matière de températures, un signal de réchauffement annuel et saisonnier est systématiquement projeté par divers modèles de circulation globale (GCM) et générale (RCM) et (**Paeth et al, 2009 ; Patricola et Cook, 2010 ; Bucchignani et al., 2018**) et les températures sont projetées pour augmenter de 4,5°C en été et de 2,5° en hiver dans le scénario optimiste « Representative Concentration Pathways » (RCP) (4.5) (**Christensen et al., 2013**). Le modèle GCM CMIP5 ENSEMBLE projette une diminution des précipitations d'environ -10% à - 20% (**IPCC, 2013**), avec une baisse de la pluviométrie hivernale, des étés plus secs et une augmentation des sécheresses (**Giorgi and Lionello, 2008, Hertig et Trambly, 2017**).

3. Estimation du changement climatique à l'échelle régionale Nord Algérien

3.1. Températures

Le calcul des anomalies indique une élévation des températures minimale considérable pendant toute l'année.

A Guelma le réchauffement moyen concernant les températures minimales est de +2.6°C (Fig. 35). En matière de saison, la valeur la plus élevée concerne l'automne (+2.9°C) et la plus faible concerne l'hiver (+2.2°C).

A Médéa, les anomalies calculées sur les températures minimales entre scénarios futur et passé sont de $+2.5^{\circ}\text{C}$ (Fig. 36). L'automne enregistre l'anomalie le plus élevée ($+2.9^{\circ}\text{C}$) contre la valeur la plus faible calculée sur l'hiver ($+2.1^{\circ}\text{C}$).

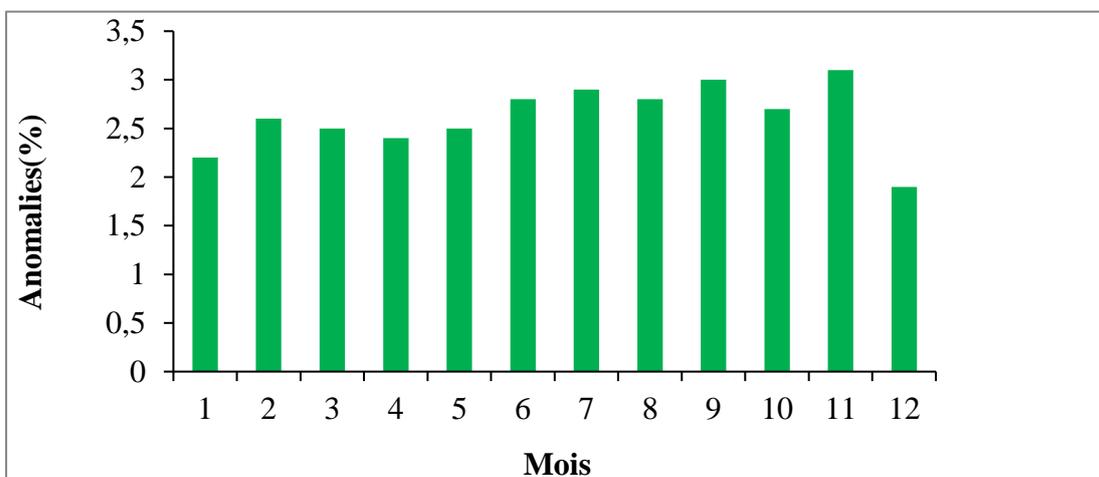


Fig.35: Anomalies calculées sur les températures minimales de la région de Guelma.

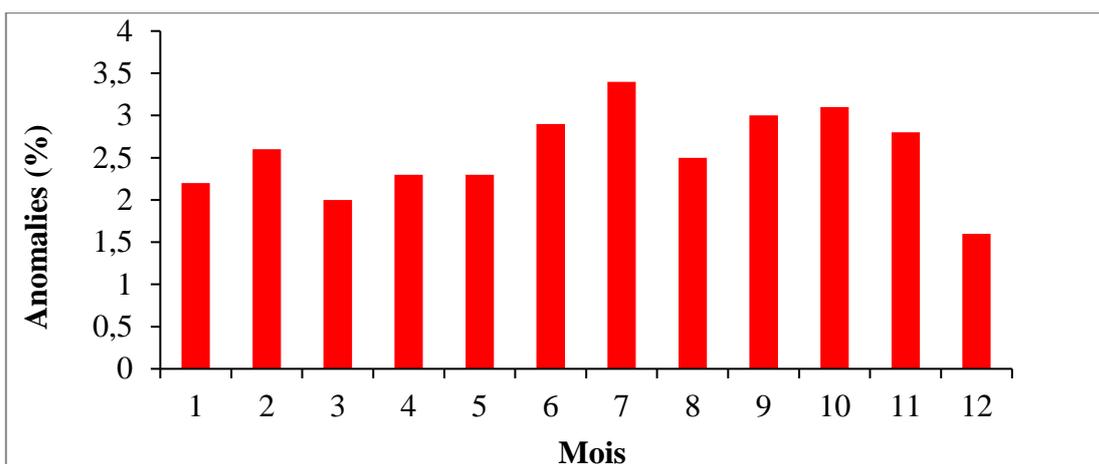
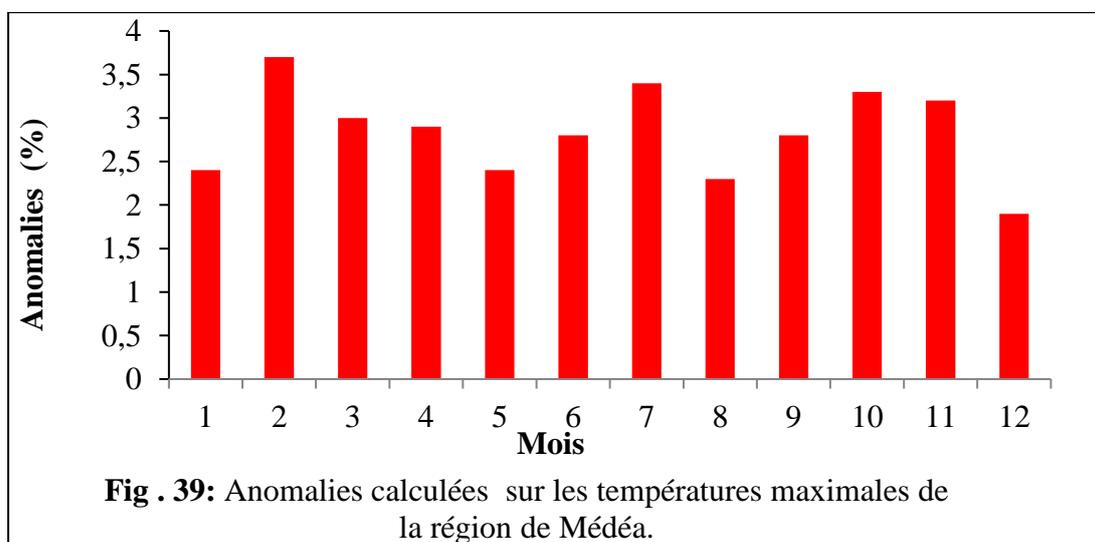
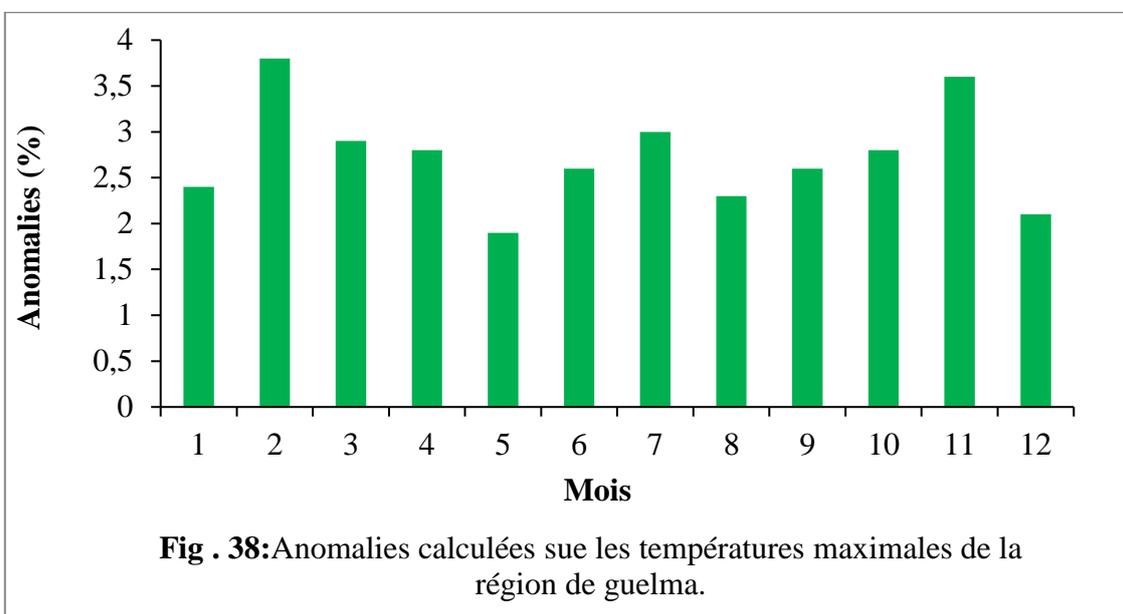
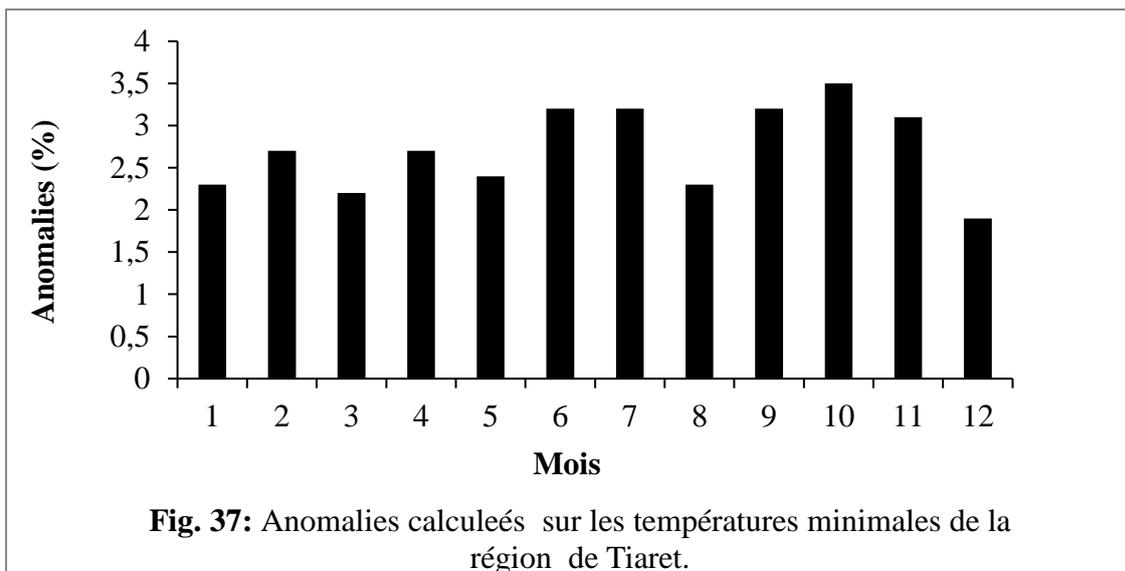
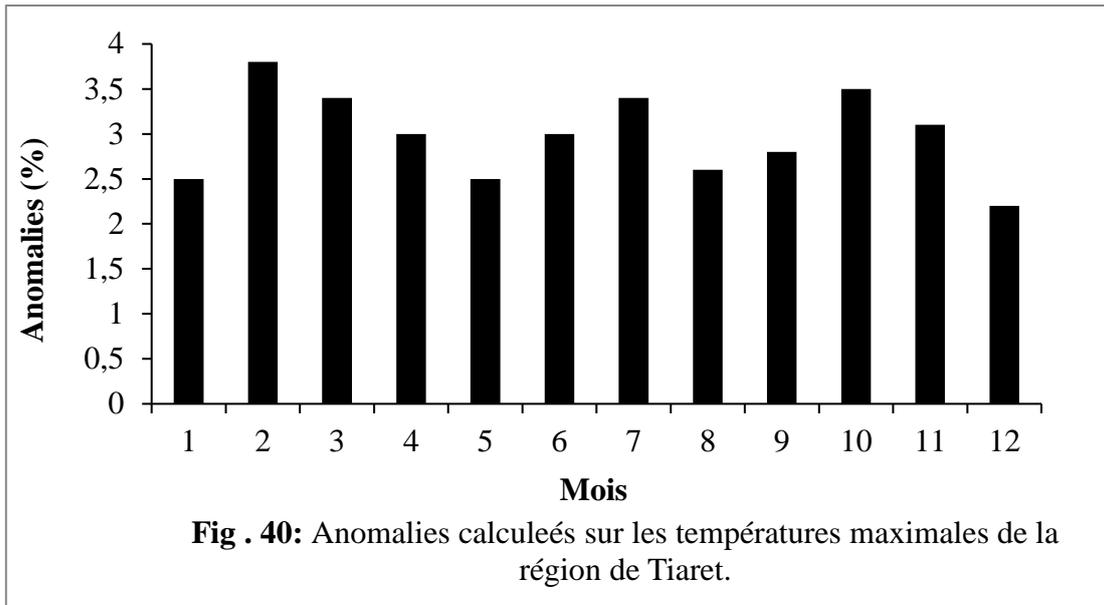


Fig.36: Anomalies calculées sur les températures minimales de la région de Médéa.

A Tiaret, la valeur de l'anomalie calculée sur le même paramètre est de $+2.7^{\circ}\text{C}$ avec la valeur la plus élevée calculée sur l'automne ($+3.2^{\circ}\text{C}$) et la plus faible sur l'hiver ($+2.3^{\circ}\text{C}$) (Fig. 37).

Concernant les températures maximales, l'anomalie moyenne calculée entre scénarios futur et passé progresse en allant de l'Est vers l'Ouest, avec respectivement 2.7°C , $+2.8^{\circ}\text{C}$ et $+2.9^{\circ}\text{C}$ pour Guelma, Médéa et Tiaret. Dans les trois régions, l'anomalie la plus élevée concerne l'automne ($+3^{\circ}\text{C}$, $+3.1^{\circ}\text{C}$, $+3.1^{\circ}\text{C}$) respectivement à Guelma, Médéa et Tiaret. Le minimum est calculé sur le printemps à Guelma ($+2.5^{\circ}\text{C}$) et sur l'hiver à Médéa et Tiaret ($+2.6^{\circ}\text{C}$ et $+2.8^{\circ}\text{C}$) (Fig. 38, Fig. 39, Fig. 40).





3.2. Précipitations

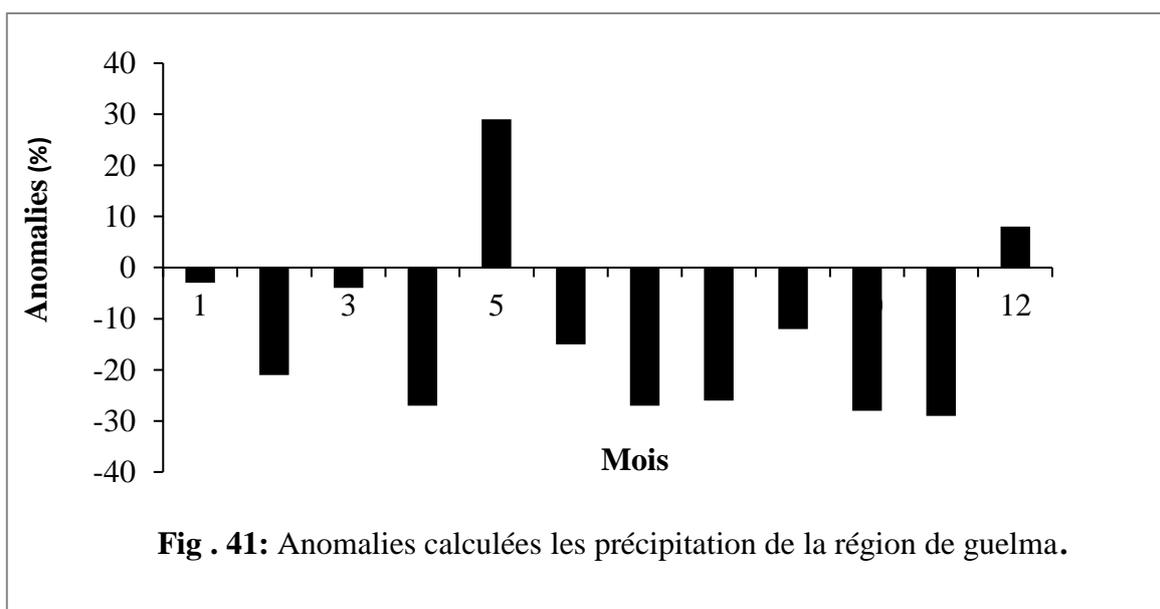
Le calcul des anomalies sur les précipitations indique une régression de la pluviométrie à l'échelle régionale Nord Algérien.

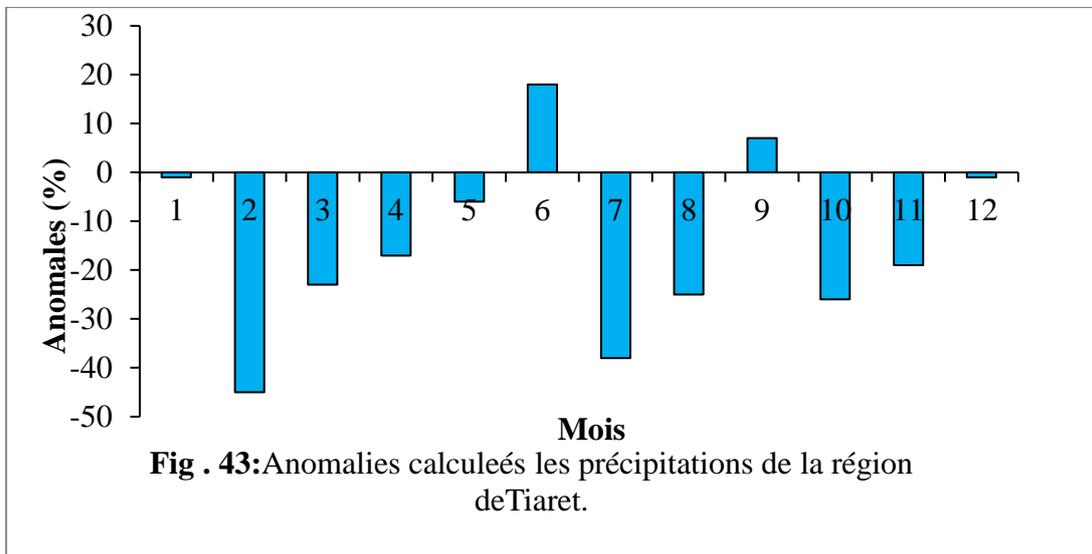
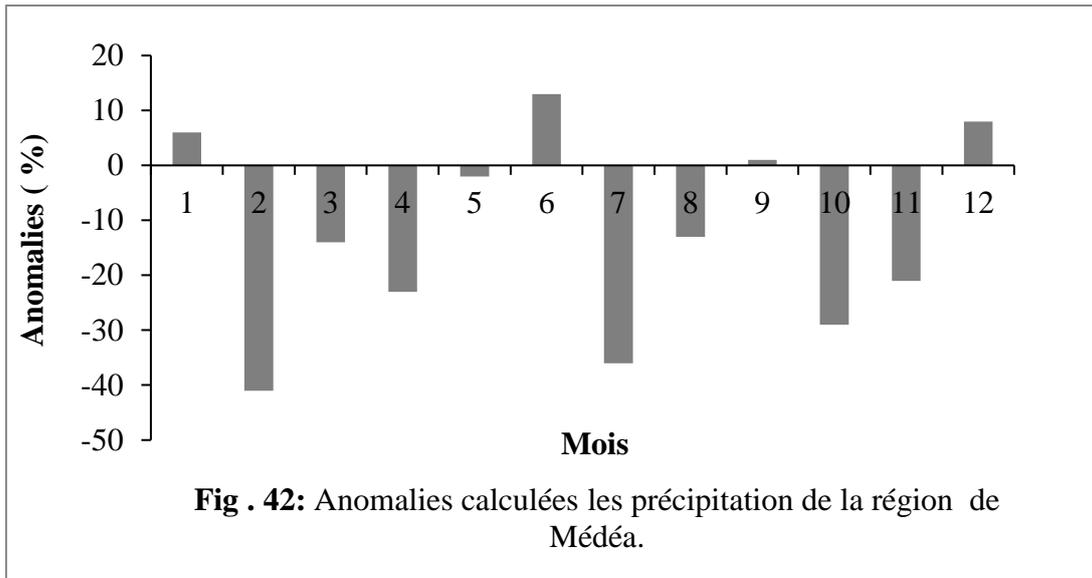
L'anomalie moyenne est -12.9%, -12.6% et - 14.7% respectivement de l'Est vers l'Ouest.

A Guelma, l'automne et l'été indiquent la diminution la plus élevée (-23% et -22%) contre la valeur la plus faible au printemps (-0.7%) (Fig. 41).

A Médéa, l'anomalie la plus élevée concerne l'automne (-16.6%) contre seulement -9% calculée sur l'été (Fig. 42).

A Tiaret, la régression concerne toutes les saisons (Fig. 43).





3.3. Discussion

L'estimation du changement climatique à l'échelle régionale Nord Algérien à travers les trois régions étudiées ; Guelma, Médéa et Tiaret, indique une augmentation conséquente des températures futures avec un gradient croissant de l'Est vers l'Ouest.

Le réchauffement concernant les températures minimales est indiqué à son maximum en automne et à son minimum en hiver pour les trois régions. Le calcul sur les températures maximales montre un maximum de réchauffement en automne pour les trois régions et un minimum au printemps à Guelma et en hiver à Médéa et Tiaret.

Le calcul des anomalies indique une diminution des précipitations dans toutes les régions vers la fin du 21^{ème} siècle. La régression est à son maximum en automne à Guelma et

Médéa et à son minimum au printemps à Guelma et en été à Médéa. A Tiaret la diminution des précipitations futures est la plus importante et concerne toutes les saisons de l'année.

Les projections futures (GCM Ensemble), indiquent une augmentation de la température moyenne d'environ 4 °C en été et environ 2,5 °C en hiver d'ici la fin du XXI^e siècle sous le scénario RCP4.5 et environ 7 °C en été et 4 °C en été et en hiver selon le scénario pessimiste RCP8.5 (**Christensen et al, 2013**).

Concernant les précipitations, les modèles prévoient une diminution des précipitations d'environ – 10 % à – 20 % pour une grande partie de l'Afrique du Nord (GIEC 2013). La tendance à la baisse se confirme globalement (**Ozturk et al, 2018 ; Trambly et col, 2018 ; Dubrovský et al, 2014 ; Hertig et al, 2013**).

Conclusion

En conclusion, et afin de mieux clarifier l'objectif de notre étude, nous mentionnons que notre étude s'est concentrée sur l'évolution des températures et des précipitations dans le passé et dans le futur, ainsi que sur l'estimation du changement climatique futur à l'échelle Nord Algérien. L'étude a été menée dans trois régions différentes (Guelma à l'est, Médéa au centre de l'Algérie et Tiaret à l'ouest) afin de couvrir l'étendue géographique de l'Algérie. L'analyse du changement climatique dans le temps s'est basée sur trois facteurs, à savoir les précipitations et les températures minimales et maximales du passé et du futur, en calculant les moyennes annuelles.

L'analyse du climat du passé (1980-2005) a montré une tendance à la hausse des températures minimales et maximales dans les trois zones d'études, mais plus prononcée à Guelma. Les températures minimales et maximales sont assez élevées, avec deux saisons bien distinctes ; une saison sèche et chaude s'étalant de avril à octobre avec une précipitation moyenne ne dépassant pas les 30mm, une température maximale pouvant aller jusqu'au 39°C et des températures minimales qui peuvent atteindre les 17°C, et une saison assez froide et faiblement humide sur le reste de l'année. La pluviométrie dans les trois régions d'étude est faible et très irrégulière dans l'espace et dans le temps.

La comparaison entre les scénarios passés et futurs indique une augmentation des températures minimales et maximales entre le passé et le futur dans les trois régions d'étude, particulièrement prononcée à Tiaret. A l'inverse dans toutes les régions d'étude, les précipitations futures sont plus faibles que celle du scénario passé, dans les trois composantes étudiées ; annuelles, mensuelles interannuelles et interannuelles.

Le calcul des anomalies indique une augmentation significative des températures minimales tout au long de l'année ; +2.5°C à Guelma, +2.6°C à Médéa et +2.7°C à Tiaret. Ces augmentations sont au maximum en automne et minimum en hiver dans les trois régions d'étude.

De même, les anomalies indiquent un réchauffement concernant les températures maximales et l'anomalie moyenne calculée entre scénarios futur et passé progresse en allant de l'Est vers l'Ouest, avec respectivement +2.7°C, +2.8°C et +2.9°C pour Guelma, Médéa et Tiaret. Dans les trois régions, l'anomalie la plus élevée concerne l'automne et la plus faible est calculée sur le printemps à Guelma et sur l'hiver à Médéa et Tiaret.

Les anomalies indiquent une décroissance des précipitations futures à l'échelle Nord Algérien. Ceci est d'autant plus sévère en allant de l'Est vers l'ouest où la diminution des précipitations avoisine les 15%.

Utilisant les projections du modèle climatique ARPEGE sous le scénario RCP (4.5), la région Nord de l'Algérie, représentées ici respectivement par Guelma, Médéa et Tiaret, semble être potentiellement vulnérables aux changements climatiques futurs. Des études similaires, comprenant d'autres régions et employant une diversité de scénarios seraient d'un grand apport à la thématique et pour servir d'aide à la décision dans divers domaines pour limiter les impacts du changement climatiques en Algérie.

Références bibliographiques

AFNOR. (2002) Environmental Management Systems – Requirements with Guidance for Use. AFNOR Editions.

Broecker, WS. (1975) Climate change: Are we on the verge of pronounced global warming. *Science*: 189, 460-463.

Bryson, RA (1970) Climatic Effects of Atmospheric Pollution .*Glob Effects Environmenta Pol*: 130–138

Bucchignani, E., Mercogliano, P., Rianna, G., Panitz, H.-J. and Montesarchio, M. (2018). High-resolution climate simulations with COSMO-CLM over Italy: performance evaluation and climate projections for the 21st century. *International Review of Climatology*, 38(4), 1684-1706

Burroughs, WJ. (2001) *Climate Change: A Multidisciplinary Approach*; First Edition. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 298p

Chourghal, N. (2016). Impacts du changement climatique sur les ressources en eau dans la région méditerranéenne : une revue. *Durabilité*, 8(12), 1229.

Chourghal, N., El Adlouni, S., Bobée, B. et Ouarda, T.B.M.J. (2016). Impacts du changement climatique sur les ressources en eau dans la région méditerranéenne : une revue. *Durabilité*, 8(12), 1229

Cook, K.H., Vizy, E.K., et La Plante, M. G. (2016). Changement climatique et variabilité climatique en Afrique subsaharienne : un examen des tendances et des impacts actuels et futurs sur l'agriculture et la sécurité alimentaire. *Environnement, développement et durabilité*, 18(3), 635-657.

Christensen, J. H., Kanikicharla, K. K., Aldrian, E., An, S. I., Cavalcanti, I. F. A., de Castro, M., ... & Zou, L. (2013). Climate phenomena and their relevance for future regional climate change. In *Climate change 2013 the physical science basis: Working group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* (pp. 1217-1308). Cambridge University Press.

Daget, Pierre. (1977). *Les Méthodes de la Phytosociologie*. Masson.

Déqué, Michel., Jean-Pierre Piedelievre. (1995). "Simulation of Climate Change." *Climate Dynamics* 11 (2-3): 135-150.

Déqué, Michel., Pierre Marquet, and Jean-François Mahfouf. (1994). "Climate Models for Seasonal Forecasting." *Climate Dynamics* 10 (2-3): 105-117.

Diffenbaugh, N.S., Giorgi, F. (2012). Climate change hotspots in the CMIP5 global climate model ensemble. *Climate Change*, 114(3-4), 813-822.

Donat, MG., Lowry, AL., Alexander, LV., O'Gorman, PA., Maher, N. (2013). More extreme precipitation in dry and humid regions of the world. *Nature Climate Change*, 3(1), 52-58 .

Dubrovský, M., Hayes, M., Duce, P., Trnka, M., Zalud, Z. and Stastna, M. (2014). Multi-GCM projections of future drought and climate variability indicators for the Mediterranean region. *Regional Environmental Change*, 14 (5), 1907-1920.

Ehrwein J. (1984). Notice explicative de la carte de reconnaissance des sols d'algerie au i/200.000e feuille de bône n° 9. Publication de l'inspection générale de l'agriculture. Ed. La Typo-Litho » et Jules Carbone! Réuniones, Alger, 18 pages.

Elsharkawy, H. and Elmallah, M. (2016). Impacts of climate change on water resources in Egypt: the Nile basin as a case study. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 19(2), 251-264.

Filahi, S., Kabbage, M., Ghouizi, R. and Laouar, M. (2017). Assessment of the impacts of climate change on water resources in Morocco: case of the Bouregreg basin. *Sustainable Water Resources Management*, 3(2), 147-160

Forland, E., Hanssen-Bauer, I., Nordli, Ø. and Skartveit, A. (1996). Temperature and precipitation variations in Norway during the current century. *Climate Change*, 34(3-4), 371-382.

Gallopín, G., Hammond, A., Raskm, P., Swart, R. (1997). Branch Points. Pole Stat Series Report 7, Stockholm Environment Institute, Boston, MA

Gebhart, R. (1967). on the significance of the shortwave CO₂-absorption in investigations concerning the CO₂-theory of climatic change. *Theo Appl Climato* 15: 52-61. doi:10.1007/BF02319110.

Gibelin, A. L., and Michel Déqué. (2003). "Climate Variability and Predictability." *Climate Dynamics* 20 (4): 383-400.

Giorgi, F., and Lionello, P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and planetary change*, 63 (2-3), 90-104.

(GIEC, 2013)

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). *Changement climatique 2014 : rapport de synthèse. Contribution des groupes de travail I, II et III au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* [édité par l'équipe éditoriale principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer]. GIEC, Genève, Suisse, 161 p.

GIEC. (2018). Réchauffement climatique de 1,5°C. Un rapport spécial du GIEC sur les impacts d'un réchauffement climatique de 1,5°C au-dessus des niveaux préindustriels et les trajectoires mondiales d'émissions de gaz à effet de serre associées, dans le contexte du renforcement de la réponse mondiale à la menace du changement climatique, du développement durable et des efforts d'éradication de la pauvreté. . La presse de l'Université de Cambridge.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). *Changement climatique 2022 : Dernier rapport du groupe de travail II du GIEC*. In: *Annales des Mines-Responsabilité et environnement*. Cairn/Softwin, 2022. p. 17-20.

Hertig, E., and Trambly, Y. (2017). Reduction in the regional scale of Mediterranean droughts under past and future climatic conditions. *Global and planetary change*, 151, 36-48.

Hertig, E., Seubert, S. and Jacobeit, J. (2013). Extreme temperatures in the Mediterranean area: past trends and assessments for the future. *Natural Risks and Earth System Sciences*, 13 (11), 2613-2637.

IPCC (2007) *Climate change 2007: the physical science basis, Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, New York

IPCC. (2018). Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Cambridge University Press.

Lelieveld, J., Hadjinicolaou, P., Kostopoulou, E., Chenoweth, J., El Maayar, M., Giannakopoulos, C., & Tyrlis, E. (2016). Changement climatique et impacts en Méditerranée orientale et au Moyen-Orient. *Changement climatique*, 1-23.

Levy, David. (1979). *the Economics of Liberty*. University Press.

Manabe, S., Bryan, K. (1969) Climate calculations with a Combined Ocean-Atmosphere Model. *J Atmos Sci* 26: 786-789.

Manabe, S., (1969) Climate and the ocean circulation: I. The atmospheric circulation and the hydrology of the earth's surface. *Mon Wea Rev* 97: 739-774.

Mavi, HS., Tupper, GJ. (2004) *Agrometeorology Principles and Applications of Climate Studies in Agriculture*. Food Products Press, New York, 364p

Meddi, M. and Talia, M. (2008). Regional climate change projections for the Mediterranean region. *Climate Change*, 87 (Suppl 1), S21-S42.

Nashwan, M.S., Zeroual, A., and Saadi, A. (2019). Assessment of the impacts of climate change on water resources in the Maghreb region: case of the Moulouya basin, Morocco. *Water Resources Management*, 33(2), 701-715

Ozturk, T., Ceber, Z.P., Türkeş, M. and Kurnaz, M.L. (2018). Projections of climate change in the Mediterranean basin using results from a downscaled global climate model. *Climatic dynamics*, 51 (3), 903-927.

Paeth, H., Friederike, E., Gaitan, S., Castro, M., Kotlarski, S., Jacob, D., ... & Soares, W. (2009). Progress in regional downscaling of West African precipitation. *Climate Change*, 93(3-4), 471-487.

Patricola, CM and Cook, KH (2010). The climate of North Africa at the end of the 21st century: an integrated application of regional and global climate models. *Climate Change*, 99(3-4), 473-487.

Plan blue. "There is a multi-faceted risk for the Mediterranean." Notes du Plan Bleu no. 28, 2015

Ramade, F. (2002). Encyclopedic Dictionary of Ecology and Environmental Sciences., DUNOD, 2nd edition, Paris. 1075p.

Ramanathan, V., Cicerone, RJ ., Singh ,HB., Kiehl, JT. (1985). Trace Gas Trends and Their Potential Role in Climate Change. *J Geophy Res* 90: 5547-5566. doi: 10.1029/JD090iD03p05547.

Robinson, E., Robbins, RC. (1970). Gaseous Atmospheric Pollutants from Urban and Natural Sources. *Glob Eff Environment Poll* 50-66.

Salinger, MJ., Stigter, CJ., Dasc, HP. (2000). Agrometeorological adaptation strategies to increasing climate variability and climate change. *Agri For Meteorolo* 103: 167-184. doi:10.1016/S0168-1923(00)00110-6

Schillig, M., Hense, A. et Ahrens, B. (2020). Projections du changement climatique pour la région méditerranéenne à partir d'un ensemble de modèles climatiques régionaux. *Dynamique climatique*, 54(5-6), 2347-2366.

Schonwiese, C.-D. and Rapp, J. (1997). Changes in general circulation in Europe from model simulations with increasing greenhouse gas concentrations. *Theoretical and applied climatology*, 57(1-2), 107-119

Smagorinsky, J., Manabe ,S., Holloway, JL. (1965). Numerical results from a nine-level general circulation model of the atmosphere 1. *Monthly Weather Review* 93: 727-768.

Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., & Miller, H. L. (Eds.). (2007). *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

Tramblay, Y., Ruelland, D., Somot, S., Bouaicha, R. and Servat, E. (2018). Simulations of the high-resolution Med-CORDEX regional climate model for hydrological impact studies: a first evaluation of the ALADIN climate model in Morocco. *Climatic dynamics*, 51(3), 1239-1252. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3239-8>.

Watts, RG. (1980). Climate models and CO₂-induced climatic changes. *Climatic Change* 2: 387-408. doi: 10.1007/BF00137207.

Zeroual, A., Ghedira, H., Zitouna-Chebbi, R. and Nashwan, MS. (2019). Assessment of the impacts of climate change on water resources in North Africa: case study of Tunisia. *Journal of Water and Climate Change*, 10(2), 365-384.

Ziani A. (2021). Contribution à la cartographie du couvert végétal de la région de Tiaret-Tissemsilt. Thèse de magister, univ. Tlemcen, 65 pages.

Résumé:

Cette étude vise à étudier l'évolution des températures et des précipitations dans le passé et le futur, ainsi qu'à estimer le changement climatique futur à l'échelle Nord Algérien. Trois régions ont été choisies pour représenter la zone d'étude : Guelma à l'Est, Médéa au Centre et Tiaret à l'Ouest. Des séries climatiques de températures minimales, maximales et précipitations représentant les trois régions ont été générées par le modèle climatique ARPEGE- Climat V6 sous le scénario RCP 4.5. L'analyse du climat du passé indique une tendance au réchauffement dans les trois régions d'étude. L'étude du climat futur et l'estimation du changement climatique futur a montré un réchauffement conséquent et une régression des précipitations avec un gradient croissant de l'Est vers l'Ouest.

ملخص :

تهدف هذه الدراسة إلى دراسة تطور درجات الحرارة وهطول الأمطار في الماضي والمستقبل، وكذلك تقدير التغير المناخي المستقبلي على نطاق الشمال الجزائري. وتم اختيار ثلاث مناطق لتمثل منطقة الدراسة: قلمة بالشرق، المدينة بالوسط، وتيارت بالغرب. تم إنشاء سلسلة مناخية لدرجات الحرارة الدنيا والقصى وهطول الأمطار التي تمثل المناطق الثلاث بواسطة نموذج المناخ -ARPEGE Climat V6 ضمن سيناريو RCP 4.5. يشير تحليل المناخ الماضي إلى اتجاه الاحترار في مناطق الدراسة الثلاث. أظهرت دراسة المناخ المستقبلي وتقدير تغير المناخ المستقبلي ارتفاعاً كبيراً في درجات الحرارة وتراجعاً في هطول الأمطار مع انحدار متزايد من الشرق إلى الغرب.

Summary :

This study aims to study the evolution of temperatures and precipitation in the past and the future, as well as to estimate future climate change on a northern Algerian scale. Three regions were chosen to represent the study area: Guelma in the East, Médéa in the Center and Tiaret in the West. Climatic series of minimum, maximum temperatures and precipitation representing the three regions were generated by the ARPEGE-Climat V6 climate model under the RCP 4.5 scenario. Analysis of past climate indicates a warming trend in the three study regions. The study of the future climate and the estimation of future climate change showed a significant warming and a regression of precipitation with an increasing gradient from East to West.