

Université SAAD DAHLAB-BLIDA 1

Faculté de technologie

Département des Sciences de l'eau et environnement



Mémoire de Master

Filière : **Hydraulique**

Spécialité : **Ressources Hydrauliques**

Thème

**Evaluation et cartographie de l'évapotranspiration sous l'effet des
changements climatiques dans le bassin du côtier Algérois 02A**

Présenté par

ESSAIDI NASSIMA

Devant le jury composé de :

M. Remini Boualam

Président

M. Merabti Abdelaaziz

Examineur

Mme. TAIBI Sabrina

Promotrice

Promotion 2023-2024

Remerciement

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord. Ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu voir le jour sans l'aide de l'encadrement de Mme "Taibi-Feddal Sabrina". Je la remercie pour la qualité de son encadrement et ses efforts exceptionnels. Plus important encore, je la remercie pour sa patience et ses réflexions mises.

Je remercie la cheffe de département Mme. Ben Kaci et l'ensemble des enseignants.

De plus, je tiens à remercier ma famille mes oncles et ma tante ainsi que mes amis qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de ce parcours.

Enfin et surtout, je tiens à me remercier d'avoir cru en moi.

Dédicace

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers.

A MA CHÈRE MÈRE

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles, ma mère que j'adore BOUCHERITE HAMIDA

A MON BON PÈRE

A l'homme de courage et de force, à celui qui a toujours ÉTÉ présent, qui m'a appris que les vraies valeurs de la vie à celui qui m'a soutenu en toutes circonstances, mon père ESSAIDI AHMED.

A MON CHER FRÈRE ET À MA SŒUR

A ceux qui m'ont donné joie et bonheur permanent, amour et chaleur, et d'être toujours là pour moi à me soutenir et m'encourager à avancer et à donner le meilleur de moi-même, ma sœur MARWA et mon frère MOUNIR.

À l'âme endormie sous le sol, mon grand-père RABAH... que dieu ait pitié d'une âme qui était comme mon paradis sur terre.

A ceux qui m'ont donné joie et bonheur permanent, amour et chaleur, et d'être toujours là pour moi à me soutenir et m'encourager à avancer et à donner le meilleur de moi-même, ma sœur MARWA et mon frère MOUNIR.

Merci à tous ceux qui m'ont blessé ou même trahi... Grâce à toi, aujourd'hui je suis là et je suis ça... Merci parce que grâce à toi je suis tombé amoureux de moi-même.

Sans oublier, ma cousine qui a participé à la rédaction de cette dédicace, pour sa motivation pour moi depuis que j'ai commencé ce projet.

ملخص

تتناول هذه الدراسة تأثير تغير المناخ على التبخر والنتح في الحوض الساحلي للجزائر باستخدام النموذج الاقليمي CNRM مع سيناريوهات SSP4.5 , SSP8.5 لمشروع CMIP6. تشير النتائج الى زيادة متوقعة في درجة الحرارة من 1.4 الى 4 درجات مئوية للفترات المستقبلية (2031-2060) و(2051-2080) بالنسبة للفترة الاساس(1981-2010). والتي من المرجح ان تؤدي الى زيادة في التبخر بنسبة 7.6 الى 18.5 بالمئة وتؤثر هذه الزيادة بشكل رئيسي على اشهر الصيف فان نتائج هذه الدراسة يمكن ان تكون اساسا لتحسين وحماية الموارد المائية في المنطقة.

الكلمات المفتاحية

الاحتباس الحراري, التبخر والنتح, نموذج CMIP6, ساحل الجزائر العاصمة, اتجاه التغير.

Résumé

Cette étude examine l'impact du changement climatique sur l'évapotranspiration dans le bassin côtier Algérois en utilisant le modèle CNRM sous l'effet de deux scénarios climatiques SSP4.5 et SSP8.5 du projet CMIP6. Les résultats indiquent une augmentation prévue des températures moyennes de 1,8 à 3,6°C pour les périodes futures (2031-2060), (2051-2080). Ce qui entrainera probablement une augmentation de l'évapotranspiration de 7,6 à 18,5%. Cette augmentation touche principalement les mois de l'été Les résultats de cette étude peuvent servir de base pour améliorer la gestion et la protection des ressources en eau de la région.

Mots clé :

Réchauffement climatique, évapotranspiration, modèle CMIP6, bassin côtier Algérois, tendance.

Abstract:

This study examines the impact of climate change on evapotranspiration in the Algiers coastal basin using the CNRM regional model with the SSP4.5 and SSP8.5 scenarios of the CMIP6 project. The results indicate a predicted increase in average temperatures of 1,8 to 3,6°C for future periods (2031-2060), (2051-2080). Which will probably lead to an increase in evapotranspiration of 7,6 to 18,5%. This increase mainly affects the summer months. The results of this study can serve as a basis for improving the management and protection of the region's water resources.

Keys words:

Global warming, evapotranspiration, model CMIP6, Algiers coastal basin, trend.

Table de matières

Résumé

Introduction générale

1	Réchauffement climatique	2
1.1	Définition :	2
1.2	Causes et Conséquences du réchauffement climatique	3
1.2.1	Les causes du réchauffement climatique.....	3
1.2.2	Les conséquences du réchauffement climatique :	3
1.3	Variabilité climatique :	3
1.3.1	Variabilité climatique globale :	4
1.3.2	Variabilités climatiques dans le bassin méditerranéen :	5
1.3.3	Variability Climatique En Algérie	7
1.4	Projections climatiques globales	8
1.5	Les Modelés climatiques :	13
1.5.1	Modèle climatique globale :	13
1.5.2	Modèle climatique régional :	13
1.6	Modèle Climatique CMIP6	13
1.7	L'évapotranspiration :	15
1.7.1	Définition	15
1.7.2	Méthode de calcul l'évapotranspiration :	16
2	La région hydrographique Algérois-Hodna-Soummam :	22
2.1	Situation Géographique De Côtiers Algérois :	22
2.2	Le relief.....	25
2.3	Climat	27
2.5	Ressources en eaux	31
2.5.1	Les eaux conventionnelles	31
2.5.2	Les eaux non conventionnelle	32
3	Matériel.....	36
3.1	Données climatiques :	36

3.2	Système d'information géographique Arc-Gis.....	39
3.3	Méthodes :	40
3.3.1	Formule de Thornthwaite (1948)	40
3.3.2	Tests statistiques de pettitt.....	40
4	Analyse de la variabilité des températures et des ETP	44
4.1	Évaluation des modèles climatiques CMIP6	46
4.2	Projections climatiques.....	49
4.2.1	Projection des températures future à Moyen terme (2031-2060).....	49
4.2.2	projections des ETP à moyenne terme	54
4.2.3	Projection de température à long terme (2051-2080).....	57
4.2.4	Projection de ETP à long terme (2051-2080).....	61
	Conclusion générale.....	64
	Référence bibliographique.....	65

Liste Des Tableaux

Tableau I. 1 Les Scenarios Des Emissions De Chaque Ssp (Giec2023).....	12
Tableau I. 2 Les Niveaux De Réchauffement Correspondants Chaque Ssp (Giec 2023)...	12
Tableau I. 3les Modèle Climatique Régionaux Cmp6 (Author 2020).....	13
Tableau I. 4 Coefficient D'évaluation Des Durées Théoriques D'insolation Pour La Formule De (L'anrh, 2002).....	19
Tableau II. 1 Température Moyenne Algie (1950-2016) (Source Anrh).....	28
Tableau II. 2: Pluit Moyenne Algie (1950-2016) (Source Anrh).	28
Tableau II. 3: Caractéristiques Du Réseau Hydrographique. (Source Ammari.A2012)....	30
Tableau II. 4: Unités Aquifère (Source Pne2010).....	31
Tableau II. 5: Les Listes Des Barrages De Côtiers Algérois. (Source Anbt).....	32
Tableau II. 6: Usines De Dessalement De L'algérois 2a.....	32
Tableau II. 7: Station De Traitement Des Eaux Usées (Source : Mre 2009).....	33
Tableau III. 1: Coordonnée Géographique De Station Climatique (Onm).....	37
Tableau III. 2 Modelés Climatiques Régionaux Cmp6.....	39
Tableau IV. 1les Cinq Modèles Valide Cmp6.....	46
Tableau IV. 2 Le Biais Estime Entre Les Températures Observées Et Simulées Au Cours De La Période De Référence (1981-2010).....	48
Tableau IV. 3: Le Biais Estime Entre Les Températures Historique Et Future (2031-2060).....	51
Tableau IV. 4le Biais Estime Entre Etp Historique Et Future (2031-2060)	56
Tableau IV. 5 Le Biais Estime Entre La Température Simulée Historique Et Future (2051-2080).....	59
Tableau IV. 6 Le Biais Simulée D'etp Historique Et Future (2051-2080).....	63

Liste Des Figure

Figure I. 1 Changement Simulé Pour Un Réchauffement Mondial De 1.5 A 4°C (Giec 2023).	2
Figure I. 2 Scénarios D'émissions De Ges (2000-2100) (Giec, 2007).....	9
Figure I. 3 Les Scénarios Climatiques Rcp(Giec).	10
Figure I. 4 Les Scénarios Des Emissions De Giec Ssp _{X,Y} (Giec 2023).....	11
Figure II. 1 Situation Géographique Du Bassin Versant De La Côtiers Algérois.....	23
Figure II. 2: Les Sous Bassins Versants Du Côtiers Algérois 02a.....	25
Figure II. 3: Le Relief Du Côtiers Algérois.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure II. 4: Diagramme Ombrothermique De La Station D'alger.....	28
Figure II. 5: Carte De Réseau Hydrographique (Taïbi, 2024).....	29
Figure III. 1 Situation Géographique De De Station Onm Et Les Points Simulés.....	36
Figure III. 2: Diagramme Schématique De La Conception Cmp6 (Bony, S.2016).....	Erreur ! Signet non défini.
Figure IV. 1 L'évolution Annuelle Du Température Et Etp A Cours De La Période (1950-2016).....	44
Figure IV. 2 Evolution Des Températures Mensuelle Au Cours De La Période 1950-2016 En Utilisant Le Test De Pettitt.....	45
Figure IV. 3 Evolution Des Etp Mensuelle Au Cours De La Période 1950-2016) En Utilisant Le Test De Pettitt.....	46
Figure IV. 4: Représentation De La Température Par Les Modelés Climatiques.....	47

Figure IV. 5: Représentation De Biais Estime Entre Les Températures Observées Et Simulées.....	49
Figure IV. 6 Variabilité Des Temperatures Au Cours De La Période Historique (1981-2010), Et La Période De Projection (2031-2060) Selon Les Ssp4.5 Et Ssp8.5.....	50
Figure IV. 7variation Des Temperatures Au Cours De La Période De Projection (2031-2060) Selon Le Ssp4.5 Et Ssp8.5.....	51
Figure IV. 8évolution Des Temperatures Annuelles Au Cours De La Période 2031-2060 Selon Le Ssp4.5 Et Ssp 8.5 En Utilisant Le Test De Pettitt.....	51
Figure IV. 9 Variation Des Temperatures Selon Les Scenarios Ssp4.5, Ssp8.5 A L'horizon (2031-2060).....	52
Figure IV. 10: Evolution Des Températures Mensuelles Au Cours De La Période 2031-2060 Selon Le Ssp4.5 En Utilisant Le Test De Pettitt.....	53
Figure IV. 11: Evolution Des Températures Mensuelle Au Cours De La Période 2031-2060 Selon Le Ssp8.5 En Utilisant Le Test De Pettitt.....	53
Figure IV. 12 Variabilité Des Etp Au Cours De La Période Historique (1981-2010), Et La Période De Projection (2031-2060) Selon Les Ssp4.5 Et Ssp8.5.....	54
Figure IV. 13 Coefficient D'échange Au Cours De La Période De Projection (2031-2060) Selon Le Ssp4.5 Et Ssp8.5.....	55
Figure IV. 14 Evolution Des Etp Annuelles Au Cours De La Période 2031-2060 Selon Le Ssp4.5 Et Ssp 8.5 En Utilisant Le Test De Pettitt.....	55
Figure IV. 15: Variation Des Etp 1981-2010 Pour Les Deux Scenarios Ssp4.5, Ssp8.5 (2031-2060).....	56
Figure IV. 16 Evolution Des Temperatures Mensuelle Au Cours De La Période 2031-2060 Selon Le Ssp8.5 En Utilisant Le Test De Pettitt.....	57
Figure IV. 17 Variabilité Des Temperatures Au Cours De La Période Historique (1981-2010), Et La Période De Projection (2051-2080) Selon Les Ssp4.5 Et Ssp8.5.....	58

Figure IV. 18 Variation Des Temperatures Au Cours De La Période De Projection (2051-2080) Selon Le Ssp4.5 Et Ssp8.5.....	58
Figure IV. 19 évolution Des Temperatures Annuelles Au Cours De La Période 2051-2080 Selon Le Ssp8.5 En Utilisant Le Test De Pettitt.....	59
Figure IV. 20: Variation De Température Selon Les Scénarios Ssp4.5, Ssp8.5 A L’horizon (2051-2080).....	60
Figure IV. 21 Evolution Des Temperatures Mensuelle Au Cours De La Période 2051-2080 Selon Le Ssp8.5 En Utilisant Le Test De Pettitt.....	60
Figure IV. 22 Variabilité Des Etp Au Cours De La Période Historique (1981-2010), Et La Période De Projection (2051-2080) Selon Les Ssp4.5 Et Ssp8.5.....	61
Figure IV. 23 Variation Des Temperatures Au Cours De La Période De Projection (2051-2080) Selon Le Ssp4.5 Et Ssp8.5.....	62
Figure IV. 24 évolution Des Etp Annuelles Au Cours De La Période 2051-2080 Selon Le Ssp8.5 En Utilisant Le Test De Pettitt.....	62
Figure IV. 25 variation Des Etp Selon Les Scenarios Ssp4.5, Ssp8.5 A L’horizon (2051-2080).....	63
Figure IV. 26 Evolution Des Etp Mensuelle Au Cours De La Période 2051-2080 Selon Le Ssp8.5 En Utilisant Le Test De Pettitt.....	64

Liste des abréviations :

- ❖ AGIRE : agence nationale de gestion intégrée des ressources en eau
- ❖ ANBT : agence nationale des barrages et transferts
- ❖ ANRH : agence nationale des Ressources Hydrauliques
- ❖ CMIP6 : couple model inter comparaison Project phase 6
- ❖ ETP : Evapotranspiration potentielle
- ❖ GES : Gaz à effet de serre
- ❖ GIEC : groupe inter-gouvernemental des experts sur le climate
- ❖ MCG : modèle climatique global
- ❖ MCR : modèle climatique regional
- ❖ ONM : office national de la Météorologique
- ❖ RCP : Représentative Concentration Pathways
- ❖ SSP : Shared Socio-economic Pathways

INTRODUCTION

La question du réchauffement climatique est l'une des plus importantes du 21^e siècle, et de nombreux experts la considèrent comme l'enjeu actuel le plus important pour l'humanité. Depuis quelques années, l'évolution du climat est de plus en plus étudiée par la communauté scientifique en raison des évolutions observées au cours de ce siècle.

Selon le dernier rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC2023) la température de la Terre a augmenté de 1,1°C. Si aucune mesure n'est prise en compte, cette augmentation peut atteindre 4,6°C d'ici la fin du siècle.

L'évapotranspiration est un processus vital pour le cycle de l'eau et l'équilibre hydrologique des écosystèmes. Avec le réchauffement climatique, les températures globales augmentent, ce qui peut modifier les schémas de précipitations et influencer l'évapotranspiration. La méthode de Thornthwaite, basée sur la température, est couramment utilisée pour estimer l'évapotranspiration potentielle dans différentes régions. Cependant, l'utilisation de modèles climatiques plus avancés, tels que ceux de la CMIP6, permet une meilleure compréhension des processus climatiques à l'échelle régionale et globale. Les scénarios SSP fournissent des cadres pour évaluer les futurs possibles en tenant compte des émissions de gaz à effet de serre, des politiques d'atténuation et des changements socio-économiques. En combinant ces outils, les chercheurs peuvent mieux anticiper les variations de l'évapotranspiration et leurs implications pour la disponibilité en eau, l'agriculture, et les écosystèmes.

Notre étude vise à évaluer et cartographier l'évolution des évapotranspirations sous l'influence des changements climatiques dans le bassin côtier algérois 02a en se basant sur les sorties de modèles climatiques CMIP6, selon deux scénarios climatiques SSP4.5 et SSP8.5.

- ❖ Le premier chapitre, présente une synthèse bibliographique, qui rappelle les diverses recherches déjà réalisées dans le monde en Méditerranée et en Algérie sur la variabilité et les projections climatiques.
- ❖ le deuxième chapitre présente la zone d'étude, ses caractéristiques hydrographique et hydro climatique
- ❖ le troisième chapitre présente le matériel et les méthodes utilisées pour mener ce travail.

- ❖ Le quatrième chapitre expose les différents résultats obtenus concernant la variabilité climatique et l'évolution de l'évapotranspiration dans le bassin ainsi que leur discussion.

Chapitre I

Synthèse Bibliographique

Introduction

Dans ce chapitre, la première partie à une recherche bibliographique concernant le réchauffement climatique soit les causes et les conséquences, variabilité climatique et les impacts de ces variabilités sur les ressources en eau et les projections climatiques globales et régionales.

1 Réchauffement climatique

1.1 Définition

Le réchauffement climatique est l'augmentation rapide de la température moyenne de la terre, plus généralement, Les températures à la surface terrestre ont augmenté de 1,1°C depuis 1850 (GIEC.2022). Cette augmentation est principalement due à l'augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, Cela peut entraîner des changements climatiques tels que des températures plus élevées, des événements météorologiques extrêmes (Philander 2008).

Changes for a +2°C global warming for mean temperature, precipitation and sea ice coverage from CMIP6

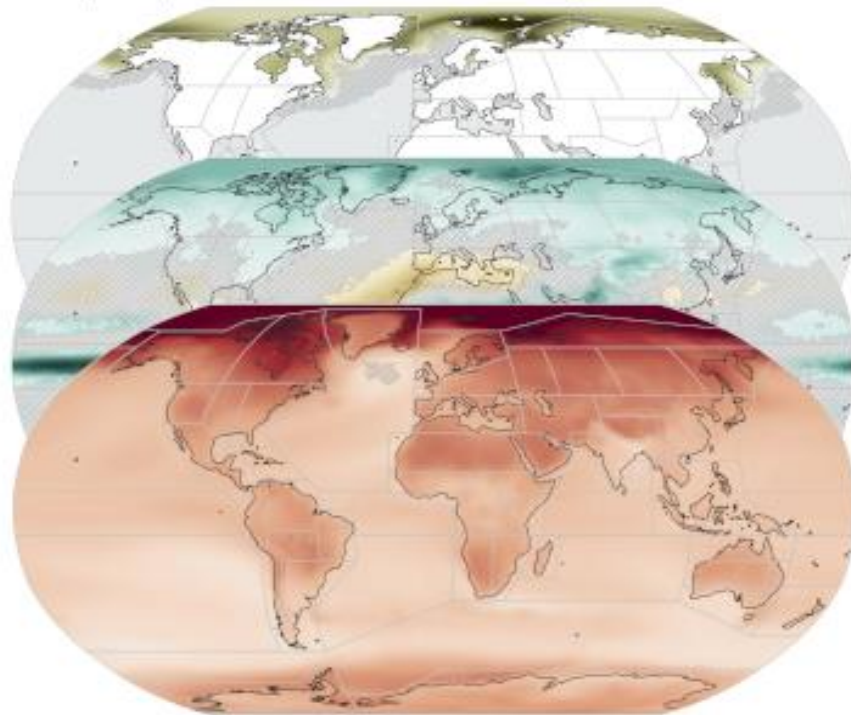


Figure I. 1 Changement Simulé Pour Un Réchauffement Mondial De 1.5 A 4°C (GIEC 2023).

1.2 Causes et Conséquences du réchauffement climatique

1.2.1 Les causes du réchauffement climatique

Les causes du réchauffement climatique peuvent être naturelle ou humaine.

Les causes naturelles du réchauffement climatique sont dues à l'augmentation de l'activité solaire.

La cause contre naturel du réchauffement climatique est l'augmentation rapide des émissions anthropiques de gaz à effet de serre, principalement du CO₂, du CH₄ et du N₂O.

L'augmentation de vapeur d'eau dans la couche de troposphère, est un gaz à effet de serre majeur. Une augmentation de sa concentration dans la troposphère peut amplifier l'effet de serre, contribuant ainsi au réchauffement climatique (Patel et al 2023).

La déforestation, les pratiques agricoles et les changements d'affectation des terres aggravent encore le problème en libérant dans l'atmosphère le carbone stocké (Canton Kessely, et al. 2024).

1.2.2 Les conséquences du réchauffement climatique

Les effets du réchauffement climatique ont eu un impact sur les personnes, les animaux, les oiseaux et leurs habitats. En fait aucun continent n'a été épargné.

Le changement climatique peut également entraîner plusieurs autres problèmes, tels que l'assèchement des masses d'eau de surface et la chute des eaux souterraines, de graves pénuries d'eau, la désertification de vastes zones qui étaient jusqu'alors des terres fertiles et productives, un changement dans la structure des cultures et une réduction des rendements agricoles-pénurie de nourriture, croissance de micro-organismes et propagation de maladies, etc. (Anjali Goel et al 2012).

1.3 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) (Biesbroek, et al. 2010).

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 (Al-Yaari, et al. 2023)

1.3.1 Variabilité climatique globale

Depuis la publication du premier rapport du GIEC en 1990, les projections ont montré que les températures moyennes mondiales augmenteraient d'environ 0.15°C à 0.3°C par décennie au cours des années 1990-2005. 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 (Simonet 2015).

La hausse de la température mondiale à la surface du globe d'ici à la fin du siècle sera probablement de plus de 1.5°C par rapport à la période 1850-1900.

Le cinquième rapport d'évaluation (GIEC, 2015) a inspiré l'Accord de Paris de 2015, qui vise à maintenir la hausse de la température mondiale en dessous de 2°C au-dessus des niveaux préindustriels et à poursuivre les efforts pour la limiter à 1.5°C. L'urgence du changement climatique est la nécessité d'une action transformatrice (Mastrandrea, et al. 2015).

Le changement climatique a de vastes conséquences, particulièrement évidentes dans le secteur agricole, qui joue un rôle central dans la production alimentaire et l'économie mondiales. En outre, l'augmentation prévue de la population mondiale, qui devrait atteindre 9,7 milliards d'habitants d'ici 2050, intensifie la pression exercée sur les terres agricoles pour répondre à la demande alimentaire croissante, aggravée par les effets néfastes du changement climatique. Compte tenu du lien indissociable entre le changement climatique et l'agriculture, les changements rapides et irréguliers des conditions climatiques constituent une menace grave pour la sécurité alimentaire mondiale à une échelle sans précédent (Arora 2019).

Selon le GIEC (2021), l'homme a également provoqué des changements dans la fréquence des événements météorologiques et climatiques extrêmes tels que les sécheresses des sols dans certaines régions, notamment autour du bassin méditerranéen, de l'Afrique australe et occidentale et d'Ouest de l'Amérique du Nord (Cordonier et al 2021).

Selon le rapport (GIEC,2022) , quels que soient les scénarios d'émission, le GIEC estime que le réchauffement de la planète atteindra 1.5°C dès le début des années 2030(Pörtner, et al. 2022).

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, 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(Al-Yaari, et al. 2023).

Le dernier rapport de synthèse du GIEC publié en 2023 met en évidence plusieurs points clés. Il souligne que les activités humaines sont responsables d'une hausse des températures de +1.1°C entre les périodes 1850-1900 et 2011-2020 (GIEC, 2023).

Sur l'ensemble de la planète. Le niveau de la mer s'est élevé en moyenne de (3.2 à 4.2mm) par an entre 2006-2018(Raïsson-Victor,et al. 2023).

1.3.2 Variabilité climatique dans le bassin méditerranéen

Le bassin méditerranéen est considéré comme l'un des points chauds du monde, comprenant trois continents : le sud de l'Europe, l'Afrique du Nord et une partie de l'Asie. Celui-ci se caractérise par une grande variabilité climatique et se distingue comme la région la plus réactive au changement climatique (Luter bâcher et al 2006).

Le climat méditerranéen, transition entre le climat tempéré des pays du sud d'Europe et le climat semi-aride et aride des pays du Nord de l'Afrique, est caractérisé par une pluviométrie annuelle, proche de 400mm pour la région du Nord d'Afrique et entre 600mm et 1000mm pour les régions du sud d'Europe et une évapotranspiration potentielle annuelle, proche à 1200mm qui sont particulièrement touchées par les sécheresses (Taïbi, 2011).

Plusieurs études menées sur l'analyse des précipitations à long terme en méditerranéen ont montré une baisse modérée à forte des précipitations au cours des 50 dernières années (Schneider 1972).

En Espagne, les précipitations varient considérablement selon les saisons. Une augmentation des événements extrêmes de fortes précipitations a été observée, le nombre de jours secs a augmenté et des études ont montré une diminution significative des précipitations moyennes au cours de l'été au cours des sept dernières décennies. Ces dernières ont entraîné une diminution de la disponibilité en eau pour la consommation humaine et les activités d'irrigation, d'une grande importance pour la région, elles ont également été caractérisées par une forte réduction des précipitations en termes d'espace et de temps (Avila Velasquez, et al. 2022).

L'Italie a connu une variabilité dans les précipitations des événements extrêmes tels que de fortes pluies, de la neige, des vagues de chaleur et de graves sécheresses dues au changement climatique, avec une augmentation des précipitations dans les zones montagneuses (Adler, et al. 2022).

Les variabilités de température et précipitation présentées dans le rapport du GIEC (2014) montrent une augmentation significative des températures en Afrique du Nord.

L'Afrique du Nord montre une tendance significative au réchauffement au cours des dernières décennies, plus prononcée en été et en ce qui concerne les températures minimales 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 (Nashwan et al 2019 ; Zeroual et al 2019). Les précipitations moyennes pendant la saison humide, d'octobre à mars, ont diminué au cours des dernières décennies (Zeroual, et al. 2019).

Des études ont montré que le climat de Maghreb de ces dernières décennies est déjà marqué par une hausse des températures et un déclin des cumuls annuels de précipitations.

Au Maroc, le climat de ces dernières décennies est marqué par une hausse des températures et un déclin des cumuls annuels de précipitation (l'Unesco 2017). De nombreuses études ont montré que la température a augmenté entre 0.3°C à 2.5°C selon les régions (Babqiqi 2014).

En Tunisie, sur la période de 2012 à 2023, a connu six années de sécheresses sévères (2015 à 2023). L'année 2023 est une année de sécheresse sévère sur le premier semestre. (Tunis 2023).

La Libye connaît sa quatrième année consécutive de sécheresse (2018-2023) et que celle-ci touche quasiment tout le pays (Lebdi and Maki).

En Algérie selon des recherches menées par l'ONM sur les changements climatiques, il a été constaté que les températures ont augmenté depuis 1990, date de l'apparition des émissions à effet de serre. L'accroissement de la température moyenne sera compris entre 0,8°C et 1,1°C pour la période 1990_2020 (Buzby, et al. 2014).

1.3.3 Variabilité Climatique En Algérie

L'Algérie se caractérise par un climat semi-aride et aride au Nord du pays et climat aride au sud. Elle se caractérise par de grandes fluctuations climatiques observées au cours des dernières décennies. Effectivement le Nord de l'Algérie,

a connu une augmentation de températures annuelles de 0,8°C à 0,9°C associée à une augmentation des températures mensuelles observées entre Octobre et Mai qui dépassent 1°C et peut atteindre 2°C (Battaglia, et al. 2022).

En Algérie, pays en grande partie désertique, le changement climatique constitue une préoccupation majeure. En effet, de par sa situation géographique, l'Algérie est exposée aux effets négatifs du changement climatique et des émissions de gaz à effet de serre, notamment les inondations, les sécheresses et les températures élevées. Le climat de l'Algérie est très variable. L'une des manifestations les plus inquiétantes de cette transformation est la sécheresse. Or, nous sommes aujourd'hui confrontés à l'hypothèse d'un changement climatique et d'une augmentation de la demande en eau (Hanane et Chaima 2021).

Les recherches montrent que la période 1990-2005 a diminué de 12% par rapport à la période 1961-1990 (BOUDALI, et al 2021).

Les températures chaudes et les précipitations variables associées à la fréquence élevée des événements météorologiques extrêmes tels que les sécheresses, les inondations, les canicules, etc. ont exacerbé l'insécurité alimentaire en Afrique, notamment en Algérie.

L'impact négatif attendu du changement climatique se manifestera par une baisse de la productivité agricole de 10 à 30% pour cent d'ici 2030 (Wayne, G 2021).

L'Algérie a connu au cours de 25 dernières années (1975-1998) une sécheresse intense et Persistante. Le déficit pluviométrique déterminé pour 16 postes représentatifs des régions Ouest, centre et Est met en évidence un déficit de 26% à l'Ouest, 16% au centre et 11% à Est. Il apparaît donc que la sécheresse a touché l'ensemble du territoire, et a sévit particulièrement dans les régions Ouest du pays (Taïbi, et al 2011).

D'ici 2030, les températures devraient augmenter de 0,9°C à 1,3°C, ce qui entrainera une augmentation du temps secs et humides de 10% et s'accompagnera d'une diminution des précipitations comprise entre -9% et -14% au cours de la prochaine décennie (Taïbi, et al. 2019).

L'évapotranspiration, combinaison de la transpiration de la végétation et de l'évaporation du sol, est la quantité d'énergie cédée à l'atmosphère par le continuum sol-plante sous forme de vaporisation de l'eau liquide contenue dans le sol ou la plante.

L'évapotranspiration représente une variable très importante dans le diagnostic des changements climatiques et leurs effets sur l'environnement (Benmoussa, et al 2023).

En raison de l'augmentation significative des températures ce qui provoqué une augmentation significative de l'évapotranspiration a été observée au Nord de l'Algérie

De nombreuses études ont montré que les valeurs de l'ETP changent en fonction des changements saisonniers de température, augmentant pendant les mois les plus chauds et diminuant pendant l'hiver (Benmoussa, et al 2023).

1.4 Projections climatiques globales

Les scénarios climatiques 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 (Pachauri, et al 2008).

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 21^e

siècle, suivie d'une légère baisse de celle-ci et de l'information rapide de nouvelles technologies énergétiques efficaces. Les économies régionales se développent fortement et la prospérité est répartie équitablement.

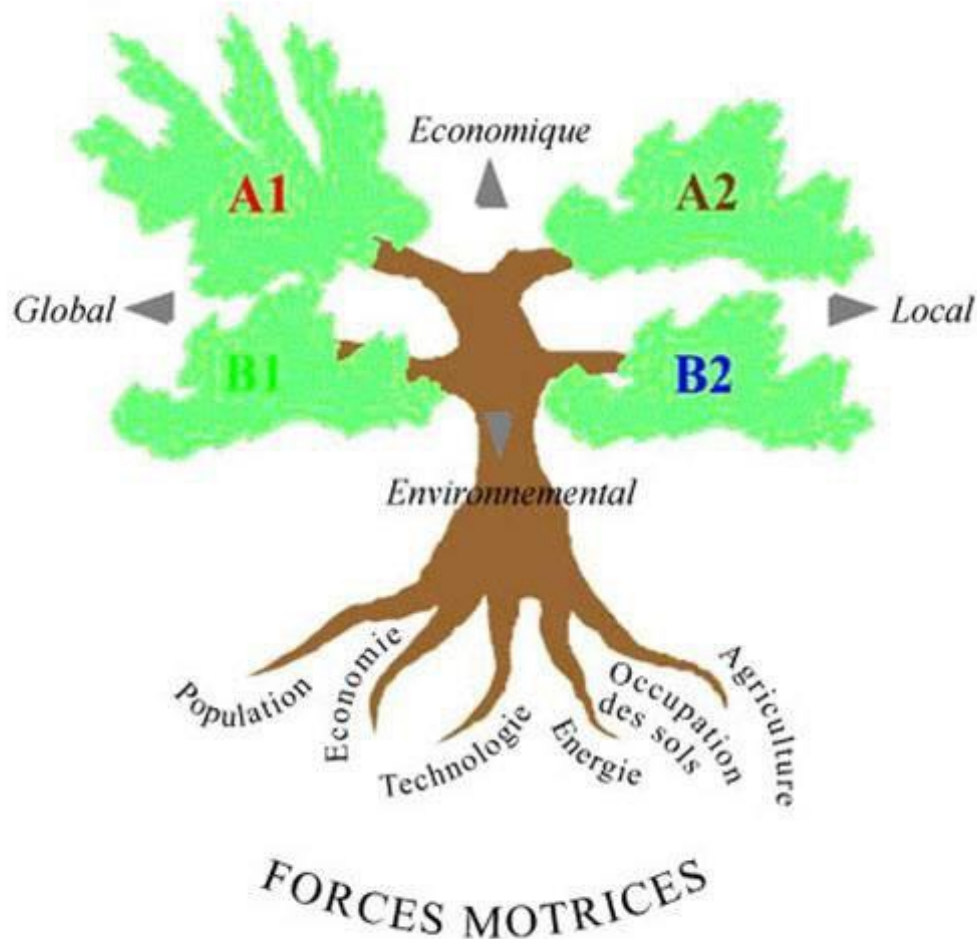


Figure I. 2 Scénarios D'émissions De GES (2000-2100) (GIEC, 2000).

✓ 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

Le changement climatique induit une augmentation du danger météorologique dans le monde. C'est pourquoi les organismes concernés par le changement climatique et le (GIEC) ont élaboré de nombreux scénarios différents pour prédire l'état du climat dans les années à venir en fonction du pourcentage de gaz à effet de serre. Ils ont élaboré plusieurs

Scénarios RCP,

Les scénarios climatiques RCP (representative concentration pathways). Sont les profils des concentrations des émissions de GES. Un RCP représente le forçage radiatif, il est exprimé en W/m^2 (GIEC, 2013).

Il existe quatre RCP : chaque RCP correspond à une évolution différente du forçage radiatif à l'horizon 2100.

RCP2.6 ; $1.0^{\circ}C$;

RCP4.5 ; $1.8^{\circ}C$;

RCP 6.0 ; $2.2^{\circ}C$;

RCP8.5 ; $3.7^{\circ}C$;

Le RCP 2.6 est le scénario le plus optimiste et le RCP8.5 étant le plus pessimiste.

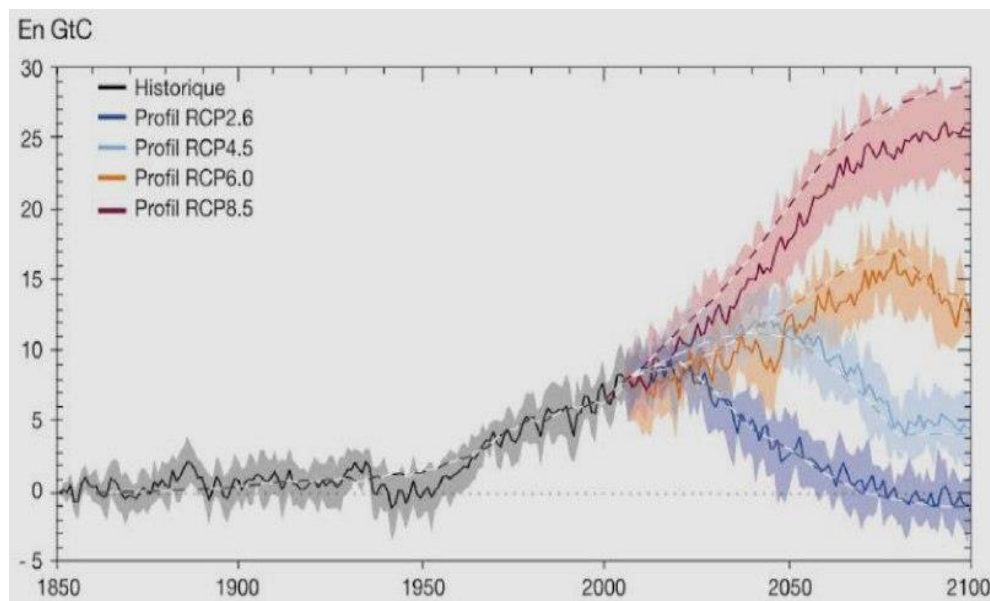


FIGURE I. 3LES SCENARIOS CLIMATIQUES RCP (GIEC, 2013).

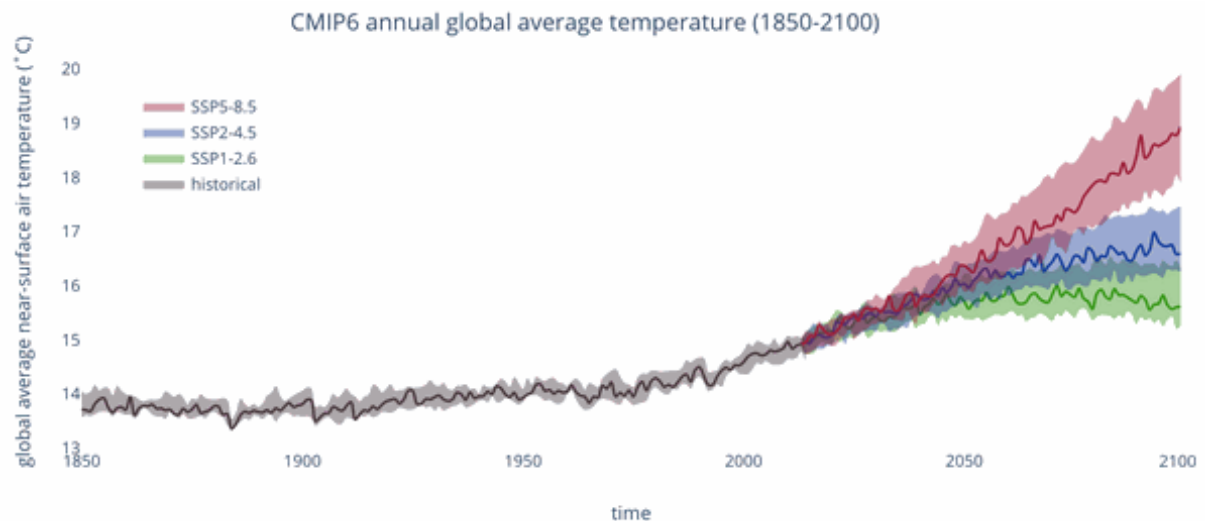


Figure I. 4 Les Scenarios Des Emissions De GIEC SSP x,y (GIEC 2023).

Dans le dernier rapport du GIEC (2022) les scénarios SSP (Shared Socio-economic Pathways), traduisent un ensemble d'hypothèses socio-économiques (population, éducation, Urbanisation, PIB). Ces scenarios décrivent des évolutions alternatives de la société future en l'absence de changement climatique ou de politique climatique. SSP $x-y$ est l'abréviation d'un scénario, où x est le numéro (1 à 5) du scénario socio-économique SSP qui a été utilisée pour développer la trajectoire d'émissions, y indique la valeur approximative du forçage radiatif (en W/m^2) atteint à la fin du siècle. Un « SSP $x-y$ est ainsi une trajectoire d'émissions de GES et de réchauffement associé. Cinq SSP ont été construits par le GIEC, Chacun étant numéroté de 1 à 5.

SSP1-1.9 : développement durable, (faible défi d'adaptation, faible défi d'atténuation), décrit un monde marqué par une forte coopération, internationale, donnant la priorité au développement durable ;

SSP2-2.6 : poursuite des tendances, (défi d'adaptation moyen, défi d'atténuation moyen), décrit un monde caractérisé par la poursuite des tendances actuelles

SSP 3-4.5 : Fragmentation, (défi d'adaptation élevé, défi d'atténuation élevé) décrit un monde fragmenté affecté par la compétition entre pays, une croissance économique lente, des politiques orientées vers la sécurité et la production industrielles et peut soucieuses de l'environnement.

SSP4 -7.0: inégalités, (défi d'adaptation élevé, faible défi d'atténuation) est celui d'un monde marqué par de grandes inégalités entre pays. Une minorité y serait responsable de l'essentiel des émissions de GES, ce qui rend les politiques d'atténuation plus faciles à

mettre en place tandis que la plus grande partie de la population resterait pauvre et vulnérable au changement climatique.

SSP5-8.5 : Développement conventionnel, (faible défi d'adaptation, défi d'atténuation élevé) décrit un monde qui se concentre sur un développement traditionnel et rapide des pays en voie de développement, fonde sur une forte consommation d'énergie et des technologies émettrices

de carbone ; la hausse du niveau de vie permettrait d'augmenter la capacité d'adaptation, notamment grâce au recul de l'extrême pauvreté (Mondon, et al 2013).

Tableau I. 1 Les Scenarios Des Emissions De Chaque SSP (GIEC2023).

Scénario	Le scénario plus proche	La température T°	D'adaptation	L'atténuation
SSP 1- 1.9	Pas de scénario RCP équivalent	1.5	Faible	Faible
SSP1-2.6	RCP2.6	1.5	Moyen	Moyen
SSP2-4.5	RCP4.5	2.4	Elevé	Elevé
SSP3-7.0	Entre le RCP6.0 et le RCP8.5	3.0	Elevé	Faible
SSP5-8.5	RCP 8.5	4.9	Faible	Elevé,

Tableau I. 2 Les Niveaux De Réchauffement Correspondants Chaque SSP (GIEC 2023).

SSP	Court terme : 2021-2040	Moyen terme : 2041-2060	Long terme : 2081-2100
SSP1-1.9	1,5	1,6	1,4
SSP-2.6	1,5	1,7	1,8
SSP-4.5	1,5	2,0	2,7
SSP-7.0	1,5	2,1	3,6
SSP-8.5	1,6	2,4	4,4

1.5 Les Modelés climatiques

1.5.1 Modèle climatique globale

Un modèle climatique global (MCG) est une représentation mathématique du système climatique, comprenant l'atmosphère, les océans, la aperçu surface terrestre et les glaciers. Il simule les interactions entre ces composants pour fournir un du système climatique terrestre. Les MCG sont basés sur les lois fondamentales de la physique, du mouvement des fluides et de la chimie. Ils sont utilisés pour étudier le climat passé, comprendre les mécanismes physiques à l'origine des événements climatiques et faire des projections sur le changement climatique futur, maille (200*200Km).

1.5.2 Modèle climatique régional

Un modèle climatique régional est une modélisation mathématique du climat dans une zone géographique spécifique (passage d'un MCG (200*200Km) à un 50*50Km,20*20Km).(Csima, et al 2008).

1.6 Modèle Climatique CMIP6

Le projet CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) est une initiative mondiale visant à comparer et à évaluer les performances des modèles climatiques utilisés pour simuler le climat de la Terre. Il s'agit d'un effort coordonné pour améliorer la précision des prévisions climatiques et pour mieux comprendre les changements climatiques à l'échelle mondiale.

Tableau I. 3 Les modèle Climatique Régionaux CMIP6.

Modèle (MCR)	Institute	Resolution
ACCESS-CM2	CSIRO-ARCCSS(Australie)	1.9°x1.3°
AWI-CM-1-1-MR	Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research (Germany)	0.9°x0.9°
ACCESS-ESM1-5	CSIRO(Australie)	1.9°X1.2°
AWI-ESM-1-1-LR	Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research (Germany)	0.9°X0.9°
BCC-CSM2-MR	Beijing Climate Centre (China)	1.1°X1.1°
CAMS-CSM1-0	Academia of Meteorological	1.1°X1.1°

	Sciences (CAM5)	
CanESM5	Canadian Centre for climate Modeling and Analysis (Canada)	2.8°X2.8°
CNRM-CM1-6-HR	CNRM-CERFACS(France)	0.5°X0.5°
CESM2	National Center for Atmospheric Research (NCAR)USA	1.3°X0.9°
CNRM-CM6-1	CNRM-CERFACS (France)	1.4°X1.4°
CESM2-WACCM	National Center for Atmospheric Research (NCAR) USA	1.3°X0.9°
CIesm	Chine	0.9°X1.3°
CMCC-CM2-SR5	Centre Euro-Méditerranéen sui Cambiamenti Climatici (Italie)	1°x1°
CNRM-ESM2-1	CNRM-CERFACS(France)	1.4°X1.4°
EC-Earth3-CC EC-Earth3-AerChem	EC-Earth Consortium Europe	0.7°X0.7°
FGOALS-g3 FGOALS-f3-L	Institute of Atmosphere Physics (China)	1.3°X1°
FIO-ESM-2-0	First Institute of Océanographie (China)	1.3°X0.9°
GFDL-ESM4	NOAA Géophysique Fluide Dynamics Laboratoire(USA)	1.3°X1°
GISS-E2-1-H	NASA GISS5USA	
HadGEM3-GC31-LL HadGEM3-GC31-MM	Met Office Hadley Center (UK) and Natural Environment Research Council (UK)	1.25°X1.875°
INM-CM4-8	Institute de Numéricâble Mathématico Russie	2°X1.5°
INM-CM5-0	Institut for Numéricâble Mathematic (Russie)	2°X1.5°

IPSL-CM5A2-INCA	Institut Pierre-Simon Laplace (France)	2.5°X1.3°
IPSL-CM6A-LR	Institut Pierre-Simon Laplace (France)	2.5°X1.3°
KIOST-ESM KACE-1-0-G	Corée Institute of Océan Science and Technologie(Corée Sud)	1.3°X0.9°
MIROC-6 MIROC-ES2L MIROC-ES2H	JAMSTEC.NIES.AORI. U. of Tokyo (Japon)	1.4°X1.4° 2.8°X2.8°
MPI-ESM1-2-HR	Max Planck Institute for Meterology (Germany). Also Deutsches Klimarechenzentrum (Germany) and Deutscher Wetterdiense(Germany)	0.9°X0.9°
NESM3	Norvégien Climate Centre/Norvège Meteorological Research Institute (Japon)	1.9°X1.9°
MRI-ESM2-0		1.125°X1.125°
NorESM2-MM	Norvégien Climate Centre/Norvège	0.9375°X1.25°
UKESM&-0-LL TaiESM1	Met office Hadley Centre/UK	1.25°X1.875°

1.7 L'évapotranspiration

1.7.1 Définition

L'évapotranspiration fait référence au mouvement de l'eau de la terre vers l'atmosphère à travers deux processus : l'évaporation des surfaces d'eau et du sol et la transpiration des plantes. Le phénomène (Ouhamdouch, et al. 2020)

L'évapotranspiration c'est un élément clé à la fois du bilan hydrique, l'évapotranspiration entraîne une perte d'eau et une perte d'humidité des surfaces de l'eau, du sol et de la végétation. Il est utilisé dans la prévision du rendement des cultures, la planification de

l'utilisation des terres, la conception des canaux d'irrigation et l'allocation de l'eau, ainsi que dans la gestion des catastrophes naturelles telles que la gestion de la sécheresse (Mobasheri et al 2005). Généralement, 57% des précipitations retournent dans l'atmosphère par évapotranspiration et cette quantité peut atteindre 90 à 100% dans les régions arides et hyperarides (Heidarnejad et al. 2013) par conséquent, son estimation précise est très importante. L'évapotranspiration joue un rôle important dans le climat mondial à travers le cycle hydrologique. (Lotfi, et al. 2020)

1.7.2 Méthode de calcul l'évapotranspiration

➤ Méthode de Hargreaves-Samani

La méthode qui nécessite uniquement des données de température est connue sous le nom de Hargreaves ou Hargreaves-Samani. Dans cette méthode, il est nécessaire de calculer la température moyenne de l'air pour la période requise et la différence entre les températures maximale et minimale (TR). Au cours de la période souhaitée, ainsi que le rayonnement solaire (R_a). La quantité d'évapotranspiration peut être calculée comme suit (Hargreaves-Samani 1985) :

$$ET_0 = 0,0023R_a(T + 17,8) (TR)^{0,5}$$

Avec :

ETP : l'évapotranspiration en mm/j ;

T : température moyenne °C ;

R_a : rayonnement solaire ;

TR : est la différence entre (Tmax-Tmin) ;

➤ Méthode Priestley-Taylor

Cette méthode est simplifiée sur la base de la méthode Penman où la composante aérodynamique de l'équation de Penman est remplacée par un coefficient empirique connu sous le nom de paramètre de Priestley-Taylor, qui est basé sur le rayonnement solaire et température. Il est calculé par l'équation suivante (Priestley-Taylor 1972) :

$$ETP = 1.26 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \left(\frac{Rn - G}{\lambda} \right)$$

Avec :

R_n : Rayonnement net au niveau de la végétation en ($\text{MJ m}^{-2}/\text{jour}$)

G : flux de chaleur dans le sol en ($\text{MJ m}^{-2}/\text{jour}$)

Δ : la pente de la courbe de pression de vapeur d'eau en (KPa/C)

γ : facteur d'humidité en (KPa/C)

λ : la chaleur latente d'évaporation en (MJ/kg)

$$\lambda = 2.501 - (2.361 \times 10^{-3})$$

➤ **Méthode de penman-Monteith** (Fooladmand and Haghigat 2007)

$$\text{ETP} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{R_n}{\lambda} + \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} F(u)D$$

PET: est l'évapotranspiration potentielle (mm/j)

R_n : est le rayonnement net à la surface (Wm^{-2})

Δ : est la pente de la courbe de pression de vapeur saturante (PaK^{-1})

γ : est le coefficient psychométrique ($= 67\text{PaK}^{-1}$)

r_s et r_a : sont respectivement les facteurs de surface et de résistance aérodynamique

➤ **Méthode de Penman**

C'est la méthode la plus complète et la plus complexe (Allen, Pereira et al. 1998), est basée sur la notion de bilan énergétique.

$$\text{ETP} = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{c_{ste}}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

$$\Delta = \frac{4098 e_{sat}(T)}{(T+273.3)^2}$$

$$\gamma = 0.665 \cdot 10^{-3}$$

$$u_2 = u_z \frac{4.87}{\ln(67.8z - 5.42)}$$

ETP : évapotranspiration potentielle (mm/j);

R_n : Radiation nette ($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{j}$);

G : flux de chaleur du sol en ($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{j}$);

γ : constante psychométrique en ($\text{Kpa}/^\circ\text{C}$);

T : Température moyenne journalière ($^\circ\text{C}$);

e_s : pression saturante de vapeur d'eau (KPa);

e_a : pression actuelle de vapeur d'eau (KPa);

Δ : pente de la courbe de la pression de vapeur ;

U_2 : vitesse du vent à 2m du sol en (m/s);

➤ Méthode de BOUCHET (R.J.) (1963)

Cette méthode permet d'évaluer l'évapotranspiration à partir d'une mesure de l'évaporation par l'évaporomètre Piche pour la période considérée (jour, décade, mois)(Harter and Bouchet 2002).

$$\text{ETP} = \alpha \cdot \lambda(\Theta) \cdot E_p$$

$\alpha = 0.37$ dans le cas où le piche est placé dans un abri à 2m au dessus sol

λ : coefficient fonction de la température Θ

Θ : température moyenne entre la température de l'air et la température du point de rosée Θ_r

E_p : Evaporation piche ($\text{mm}/(\text{jour}, \text{décade}, \text{moins})$)

➤ Méthode de l'ANRH

Il arrive souvent que des données climatiques ne soient pas disponibles, et pour permettre le calcul de l'évapotranspiration potentielle mensuelle, on peut utiliser la formule de l'ANRH, qui permet d'évaluer à partir de la seule mesure de la température moyenne mensuelle correspondante, à une position géographique quelconque. Elle est développée en 2002 sous la direction du professeur J.P. Laborde, la formule qui permet d'estimer l'ETP mensuelle est la suivante (ANRH,2002) :

$$\text{ETP}_{\text{ANRH}} = k_r \times k_m (H-187)(0,032T + 0,077)$$

ETP : : Evapotranspiration potentielle (mm/mois)

T : température moyenne mensuelle ($^\circ\text{C}$)

K_m : Coefficient mensuelle dont ses valeurs sont données dans le tableau

K_r : coefficient régional $K_r=1.25$

H : Durée théorique mensuelle d'insolation (heures/mois) et elle est exprimée en fonction de l'ordonnée Lambert (Y) selon la formule suivante : $H_i = a_i Y + b_i$; Y: l'ordonnée Lambert de la zone (Km); a_i et b_i sont des coefficients d'évaluation des durées théoriques d'insolation pour la formule de l'ANRH.

Tableau I. 4 coefficient d'évaluation des durées théoriques d'insolation pour la formule de (L'ANRH, 2002).

Mois	1	2	3	4	5	6
ai	-0.0218	-0.0110	-0.0012	0.0098	0.0201	0.0248
bi	315	307	371	389	429	429
Km	0.96	1.22	1.11	1.17	1.02	1.00
Mois	7	8	9	10	11	12
ai	0.0230	0.0144	0.0031	-0.0081	-0.0185	-0.0246
bi	436.	414	370	351	311	308
km	0.97	0.97	0.98	0.90	0.90	0.86

➤ Méthode de TURC (1960)

Il s'agit d'une méthode complexe donnant l'évapotranspiration potentielle observée sur les cases lysimétriques de quelques stations situées en Europe, en Afrique du Nord et en Asie cette évapotranspiration est fonction de l'insolation, de la température, et de l'humidité relative (Belkhiri, 2021):

$$\text{Si } Hr \geq 50\% \quad ETP = 0.4 * T / (T + 15) * (I_g + 50)$$

$$\text{Si } Hr < 50\% \quad ETP = 0.40 * (t / (t + 15)) * (I_g + 50) * ((1 + (50 - Hr) / 70))$$

$$I_g = I_{ga} (0.18 + 0.62 \frac{h}{H})$$

Avec:

ETP: évapotranspiration potentielle mensuelle (mm);

Ig : Radiation solaire globale du moins considéré sur une surface horizontale (cal/cm²/jour);

T : température moyenne mensuelle du mois considéré (°C);

Hr : l'humidité relative de l'air (%);

➤ Méthode de Thornthwaite (1948)

Thornthwaite a introduit la notion d'évapotranspiration potentielle ou ETP qui représente L'ETP représente la quantité d'eau maximale susceptible d'être évaporée par une végétation couvrant complètement et uniformément le sol, alimentée en eau de façon optimale et s'étendant sur une surface assez grande (Ardoin,2000)

$$ETP = 16 \times \left(\frac{10 \times t}{I} \right)^a \times F(m, \lambda)$$

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

$$a = 0,016 \times I + 0,5$$

avec

T: température moyenne de l'air pour la période considérée;

I: indice thermique annuel;

F(m,λ): facteur correctif fonction du mois et de la latitude;

a: fonction complexe de l'indice;

conclusion

Ce chapitre nous a permis de comprendre la différence entre le réchauffement climatique les changements climatiques ainsi que les conséquences sur la variabilité climatique à l'échelle globale, régionale et locale.

Chapitre II : présentation de la zone d'étude

Introduction

La zone côtière algéroise, située au nord de l'Algérie, est une région d'une beauté naturelle exceptionnelle et d'une grande importance économique et culturelle. Ce littoral s'étend sur environ 100 km le long de la mer Méditerranée, englobant des villes emblématiques telles qu'Alger, Tipaza et Cherchell. Connue pour son histoire riche remontant à l'Antiquité.

Dans ce chapitre, nous présentons le cadre général de notre région d'étude, son climat ainsi que les ressources en eau dont elle dispose ?

2 La région hydrographique Algérois-Hodna-Soummam

Le bassin hydrographique Algérois-Hodna-Soummam couvre une superficie de 47 588Km². Il se situe dans la partie centrale de l'Algérie du Nord, il est limité au Nord par la mer méditerranée, à l'ouest par le bassin Chélif-Zahrez, à l'Est par le bassin Constantinois-Seybouse-Mellegue et enfin au sud par le bassin du Sahara.

2.1 Situation Géographique De Côtiers Algérois

Le bassin d'Algérois situé au Nord centre d'Algérie, est limité au Nord par la mer Méditerranée, au sud par le bassin de la Soummam, à l'Est par le bassin hydrographique des côtiers Constantinois, l'Isser et le Cheliff qui le borde à l'Ouest aussi. Sa Superficie est de 8076,9Km².

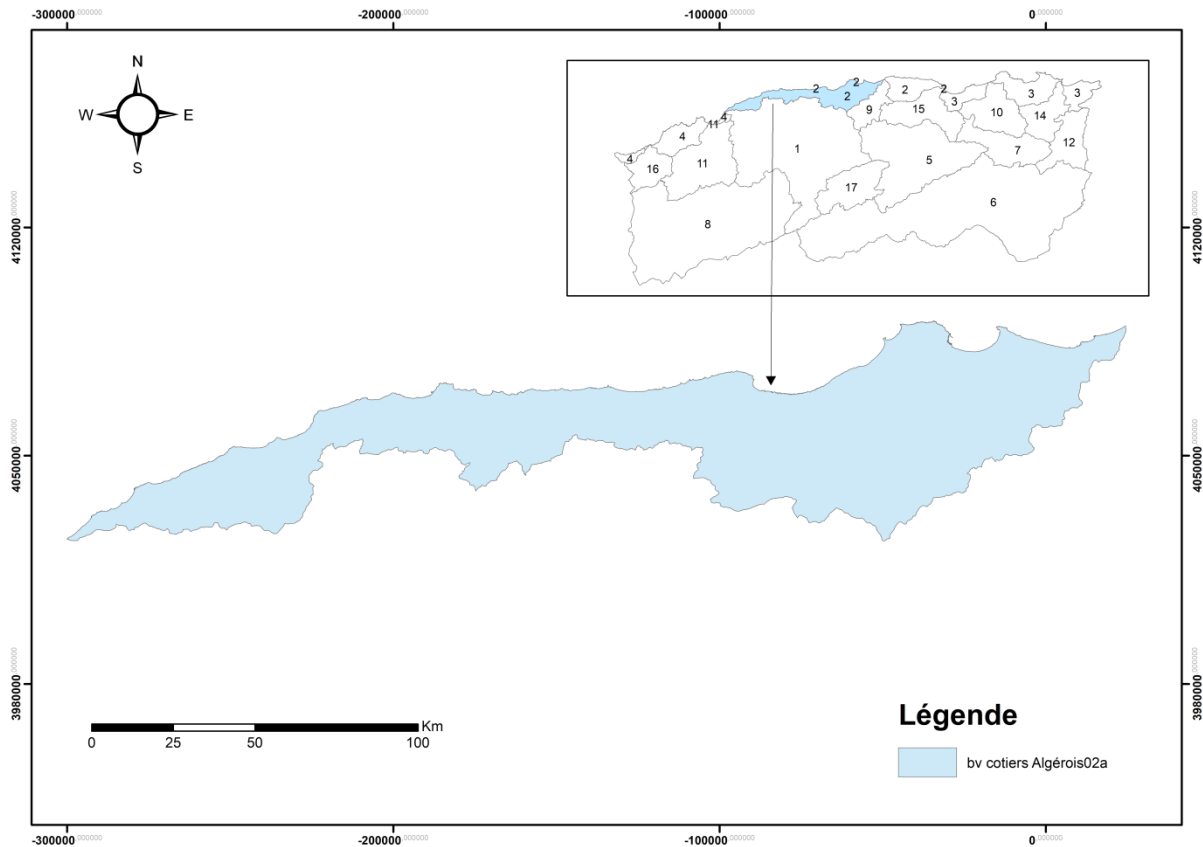


FIGURE II. 1 SITUATION GEOGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT DE LA COTIERS ALGEROIS

Le bassin du Côtier-Algérois, composé de 20 sous bassins, le côtier Algérois (02a) à l'ouest et le côtier Algérois (02b) à l'est. Les oueds Mazafran, El Harrach et le Sebou constituent les plus importants oueds du bassin.

Le bassin cotiers-Algirois est situé entre la latitude 36°1' et 36°58' Nord et entre les longitudes et 0°6' et 0°7' Ouest.

Tableau II 1: Les Sous Bassins Du Côtiers Algérois(AGIRE).

code	Sous bassin	Superficie (Km ²)	Périmètre (Km)
201	Côtiers Guelta	1247.044	230335
202	Côtiers Ténès	1392.508	254.432
203	Côtiers Cherchell	1177.632	216.271
204	Côtiers Sahel	112.262	94.235
205	Côtiers Bouzaréah	208.251	95.405
206	Côtiers Cap Matifou	785.336	185.024
207	Côtiers Cap Djinet	90.015	50.195
208	Côtiers Tizirt	400.956	153.625
209	Côtiers Cap Sigli	888.962	179.401
210	O. Djer Bou roumi	899.258	194.470
211	O. Chiffa	585.017	135.989
212	O. Mazafran	427.481	99.504
213	O. Harrach Amont	387.816	91.921
214	O. Harrach Amont	846.788	150.352
215	O. Sebaou Amont	538.302	114.289
216	O. Sebaou Rabta	435.64	126.336
217	O. Aissi	473.18	108.678
218	O. Sebaou Sebt	301.323	94.817
219	O. Boug दौरa	228.241	70.265
220	O. Sebaou Maritime	534.153	112.066

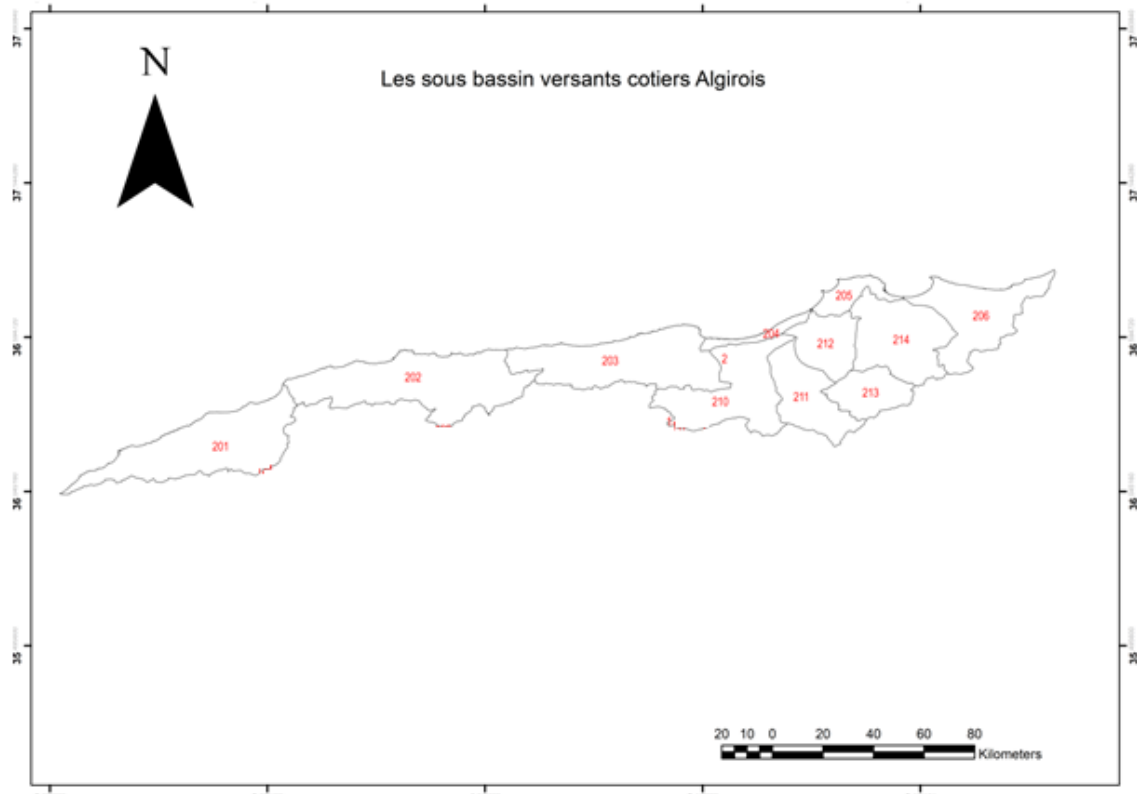


Figure II. 2: Les Sous Bassins Versants du Côtiers Algérois 02a

2.2 Le relief

Le relief est considéré comme l'un des facteurs d'influence de la réponse hydrologique et par conséquent de la forme de l'Hydro gramme de crue. Une pente plus forte entraîne une durée plus faible de concentration des eaux de ruissellement dans le réseau de drainage. Le relief du bassin versant est souvent caractérisé par une courbe hypsométrique ou l'on porte sur l'axe des abscisses, les altitudes et sur l'axe des ordonnées, la surface.(Ammari 2012).

L'altimétrie joue un rôle essentiel dans l'étude du comportement hydrologique d'un bassin versant. En effet, plusieurs paramètres physiques, comme la pente moyenne, par exemple, dépendent des caractéristiques altimétriques. L'altitude du bassin versant peut également jouer un rôle important sur les conditions climatiques du bassin (pluviosité) le bassin versant des côtiers Algérois 02a est caractérisé par un relief très accidenté. Dans la partie Ouest du bassin A l'Ouest on retrouve des sommets qui atteignent les 1415m (Djebel Dahra) tandis qu'à l'Est les sommets peuvent atteindre les 2308m (Djebel Djurdjura),(Achite, et al 2005).

Tableau II2: Caractéristiques Du Relief Du Bassin Algérois. (Ammari , 2012).

Sous bassin	Oued	Station	Altitude (m)			I _{PR}	I _{PG} (%)
			Max.	Min.	Moy.		
Oued Sebaou Maritime	Sébaou	Baghlia	2305	20	590	0,17	3.78
Oued Sebaou Sebt	Sébaou	Belloua	2305	70	635	0,19	5.29
Oued Aissi	Aissi	RN 30	2305	80	655	0,21	7.59
Oued Sebaou Rabta	Diss	Freha	1278	130	838	0,26	8.83
Oued Harrach Maritime	El Harrach	Baraki	1629	20	525	0,15	3.02
Oued Harrach Maritime	Djemaa	Gorges de Larbaa	1288	350	701	0,24	6.42
Oued Harrach Amont	El Harrach	Rocher des Pigeons	1629	146	830	0,24	7.53
Oued Mazafran	Mazafran	Fer à Cheval	1629	10	446	0,26	2.65
Oued Chiffa	Chiffa	Amont des Gorges	1629	290	833	0,2	5.67
Oued Djer-Bouroumi	Bouroumi	Attatba	1530	40	469	0,14	3.07
Oued Djer-Bouroumi	Djer	El Affroun	1530	100	833	0.18	4.33
oued Djer-Bouroumi	Djer	Boumedfaa	1530	200	496	0,19	5.54
Oued Djer-Bouroumi	Bouroumi	Tarzoute	1386	120	513	0,21	6.96
Côtier CapSigli	Daas	Cap Sigli	1050	0	543	0,21	6.3
Côtier Cap Sigle	S .A Youcef	Tifezouine	1100	35	508	0,2	5.8
Tigzirt	M'leta	Azefoun	1278	12	381	0.33	12.66
Côtier Cap Matifou	Barek	Ouled Ali	832	67	405	0.29	10.92
Côtier Cherchell	Belah	Pont RN11	736	25	522	0.22	6.84
côtier Cherchell	El Harrach	Borj Ghobrini	1417	14	323	0.22	6.65
Côtier Tenes	Oued allalah	Sidi Akacha	996	80	254	0.16	3.19

Ou :

- I_{PR} : est l'indice de pente de Roche
- I_{PG} : est Indice de pente il est égal à la dénivelée divisée par la longueur du rectangle

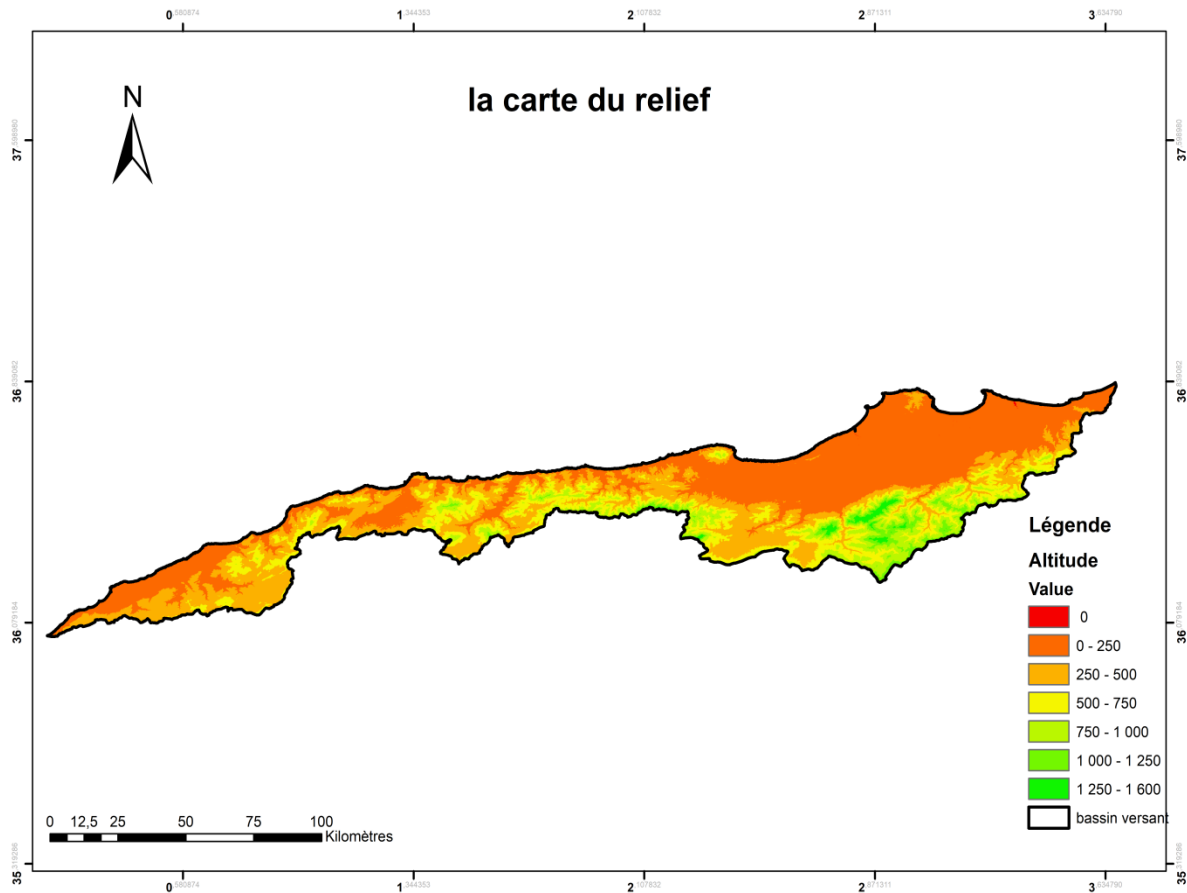


Figure II. 3: le relief du côtiers algérois

2.3 Climat

Le climat algérien est un climat de transition entre le climat tempéré humide et le climat désertique. il varie de manière contrastée, de type méditerranéen et semi-aride dans le Nord vers le type désertique dans le Sahara. Le climat de la région est un climat type méditerranéen, pluvieux en hiver, les précipitations varient en moyenne entre 559 et 760 mm.

Pour la température, le bassin est caractérisé par un climat assez doux, où les minima sont de l'ordre de 18°C à Alger.

Tableau II. 1 Température Moyenne Alger (1950-2016) (Source ANRH).

Mois	janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Joins	juillet	Aout	septembre	octobre	Novembre	Décembre
Tmoy	11.3	11.42	13.31	15.2	18.5	22.4	25.5	26.2	23.8	20.3	15.5	12.3

Tableau II. 2: Pluie Moyenne Alger (1950-2016) (Source ANRH).

Mois	jan	Fév	Mar	Avril	Mai	Jui	juil.	Aout	sep	oct	Nov	Déc
Pmoy _{mm}	60,24	62,05	45,1	46,70	33,0	8,85	1,54	6,52	19,11	55,24	63,27	68,71

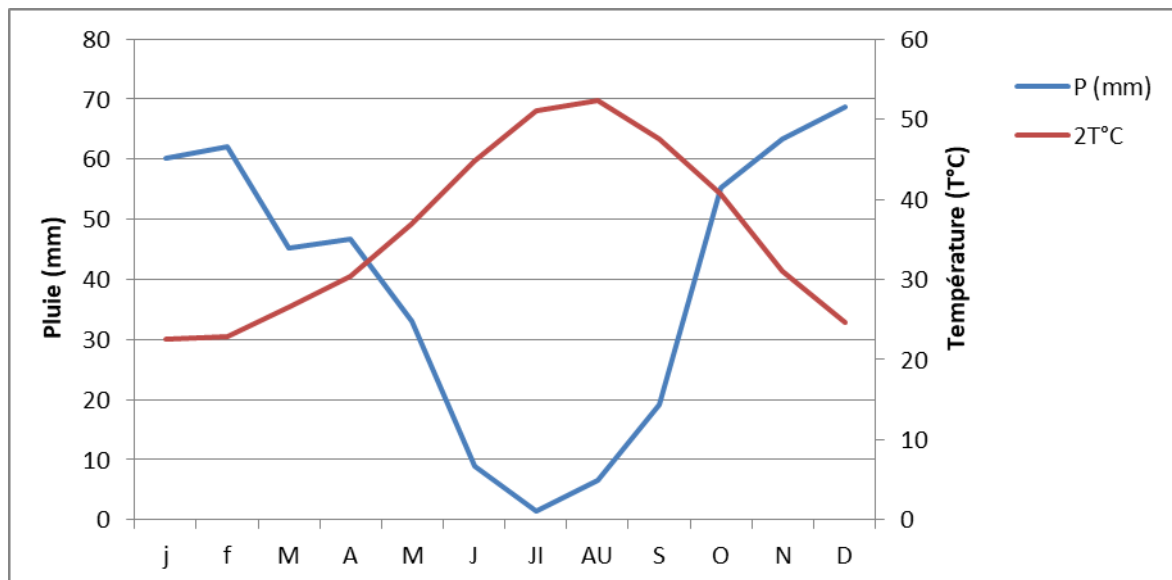


Figure II. 4: Diagramme Ombrothermique De La Station D'Alger

D'après le diagramme ombrothermique, on constate que la période humide s'étale du mois d'octobre au mois d'avril et la période sèche s'étale de mai à septembre.

2.4 Réseau hydrographique

L'hydrographique est liée à plusieurs paramètres, les plus importants sont la géologie et le relief.

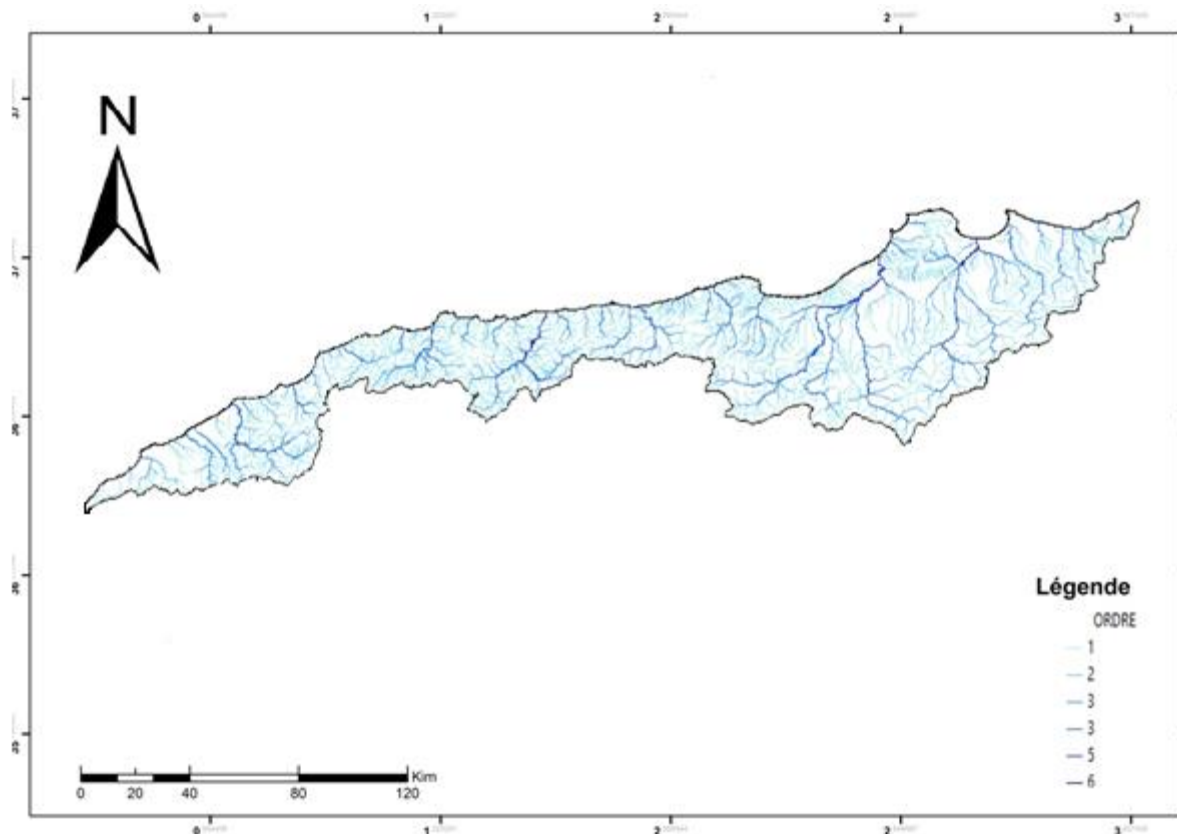


Figure II.5 Carte de réseau hydrographique

Le réseau hydrographique côtier algérois fait référence à l'ensemble des cours d'eau, rivières, ruisseaux et autres voies d'eau qui s'étendent le long de la cote algéroise. Ce réseau inclut également les estuaires, les lagunes et les autres formations aquatiques qui interagissent avec la mer méditerranéenne le long de cette région. Ces voies d'eau jouent un rôle crucial dans l'écologie locale, le drainage des terres et la gestion des eaux pluviales et des eaux usées dans cette zone géographique spécifique (Ammari 2012).

Le réseau hydrographique du bassin des côtiers Algérois est assez développé surtout à l'Est dans Sébaou. Les principales caractéristiques du réseau hydrographique sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau II. 3: Caractéristiques Du Réseau Hydrographique. (Source Ammari.A2012).

Sous bassin	Oued	station	Code	ΣLi (Km)	Dd(km/ km ²)	Ct	Lt(km)	Tc(h)
Oued Sébaou Maritime	Sébaou	Baghlia	022001	6453	2,7	19,6	92	17
Oued Sébaou Sebt	Sébaou	Belloua	021803	5215	3,5	31,05	66	13,32
Oued Aissi	Aissi	RN30	021715	1518	3,3	26,7	33	7,05
Oued Sebaou Rabta	Diss	Freha	021605	340	3,4	24,3	19	4,6
Oued El Harrach maritime	El Harrach	Baraki	021418	2910	3	21,96	59	12
Oued El Harrach Maritime	Djemaa	Gorges Larbaa	021402	650	5	73	15	4,54
Oued El Harrach Amont	El Harrach	Rocher des pigeons	021301	2012	5,2	69,2	35	6
Oued Mazafran	Mazafran	Fer à cheval	021201	5320	2,8	21	96	19
Oued Chiffa	Chiffa	Amont des Gorges	021126	1043	3,3	17,1	37	7
Oued Djer-Bouroumi	Bouroumi	Attatba	021011	1768	2,6	15,6	65,6	13
Oued Djer-Bouroumi	Djer	El Affroun	021007	988	2,5	16,5	30	6,8
Oued Djer-Bouroumi	Djer	Boumedfaa	021006	840	2,5	16,5	30	8
Oued Djer-Bouroumi	Bouroumi	Tarzoute	021002	731	3,4	22,8	42	8
Côtier Cap Sigli	Daas	Cap Sigli	020917	1144	5,5	54	27	6
Côtier Cap Sigli	S.A Yousef	Tifezouine	020916	1100	5	56,3	30	6,8
Tigzirt	M'leta	Azeffoun	020808	193	5,5	68,5	13	2,39
Côtier Cap Matifou	Barek	Ouled Ali	020627	104	2,8	15,4	14	3,54
Côtier Cherchell	Belah	Pont RN11	020323	198	3,6	32,76	16	4,68
Côtier Cherchell	El Harrach	Borj Ghobrini	020301	667	3,1	27,3	34	7
Côtier Tenes	Oued Allalah	Sidi Akacha	020207	1387	4,7	44,9	35	9,84

Dd : densité de drainage, Ct : Coefficient de torrentialité, Lt : Longueur du Talweg principale, $\sum Lt$: Longueur du chevelu Hydrographique.

2.5 Ressources en eaux

2.5.1 Les eaux conventionnelles _ressource souterraine potentielle

Sur la base des données présentées dans le plan National de l'eau en mars 2010, les unités aquifères inscrites dans le sous bassin 02A sont récapitulées dans le Tableau II.4.

Tableau II. 4: Unités Aquifère (Source PNE2010)

N°	Nom d'Unité aquifère	Ressource potentielle (Hm ³ /an)	Part de la production totale (%)
01	Nappe de la Mitidja	107	79,1
02	Dune du Sahel 1	14,6	6,8
03	Dune du Sahel 2	3,9	1,8
04	Conglomérat miocènes de Médéa	7,6	3,5
05	Schistes de l'Atlas blidéen	7	3,3
06	Autre petits aquifères	11,8	5,5

Les prélèvements d'eau dans l'Algérie 2A sont estimés à 700Mm³ par an

- ✓ Les prélèvements les plus importants sont destinés à l'AEP et en particulier celle de la métropole d'Alger (41%) et dans une moindre mesure ceux des autres wilayas (20%).
- ✓ La deuxième composante importante des prélèvements est l'irrigation (36%), dont l'essentiel pour la Plaine de la Mitidja.
- ✓ Les prélèvements spécifiques à l'industrie (forages industriels privés) ne pèsent pas beaucoup dans le total des prélèvements.

_ressource superficielle potentielle

Les infrastructures de mobilisation des eaux de surface existantes sont constituées de 5 barrages

Le bassin Algérois 02a possède Cinq barrages d'une capacité 354.6Hm³.

Tableau II. 5: Les Listes Des Barrages De Côtiers Algérois. (Source ANBT)

Barrage	Wilaya	Oued	Capacité	Désignation
Barrage Hamiz	Alger	Arbatache	14	Irrigation
Barrage Keddara	Alger	Boudouaou	145,6	AEP
Barrage Boukerdane	Tipaza	EL Hachem	105	AEP et Irrigation
Barrage Douera	Alger	EL Harrach	87	AEP et Irrigation
Barrage Meurad	Tipaza	Boudjebroun	1	Irrigation

2.5.2 Les eaux non conventionnelle

➤ Dessalement d'eau de mer

Le dessalement en Algérie est une pratique cruciale en raison de la rareté des ressources en eau douce dans certaines régions du pays. Les usines de dessalement jouent un rôle vital en fournissant de l'eau potable pour la consommation humaine et l'agriculture. Ce secteur est en expansion pour répondre aux besoins croissants de la population et soutenir le développement économique du pays. A Alger et sur la cote algérienne en général, plusieurs usines de dessalement d'eau de mer ont été mises en place pour répondre aux besoins en eau potable.

Pour faire face au déficit en eau disponible dans les grandes villes côtières, l'Algérie s'est lancée depuis une dizaine d'années dans un programme très ambitieux de dessalement d'eau de mer. 6 stations sont déjà opérationnelles, avec une capacité de 337 500 m³/jour (123Mm³/an) et 2 autre sont en construction,

Tableau II. 6 Usines De Dessalement De L'Algérois 2a.

N°	Désignation	Centre urbain	Capacité
1	El Hamma	Agglomération d'Alger	200 000
2	Ain Benian	Agglomération d'Alger	5000
3	Zeralda	Agglomération d'Alger	5000
4	Palm Beach	Agglomération d'Alger	2500
5	Bousmail	Bousmail/ Tipaza	5 000
6	Bordj El Kiffan	Alger	10 150
7	Douaouda	Alger	120 000
8	Oued Sebt	Tipaza	100 000

➤ **Réutilisation des eaux usées Epurées(REUE)**

En Algérie, les stations d'épuration des eaux usées sont des infrastructures essentielles pour le traitement des eaux usées afin de les rendre propres avant leur rejet dans l'environnement. Ces stations jouent un rôle crucial dans la préservation des ressources en eau et dans la protection de la santé publique en réduisant la pollution. Elles sont réparties à travers le pays, contribuant ainsi à l'amélioration de l'hygiène et l'environnement local. Un autre effort important de l'état Algérien consiste dans la construction ou la réhabilitation de station de traitement des eaux usées urbaines (STEP). Cet effort s'étend sur l'ensemble du pays ; pour le bassin 02A, la liste des STEP est indiquée dans le tableau suivant :

Tableau II. 7: Station De Traitement Des Eaux Usées (Source : MRE 2009)

N°	Désignation	Centre urbain	Capacité nominale	Volume moyen traité (m ³ /jour)
1	Baraki	Aggl. Alger	150 000	50 000
2	Réghaia	Réghaia+ZI	80 000	44 000
3	Beni Messous	Alger Est	50 400	27 000
4	Staoueli	Staouali	3 000	–
5	Koléa	Koléa	7 000	2 548
6	Hadjout	Hadjout	11 200	3 708
7	Tipaza	Tipaza	10 500	3 560
8	Médéa	Médéa	26 000	10 600
9	Blida	Blida	70 000	–
10	Bousmail	Bousmail	(150 000eq.hab)	–

Conclusion

Le présent chapitre a tenté d'apporter des aperçus globaux de la région d'étude sur différents secteurs géographique et climatologique.

Le bassin côtier Algérois est constitué de 20 sous bassin versants, il couvre une Superficie 8076,9Km², Le bassin cotiers-Algirois est situé entre la latitude 36°1' et 36°58' Nord et entre les longitudes et 0°6' et 0°7' Ouest.), le bassin est caractérisé par un relief très accidenté. Concernant les ressources en eau, le bassin Algérois 02a possède Cinq barrages d'une capacité 354.6Hm³ et 8 usines de dessalement avec 10 stations de traitement des EU.

Chapitre 3 :

Matériel et Méthodes

Introduction

Nous abordons ce chapitre par une présentation des données. Et consiste à définir les outils et la méthodologie utilisée dans la présente étude. Ensuite, on définit les méthodes utilisées pour la analyse des données et détection de la rupture. Enfin, une introduction sur la modélisation, présentation des matériels informatiques utilisées et les différents modèles de prévision dans logiciel « ARC-GIS».

3 Matériel

3.1 Données climatiques

- les Données observées

Dans le cadre de notre travail, nous avons utilisé les données de la seule station gérée par l'office National météorologique (ONM) qui se trouve dans le bassin côtiers Algérois 02a à savoir la station de Dar El Beida. Les Données de températures mensuelles de température sont disponibles de 1950à2016.

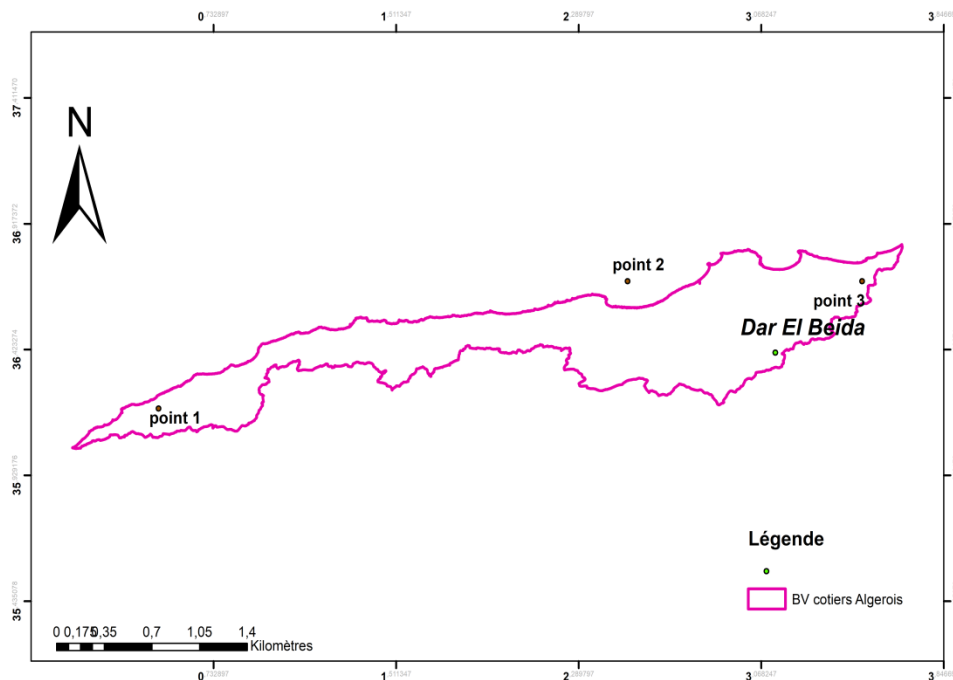


FIGURE III. 1SITUATION GEOGRAPHIQUE DE DE STATION ONM ET LES POINTS SIMULES

Tableau III. 1: Coordonnée Géographique De Station Climatique (ONM)

Nom de station	X	Y	Z(m)	Période d'étude
Dar El Beida (ONM)	003-15E	36-43N	25	1981-2010

➤ **les Données simulées**

Afin d'étudier l'évolution future des températures et des ETP nous avons utilisé les modèles climatiques CMIP6 (Coupled Model intercomparison project) les sorties de modèles de température de cinq modèles ont été téléchargé pour une période historique de 1981 à 2010 ainsi que pour deux périodes de projections climatiques 2031-2060 et 2060 -2080 et pour quatre scénarios climatiques. SSP2.6, SSP4.5, SSP7.0, SSP8.5. Toutes ces données ont été téléchargé le site suivant :

<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>

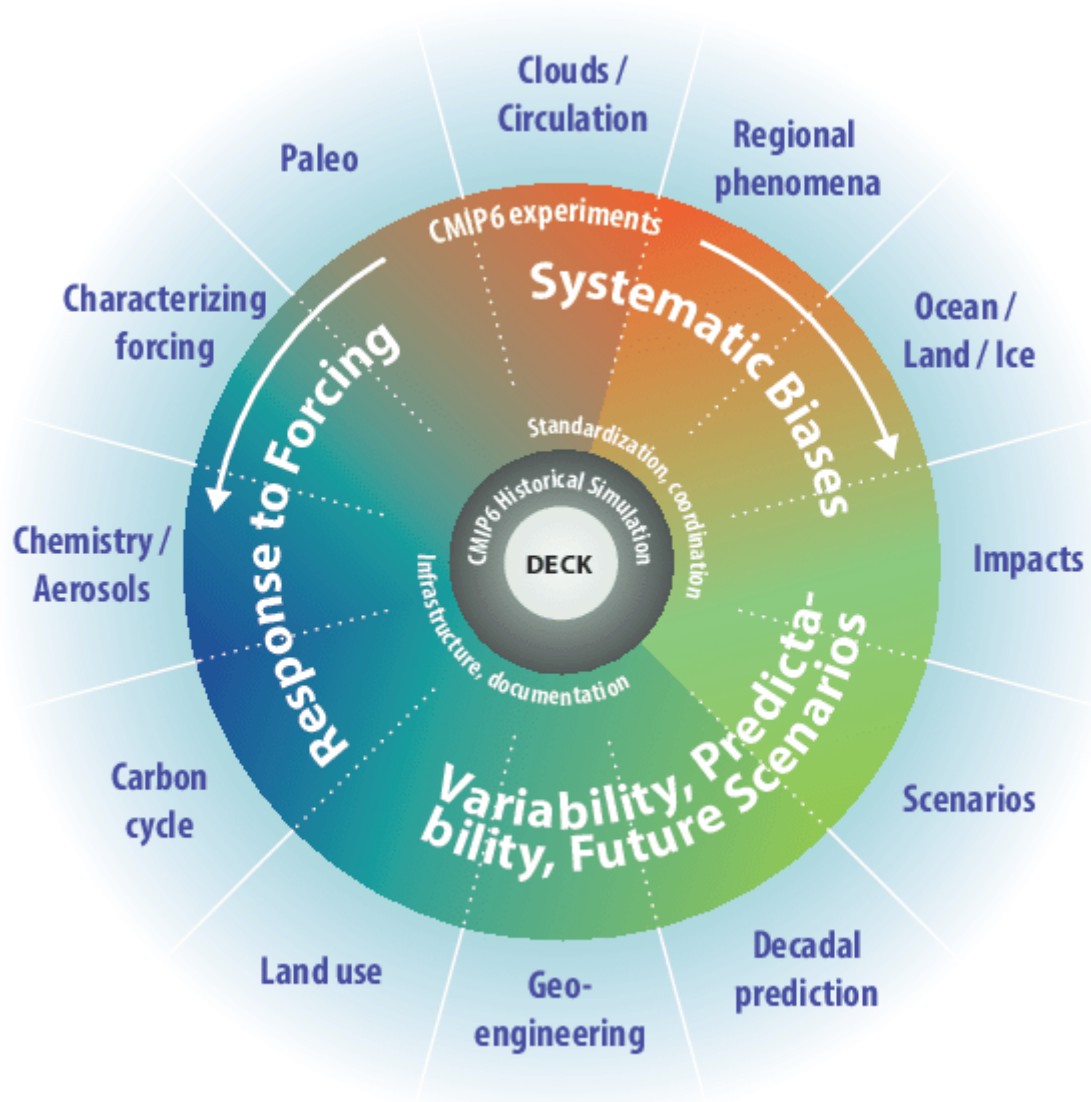


Figure III. 2 : Diagramme Schématique De La Conception CMIP6 (Bony, S.2016)

Le tableau suivant reprend les différentes modèles CMIP6 utilisé dans ce travail avec leurs l'institution et resolution ainsi que les scénarios disponible Exprimment.

Tableau III. 2 modèles Climatiques Régionaux CMIP6.

Modèle climatique regional(MCR)	Institution	Résolution	Expériment
CMCC-CM2-SR5	Centro Euro-Méditerranéen sui Cambiamenti Climatici Italia	1°X1°	Historique, ssp2.6, ssp4.5, ssp7.0, ssp8.5
CMCC-ESM2		1°X1°	Historique ssp2.6, ssp4.5, ssp7.0, ssp8.5
AWI-ESM-1-1-LR	Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research (Germany)	1,88°X1.88°	Historique, ssp2.6, ssp4.5, ssp7.0, ssp8.5
CNRM-CM6-1-HR	France	0.5°X0.5°	Historique, ssp2.6, ssp4.5, ssp7.0, ssp8.5
MIROCES2H	Centre de recherche sur le climat de la Terre (MIROC) Japon	1,4°X 1,4°	Historique ssp2.6, ssp4.5, ssp7.0, ssp8.5

3.2 Système d'information géographique Arc-Gis

Arc-Gis est un système complet de logiciels et de services d'information géographique (SIG) développé par la société américaine Esri.

Les informations géographiques peuvent être collectées, organisées, gérées, analysées, communiquées et distribuées.

Les différentes fonctionnalités d'Arc-Gis ont permis dans le cadre de notre travail de :

- Réaliser les différentes cartes présentées dans la présentation de la zone d'étude
- Lire des fichiers Net.cdf afin d'extraire les données simulées par les modèles climatiques utilisés.
- Faire une interpolation en utilisant la méthode de pondération inverse de la distance (IDW). Cette méthode estime les valeurs inconnues en spécifiant la distance de recherche, les points les plus proches, le réglage de la puissance et les barrières.

3.3 Méthodes

3.3.1 Formule de Thornthwaite (1948)

Compte tenu des données disponibles, nous avons utilisé la méthode de Thornthwaite pour le calcul des ETP à l'échelle de la zone d'étude

Thornthwaite a introduit la notion d'évapotranspiration potentielle ou ETP qui représente la quantité d'eau maximale susceptible d'être évaporée par une végétation couvrant complètement et uniformément le sol, alimentée en eau de façon optimale et s'étendant sur une surface assez grande (Ardoin, 2000).

$$ETP = 16 \times \left(\frac{10 \times t}{I} \right)^a \times F(m, \lambda)$$

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

$$a = 0,016 \times I + 0,5$$

avec

T: température moyenne de l'air pour la période considérée;

I: indice thermique annuel;

F(m, λ): facteur correctif fonction du mois et de la latitude;

a: fonction complexe de l'indice;

3.3.2 Tests statistiques de Pettitt

Pour analyser les changements de moyennes observés dans l'évolution des températures et des ETP nous avons utilisé le test de Pettitt.

Le test de Pettitt est un test non paramétrique qui ne nécessite aucune hypothèse quant à la distribution des données. Il s'agit d'une adaptation du test de Mann-Whitney qui

permet d'identifier l'instant auquel le changement se produit. Il est utilisé pour détecter les changements dans une série chronologique, ce qui le rend particulièrement utile pour analyser des données environnementales telles que les précipitations, la température ou le débit des rivières.

Les étapes sont les suivantes : la série étudiée est divisée en deux sous-échantillons de tailles m et n respectivement, puis les valeurs des deux échantillons sont regroupées et classées par ordre croissant. La somme des rangs des composantes de chaque sous-échantillon de total l'échantillon est ensuite calculé. Une statistique, U , est définie à partir des deux sommes ainsi obtenues afin d'évaluer si les deux échantillons appartiennent à la même population.

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

La formulation du test de Pettitt est la suivante :

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

$$0 \text{ si } X=0$$

$$-1 \text{ si } X < 0$$

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

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

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

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

On calcule ensuite p probabilité de dépassement de la valeur K

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

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

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

Ce test est plus particulièrement sensible à un changement de moyenne. Il permet ainsi de détecter la date de la rupture. (Maftai, et al. 2011)

$\text{Sign}(X_k - X_i) = +1$ si $(X_k - X_i) > 0$

0 si $(X_k - X_i) = 0$

-1 si $(X_k - X_i) < 0$

Conclusion

En analysant les données sur les températures et les évapotranspirations, grâce à ces analyses, nous pouvons mieux comprendre le changement climatique planétaire, gérer efficacement les ressources en eau et soutenir l'agriculture.

L'utilisation des modèles climatiques régionaux et test statistique permet d'évaluer un changement ou pas et s'il y a ça a été une rupture ou pas.

Chapitre IV : Résultats et discussion

Introduction

Dans ce travail on a traité des données climatiques qui été mesurées dans la région d'étude. Ceci à travers la collecte des paramètres climatiques (température, évapotranspiration) de 30ans. Ce chapitre Ainsi pour évaluer l'évolution future des températures et des ETP, et analyser la rupture des séries de température et ETP annuelle et mensuelle du bassin de côtiers Algérois historique 1950-2016 et future pour deux période (2031-2060) (2051-2080).

4 Analyse de la variabilité des températures et des ETP

Le test de Pettitt indique que la période détude est caractérisée par un changement significatif des températures qui dépasse 0,7°C et des ETP qui 29,9mm à la station d'Alger.

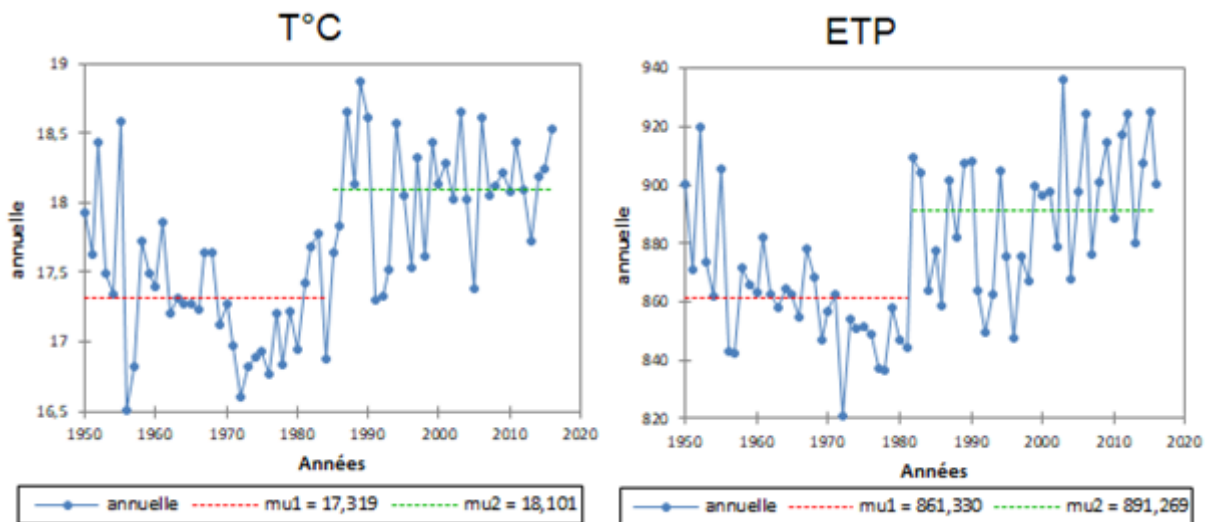


Figure IV. 1 l'évolution annuelle du température et ETP au cours de la période (1950-2016)

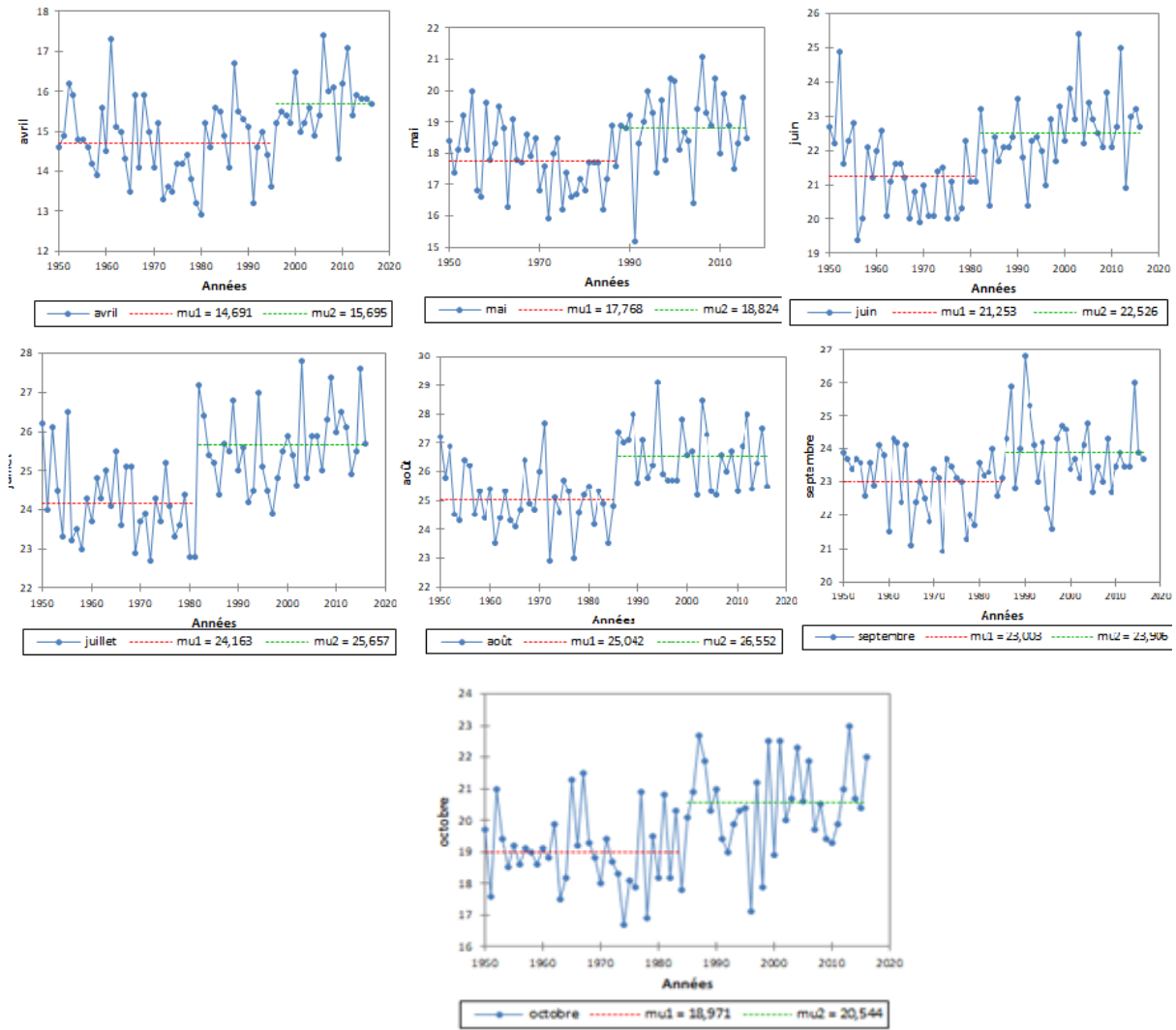


Figure IV. 2 évolution des températures mensuelle au cours de la période 1950-2016 en utilisant le test de pettitt

A l'échelle mesnuelle, le test de Pettitt met en évidence un changement significatif des températures aux mois d'avril à octobre, qui se traduit pas une augmentation de 0,9°C à 1,5°C à la station d'Alger.

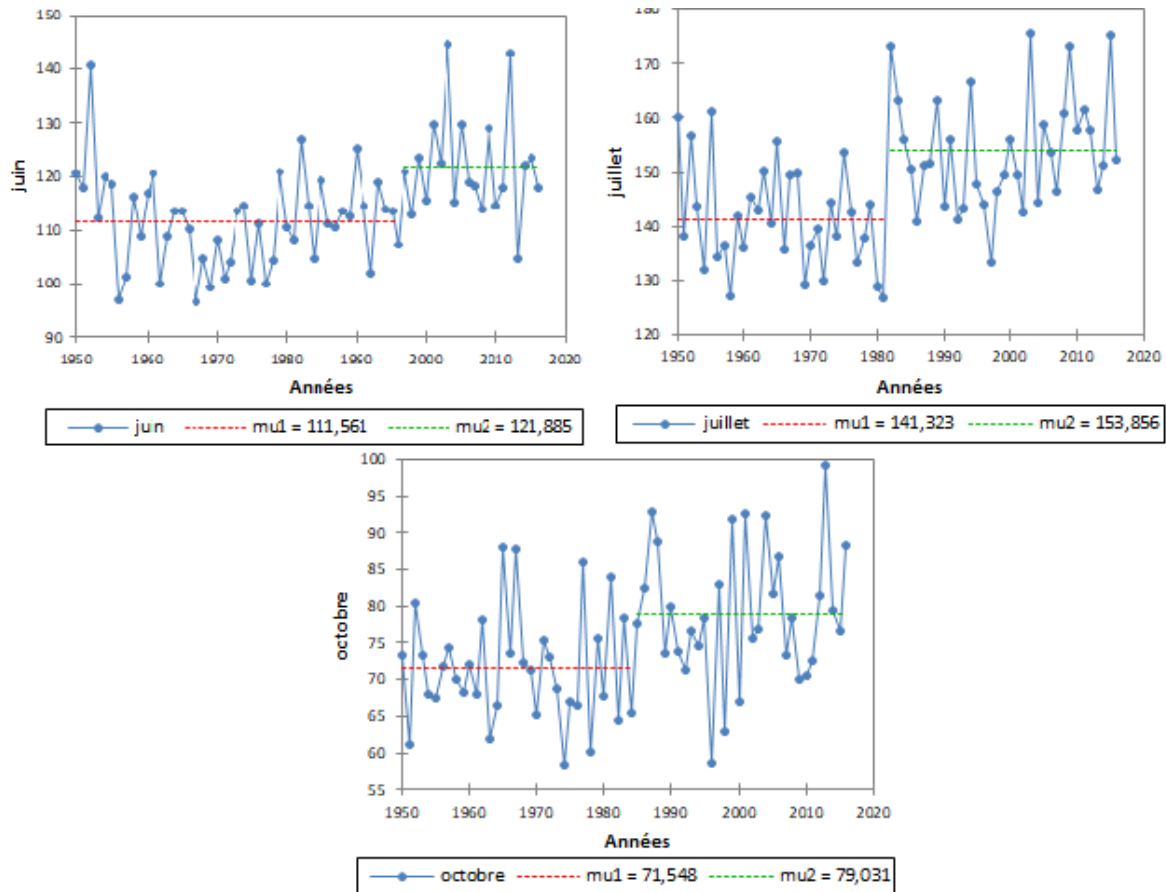


Figure IV. 3évolution des ETP mensuelle au cours de la période 1950-2016) en utilisant le test de Pettitt

Un changement significatif des ETP mensuelle est observé aux mois d’été et octobre, qui dépasse 12mm à la station d’Alger.

4.1 Évaluation des modèles climatiques CMIP6

Dans cette section, nous évaluons les performances de 5 modèles climatiques régionaux résumés dans le tableau suivant :

Tableau IV. 1 les cinq modèles CMIP6 évalués

Modèle	Résolution
CNRM-CM6-1-HR	0,5° x 0,5°
CMCC-CM2-SR5	1° x 1°
CMCC-ESM2	1° x 1°
MIROC ES2H	1,4° x 1,4°
, AWI-ESM-1-1-LR	1,88° x 1,88°

En comparant les données de températures simulées par les modèles avec les observations au cours de la période référence (1981-2010). Même si les modèles choisis présentent la plus fine résolution de CMIP6, les données simulées d'un point de maille ne correspondent pas parfaitement aux coordonnées géographiques exactes de la station observée. Cette différence affecte sensiblement la qualité des résultats obtenue. C'est pour cette raison que l'interprétation des résultats repose sur l'estimation du biais par la formule suivante qui nous permet de choisir le ou les modèles les plus performants :

$$\text{Biais} = T_{\text{estimée}} - T_{\text{observée}}$$

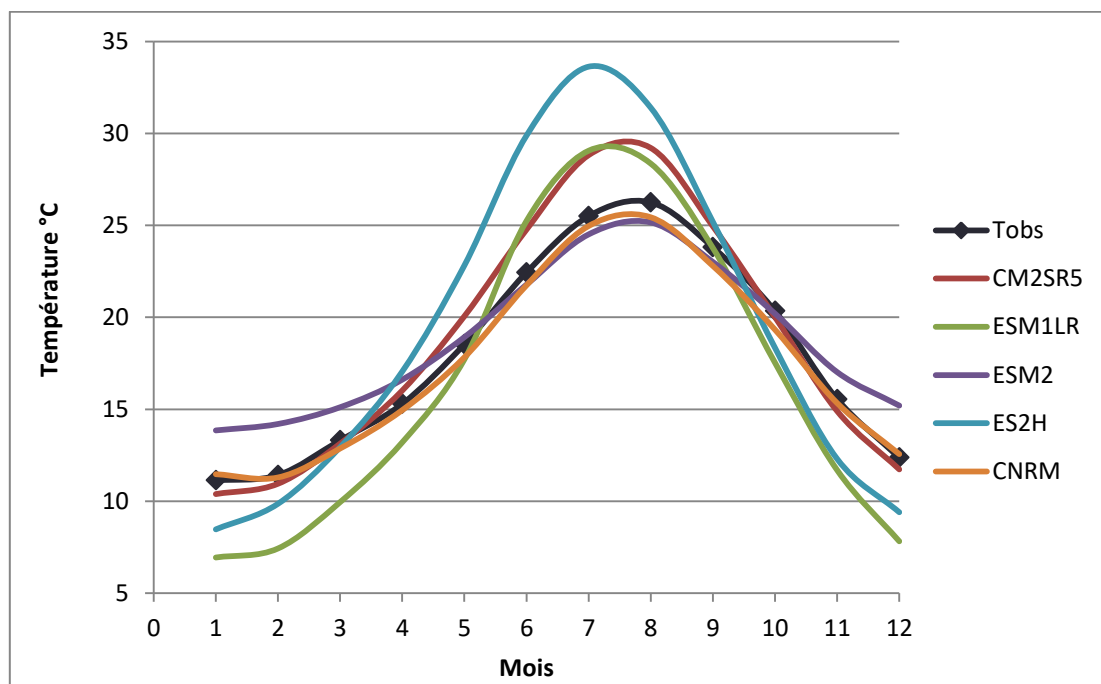


Figure IV. 3: Représentation De La Température Par Les Modelés Climatiques

La comparaison entre la variabilité mensuelle des températures observées avec les températures simulées par les cinq modèles au cours de période de référence (1981-2010) montrent de manière générale que les modèles ont tendance à surestimer les températures durant la saison chaude et sous-estimer les températures durant la période froide. Toutefois le modèle CNRM-CM6-1-HR est celui qui simule de manière satisfaisante les températures observées de la zone d'étude.

Le biais calculé permet de classer les modèles comme suit :

- CNRM
- CM2SR5
- ESM2
- ES2H
- ESMLR

A l'échelle annuelle, le modèle CNRM présente le plus faible biais alors que le modèle ESMLR présente le biais le plus important qui dépasse 1°C.

A l'échelle mensuelle les biais estimés montrent que le modèle CNRM présente également les plus faibles biais pour l'ensemble des mois contrairement aux autres modèles qui sous-estiment (ESMLR, ES2H) ou surestiment (CM2SR5, ESM2, ES2H) fortement les températures mensuelles.

Les résultats du biais montrent que ce sont les simulations du modèle CNRM qui se rapprochent le plus du zéro pour la majorité des mois comparé aux autres modèles.

Ainsi pour évaluer l'évolution future des températures et des ETP, nous utiliserons les simulations du modèle CNRM.

Tableau IV. 2 le biais estime entre les températures observées et simulées au cours de la période de référence (1981-2010)

Biais	jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	an
CM2SR5	-0,74	-0,47	-0,18	0,72	1,53	2,33	3,31	2,96	1,14	-0,33	-0,65	-0,64	0,74
ESMLR	-4,19	-3,99	-3,36	-2,09	-0,82	2,8	3,55	2,11	-0,03	-2,81	-3,86	-4,55	-1,43
ESM2	2,72	2,78	1,8	1,32	0,39	-0,66	-0,99	-1,09	-0,79	-0,14	1,47	2,83	0,8
ES2H	-2,66	-1,56	-0,37	1,76	4,29	7,44	8,12	5,15	1,38	-2	-3,25	-2,97	1,27
CNRM	0,34	-0,12	-0,44	-0,33	-0,7	-0,7	-0,53	-0,81	-1,01	-1,01	-0,21	-0,19	-0,44

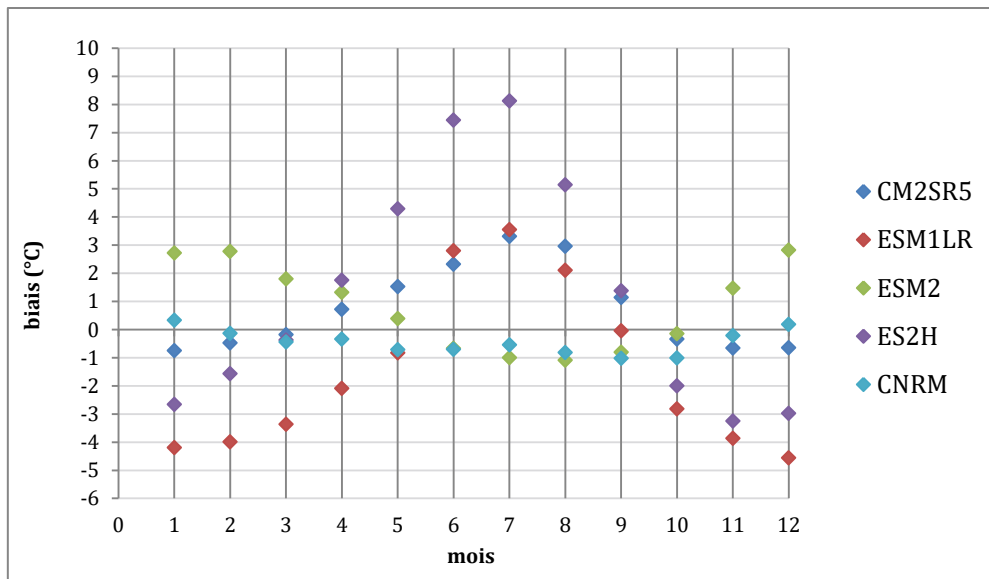


Figure IV. 4: représentation de biais estimé entre les températures observées et simulées

4.2 Projections climatiques

4.2.1 Projection des températures future à Moyen terme (2031-2060)

Afin d'analyser l'impact des changements climatiques sur le côtière algérois 02A, les données des températures simulées par le modèle « CNRM-CM6-1-HR » sous deux scénarios de ensembles d'hypothèses socio-économiques SSP4.5 et SSP8.5 ont été utilisées.

Pour chaque point les données simulées projetées à court terme (2031-2060) et long terme (2051-2080) ont été extraites à partir du fichier net cdf téléchargés sur le site CMIP6 en utilisant ARC-GIS. Pour évaluer l'évolution future des températures, un biais est calculé qui correspond à la différence de température entre la période de projection et la période historique.

L'estimation du biais ou du coefficient d'échange correspond la différence entre la température entre la période de projection et la période historique

La Figure IV-4 représente la variabilité annuelle des températures moyennes de la période historique (1981-2010) et la période de projection à court terme (2031-2060) de deux scénarios SSP4.5 et SSP8.5.

L'évolution future des températures annuelle simulées par le modèle CNRM montre une augmentation de 1.89°C pour le SSP4.5 et 2.1°C pour le SSP8.5 qui se fait selon un gradient est-ouest.

Le scénario SSP4.5 met en évidence une augmentation des températures qui touche beaucoup plus la partie de Cherrhell et l'ouest du bassin, alors que le SSP8.5 indique une augmentation des températures qui touche l'ensemble du bassin.

Figure IV-6 représente la différence de température moyenne simulée entre la période historique (1981-2010) et la période de projection à moyen terme (2031-2060) pour le modèle CNRM de deux scénarios SSP4.5 SSP8.5.

Montrent que une augmentation de température sur les deux scénarios par rapport la période historique,

L'estimation du biais ou du coefficient d'échange correspond la différence entre la température entre la période de projection et la période historique

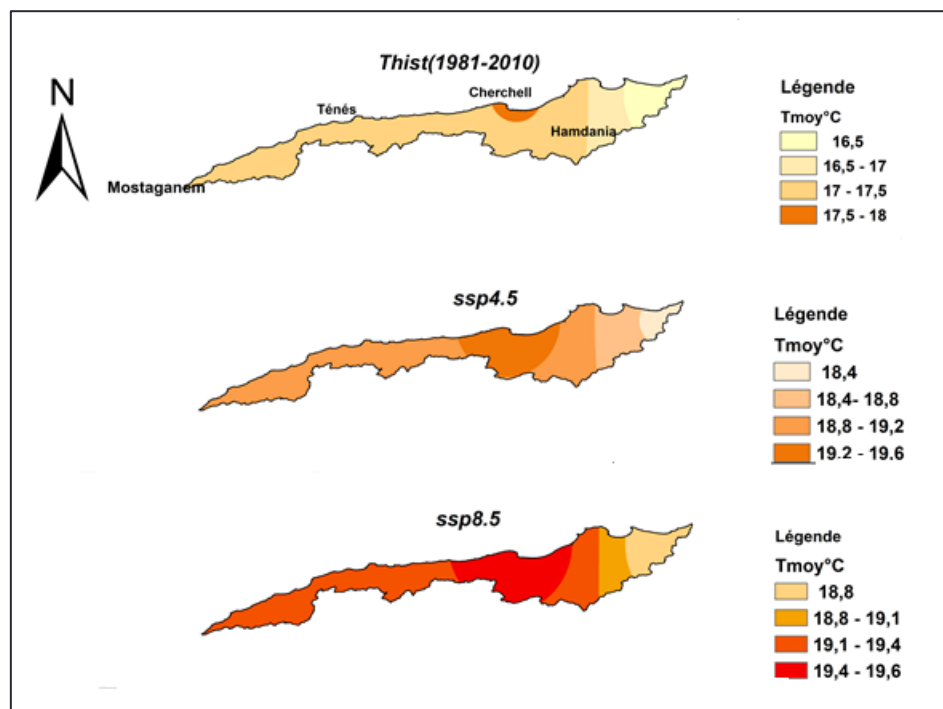


Figure IV. 5 variabilité des températures au cours de la période historique (1981-2010), et la période de projection (2031-2060) selon les ssp4.5 et ssp8.5

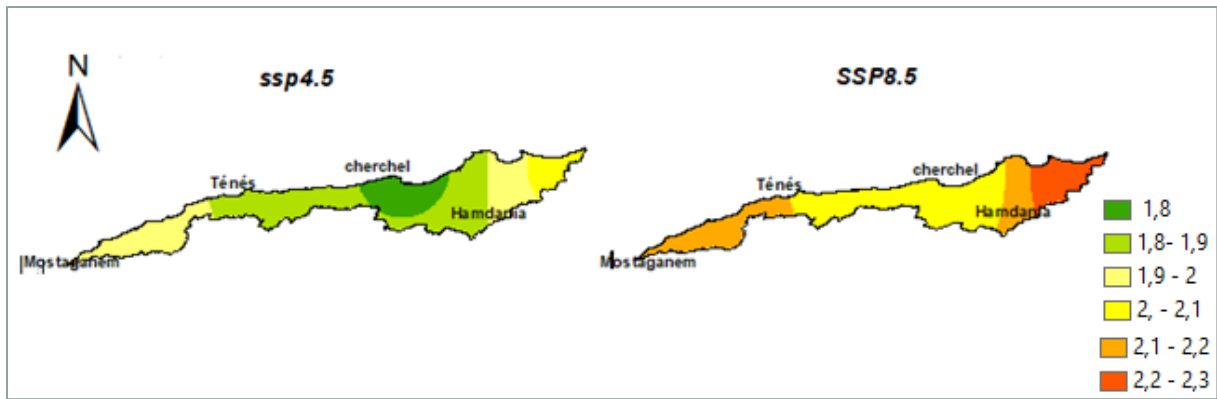


Figure IV. 6 variation des températures au cours de la période de projection (2031-2060) selon le ssp4.5 et ssp8.5

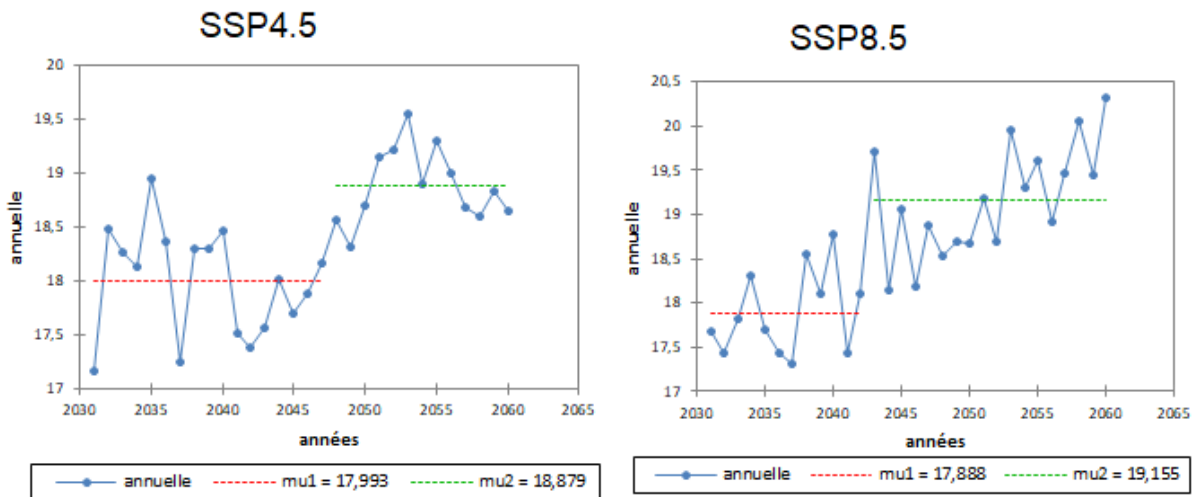


Figure IV. 7 évolution des températures annuelles au cours de la période 2031-2060 selon le SSP4.5 et SSP 8.5 en utilisant le test de pettitt

Le test de Pettitt indique que les deux scénario SSP4.5 et SSP8.5 prédisent un changement significatif des températures qui dépasse 1°C à la station d’Alger.

Tableau IV. 3: le biais estime entre les températures historique et future (2031-2060)

Biais%	Jan	fév.	Mars	Avr.	Mai	Jui	juil.	Aout	Sep	oct	Nov	Déc
SSP4.5	1,88	1,89	1,4	1,17	1,70	2,26	1,92	2,07	2,26	1,48	1,52	1,69
SSP8.5	1,78	2,15	1,34	1,48	2,54	2,40	2,67	2,44	2,44	1,63	1,40	1,72

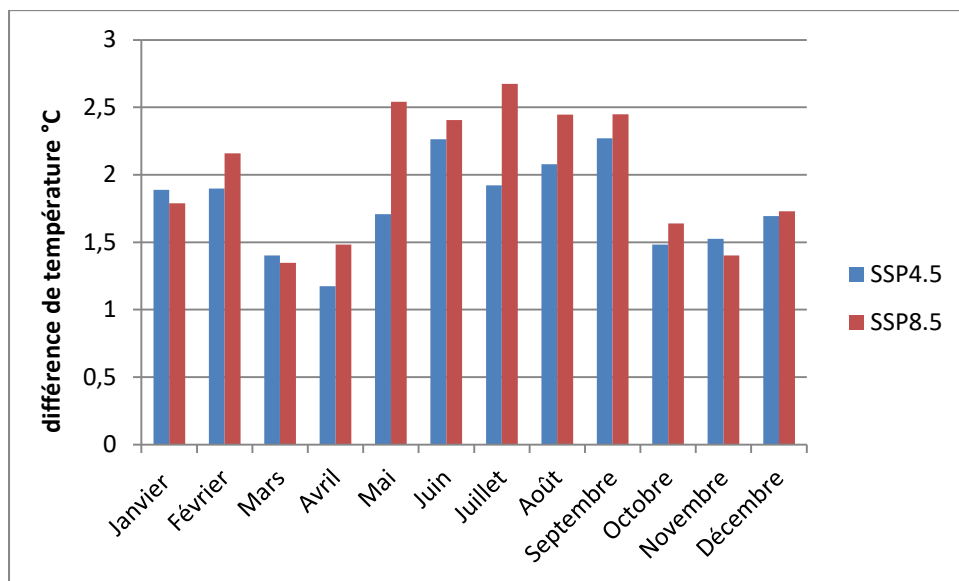


Figure IV. 8 variation des températures selon les scénarios SSP4.5, SSP8.5 a l'horizon (2031-2060)

A l'échelle mensuelle, l'ensemble des mois indique une augmentation qui dépasse 1°C. Les mois d'été indiquent une augmentation des températures de plus de 2°C. Le scénario SSP8.5 prédit une augmentation des températures plus importantes que le SSP 4.5.

Les mois janvier mars Novembre montrent une variation 1,4°C à 1,88°C entre le scénario SSP4.5 et 1,3°C à 1,7°C entre le scénario SSP8.5.

Au mois Février et les mois Avril à Octobre et Décembre Nous constatons une augmentation 1,4°C et 2,2°C pour le scénario SSP4.5 et 1,4°C et 2,6°C pour le scénario SSP8.5.

L'analyse de l'évolution des températures en utilisant le test de pettitt au cours de la période 2031-2060 montre que les mois d'avril, mai et juin présentent respectivement une augmentation 1,8°C, 2,1°C et 1,8°C pour le scénario SSP4.5.

Alors que le scénario SSP8.5, prédit une augmentation des températures aux mois de janvier, mars, mai, juillet, septembre et octobre qui varie entre 1,4°C et 2,7°C.

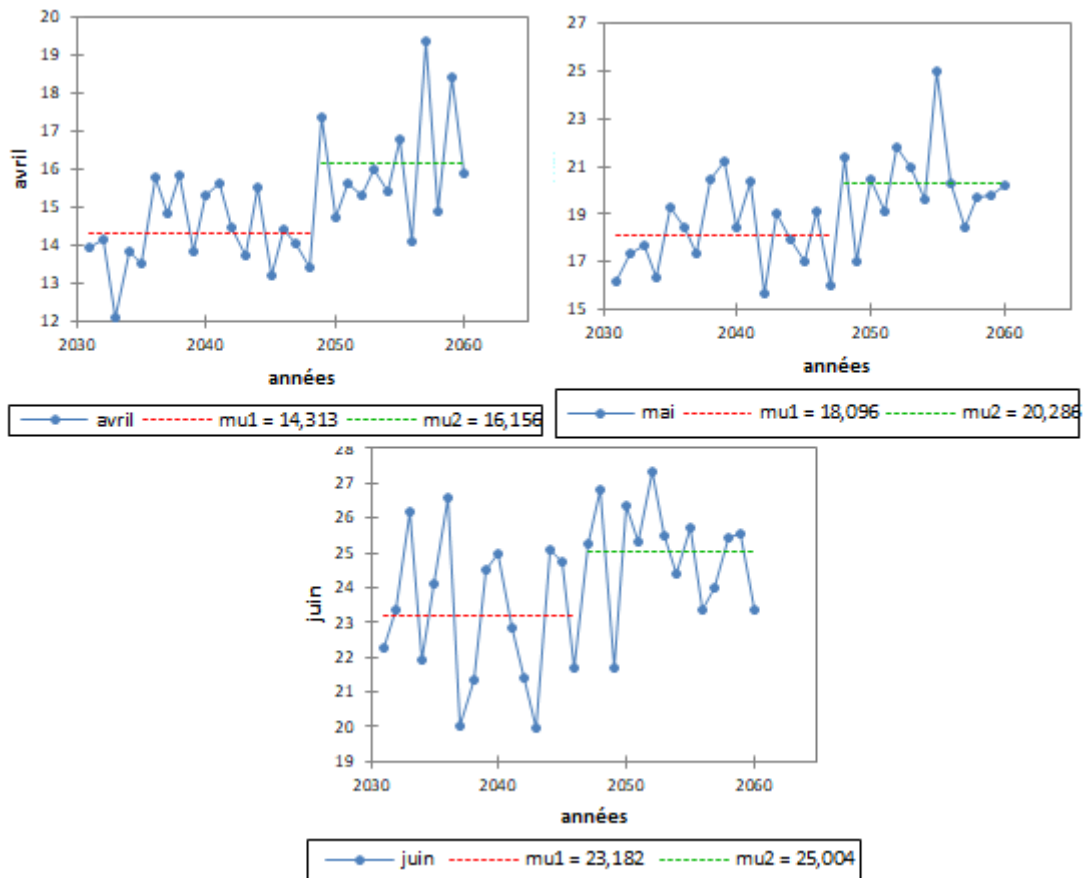


FIGURE IV. 9: évolution des températures mensuelles au cours de la période 2031-2060 selon le SSP4.5 en utilisant le test de pettitt

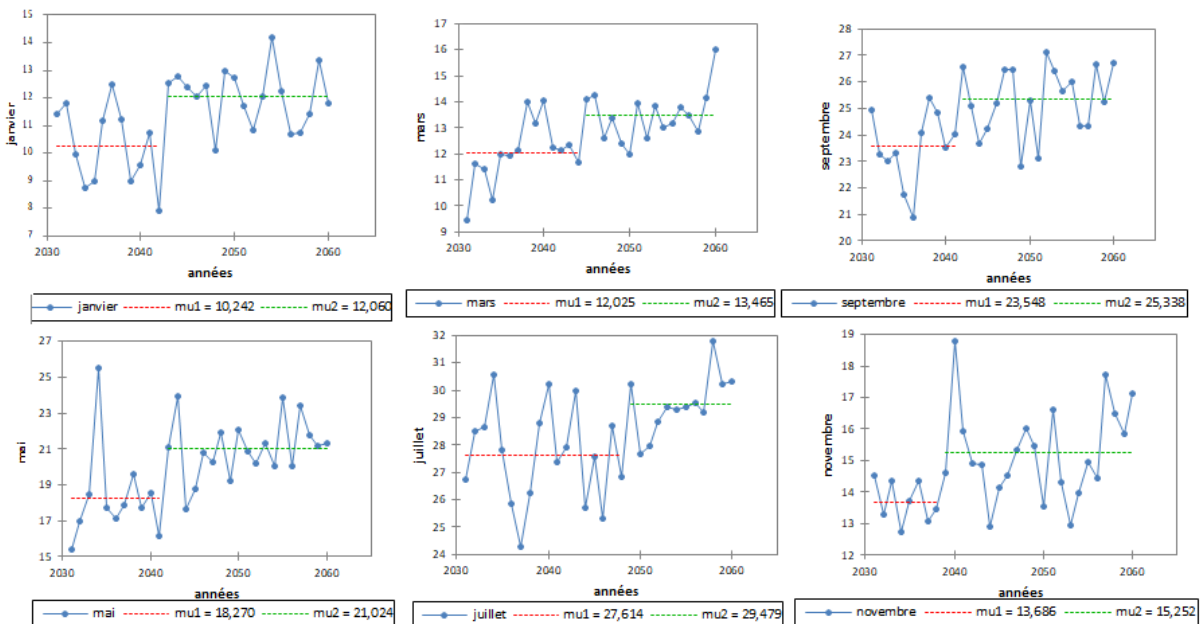


FIGURE IV. 10: évolution des températures mensuelle au cours de la période 2031-2060 selon le SSP8.5 en utilisant le test de pettitt

4.2.2 projections des ETP à moyenne terme

Pour évaluer l'évolution future des ETP, un coefficient d'échange est calculé qui correspond à la formule suivant :

$$Biais = \frac{ETP_{hist} - ETP_{simulé}}{ETP_{hist}}$$

La Figure représente la variabilité annuelle des ETP moyennes de la période historique (1981-2010) et la période de projection à moyen terme (2031-2060) de deux scénarios SSP4.5 et SSP8.5.

L'évolution future des ETP annuelle simulées par le CNRM montre une augmentation de 7,6% et 8,8% pour le SSP4.5 et 9,2% et 11,2% pour le SSP8.5 qui se fait selon un gradient Est-Ouest.

Le scénario SSP4.5 met en évidence une augmentation des ETP qui touche beaucoup plus la partie de Cherchell et l'ouest du bassin, alors que le SSP8.5 indique une augmentation des ETP qui touche l'ensemble du bassin.

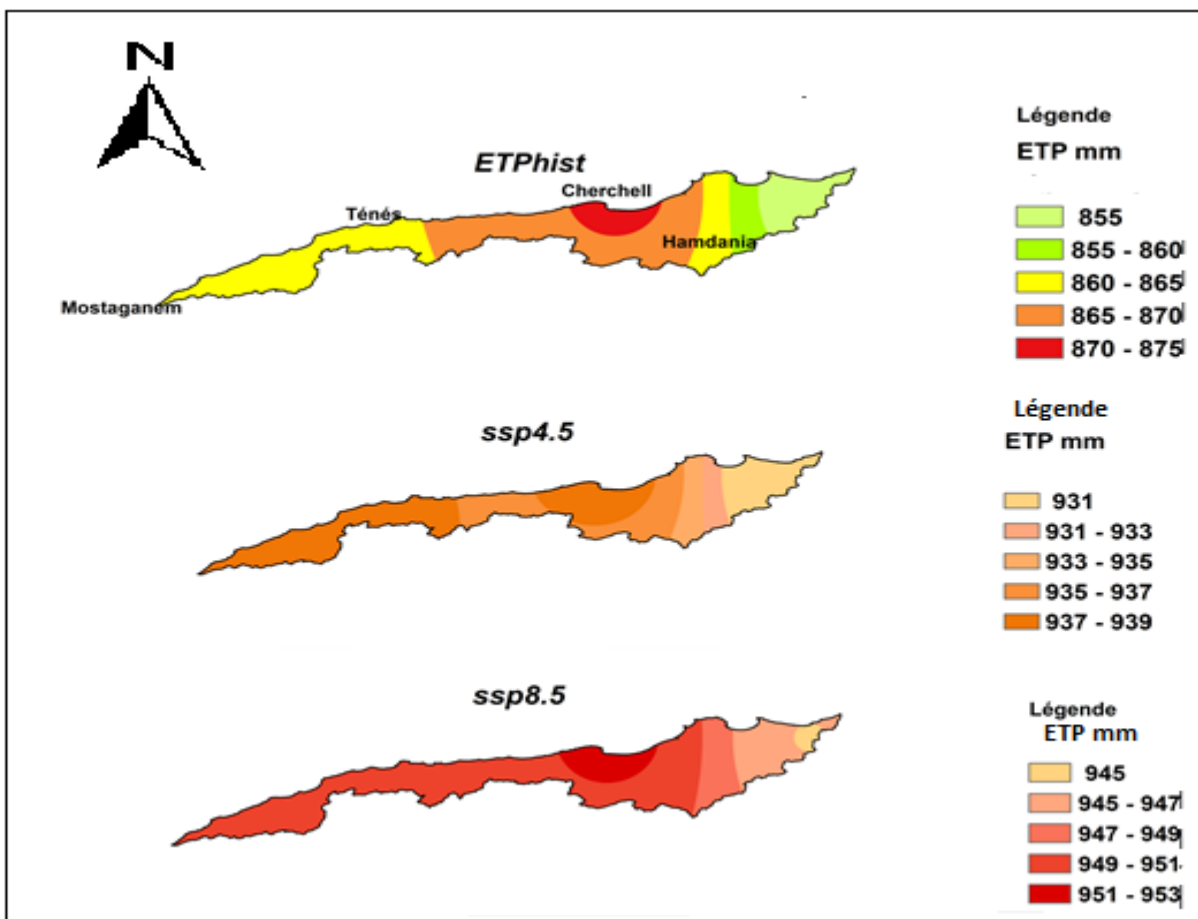


Figure IV. 11 variabilité des ETP au cours de la période historique (1981-2010), et la période de projection (2031-2060) selon les ssp4.5 et ssp8.5

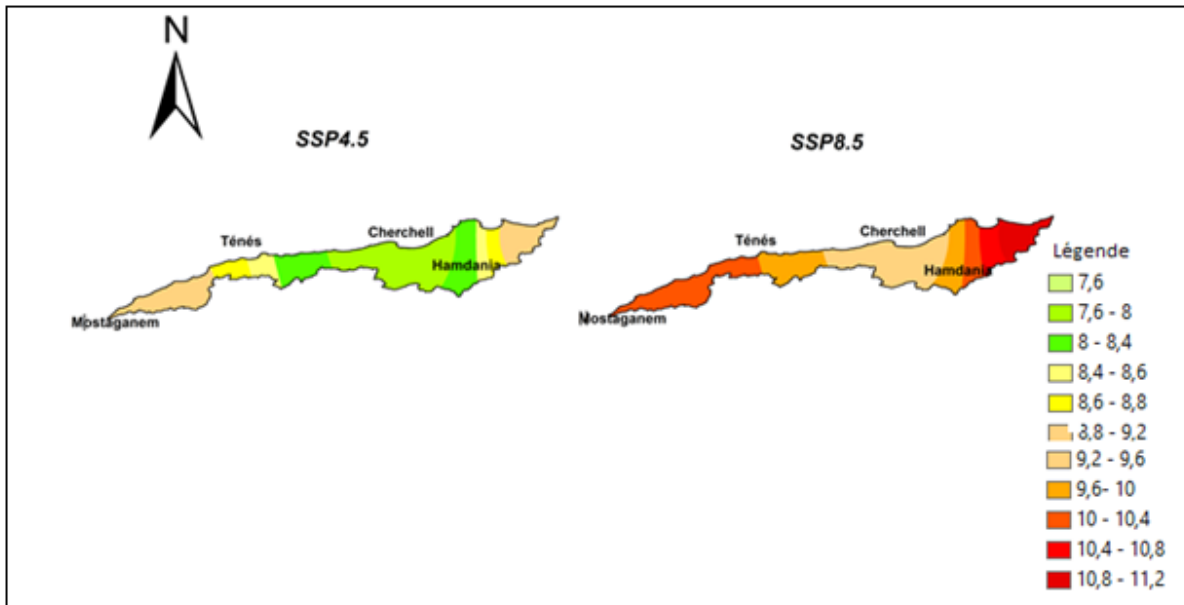


Figure IV. 12 coefficient d'échange au cours de la période de projection (2031-2060) selon le ssp4.5 et ssp8.5

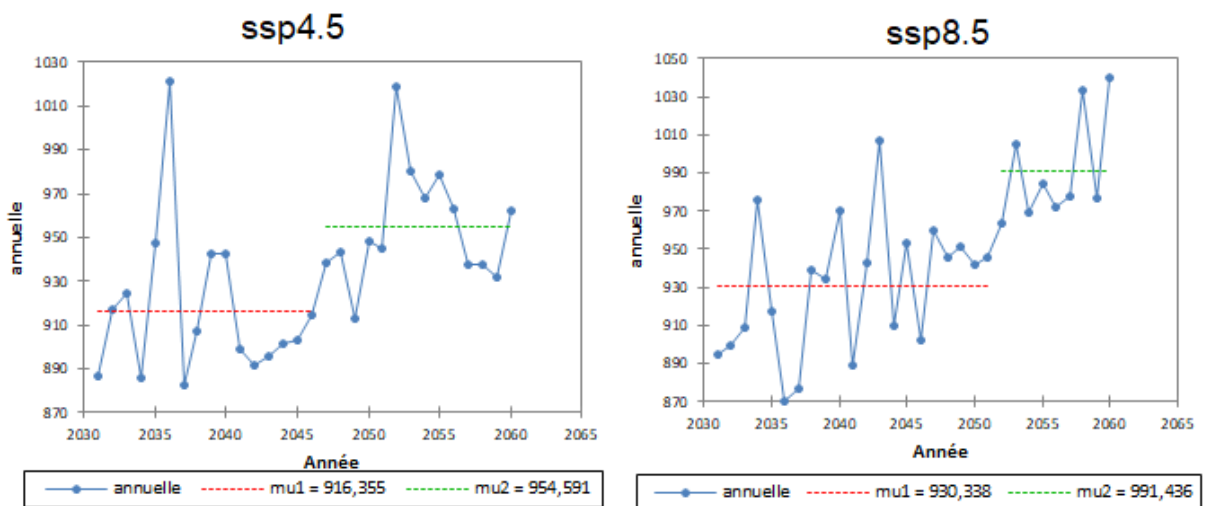


Figure IV. 13 évolution des ETP annuelles au cours de la période 2031-2060 selon le SSP4.5 et SSP 8.5 en utilisant le test de pettitt

Le test de Pettitt indique que les deux scénario SSP4.5 et SSP8.5 prédisent un changement significatif des ETP qui 38,23mm et 61,09mm à la station d'Alger.

Tableau IV. 4le Biais Estime Entre ETP Historique Et Future (2031-2060)

Biais%	Janv.	Fév	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
SSP4.5	9,02	9,34	1,03	-1,54	5,35	11,38	8,92	10,30	11,51	3,34	2,88	5,38
SSP8.5	4,30	10,54	-2,42	-0,02	13,76	11,41	14,26	12,45	11,95	3,27	-0,87	3,07

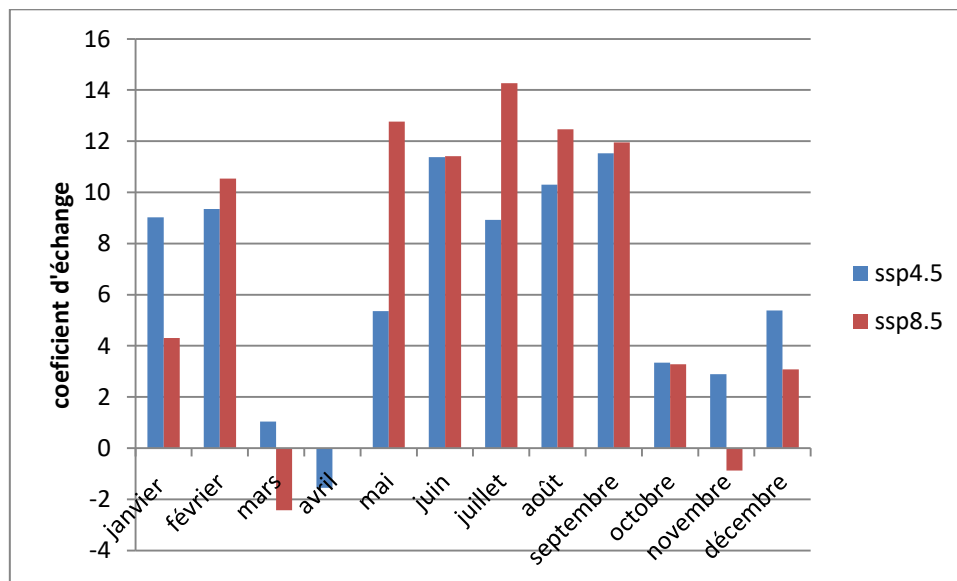


Figure IV. 14: Variation Des ETP 1981-2010 Pour Les Deux Scenarios Ssp4.5, Ssp8.5 (2031-2060)

A l'échelle mensuelle, l'ensemble des mois indiquent une augmentation qui dépasse 11%. Les mois été indiquent une augmentation des ETP de plus 11% et les mois d'automne indiquent une augmentation 5,38% . Cependant, une diminution a été indiquée dans le mois d'avril. Le scénario SSP8.5 prédit une augmentation des ETP plus importantes surtout en d'été que le SSP4.5.

Le test de Pettitt indique que le scénario SSP8.5 prédisent un changement significatif 16,18mm et 15,19mm au mois de mai et juillet.

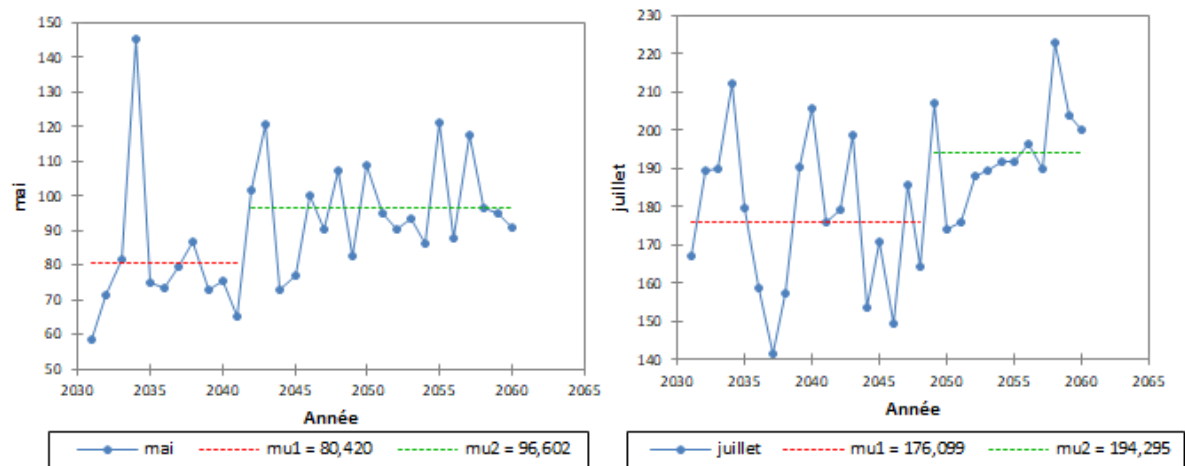


Figure IV. 15 évolution des ETP mensuelle au cours de la période 2031-2060 selon le SSP8.5 en utilisant le test de Pettitt

4.2.3 Projection de température à long terme (2051-2080)

La figure représente la variabilité annuelle des températures moyennes de la période historique (1981-2010) et la période de projection à long terme (2051-2080) de deux scénarios SSP4.5 et SSP8.5.

L'évolution future des températures annuelle simulées par le modèle CNRM montre une augmentation de 2,5°C pour le SSP4.5 et 3,6°C pour le SSP85 qui se fait selon un gradient Est-Ouest.

Le scénario SSP4.5 met en évidence une augmentation des températures qui touche beaucoup plus la partie de Cherchell et l'ouest du bassin, alors que le SSP8.5 indique une augmentation des températures qui touche l'ensemble du bassin.

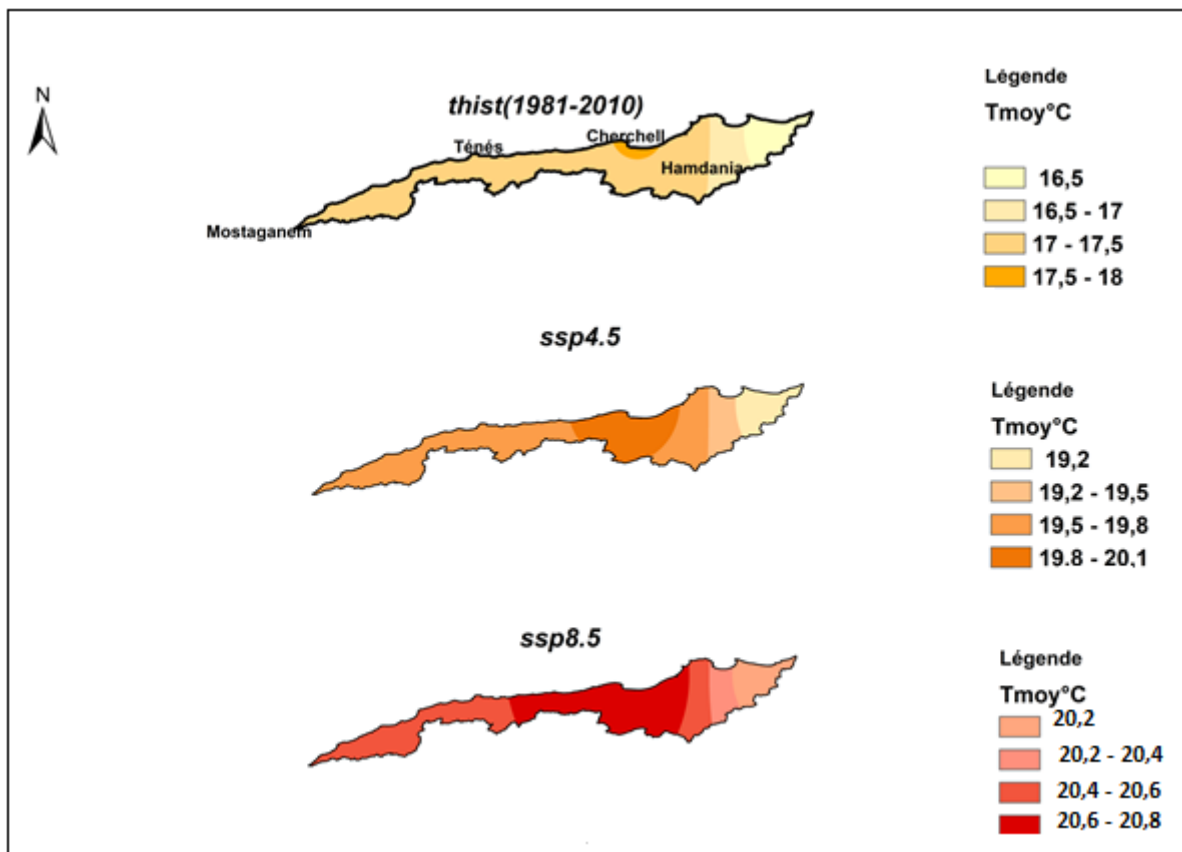


Figure IV. 16 variabilité des températures au cours de la période historique (1981-2010), et la période de projection (2051-2080) selon les SSP4.5 ET SSP8.5

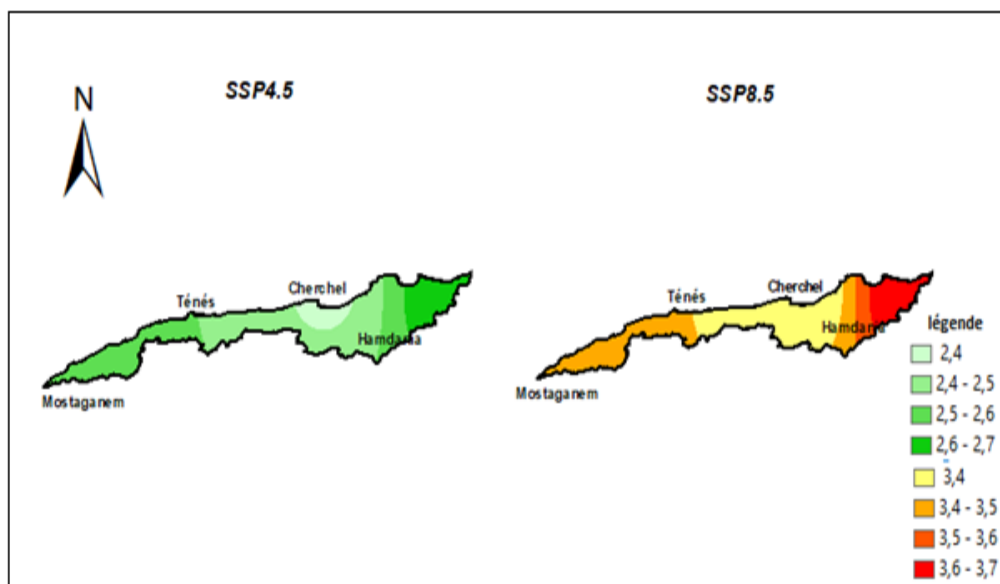


Figure IV. 17 variation des températures au cours de la période de projection (2051-2080) selon le SSP4.5 et SSP8.5

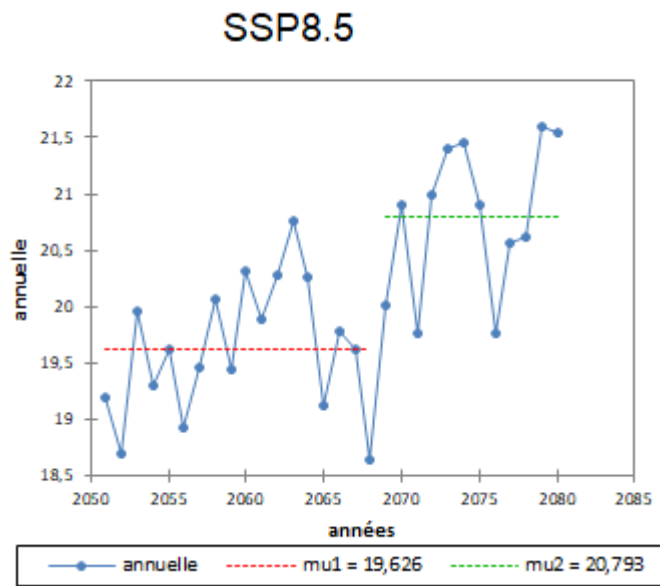


Figure IV. 18 évolution des températures annuelles au cours de la période 2051-2080 selon le ssp8.5 en utilisant le test de pettitt

Le test de Pettitt indique que le scénario SSP8.5 prédit un changement significatif des températures qui dépasse 1°C à la station d'Alger.

Tableau IV. 5 le biais simulé entre la température simulée historique et future (2051-2080)

Biais	jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
SSP4.5	1,86	2,28	2,19	2,14	3,05	3,08	3,25	3,22	2,92	2,54	2,11	1,94
SSP8.5	2,79	3,41	2,74	2,98	3,72	3,99	4,37	4,24	4,30	3,27	3,05	2,42

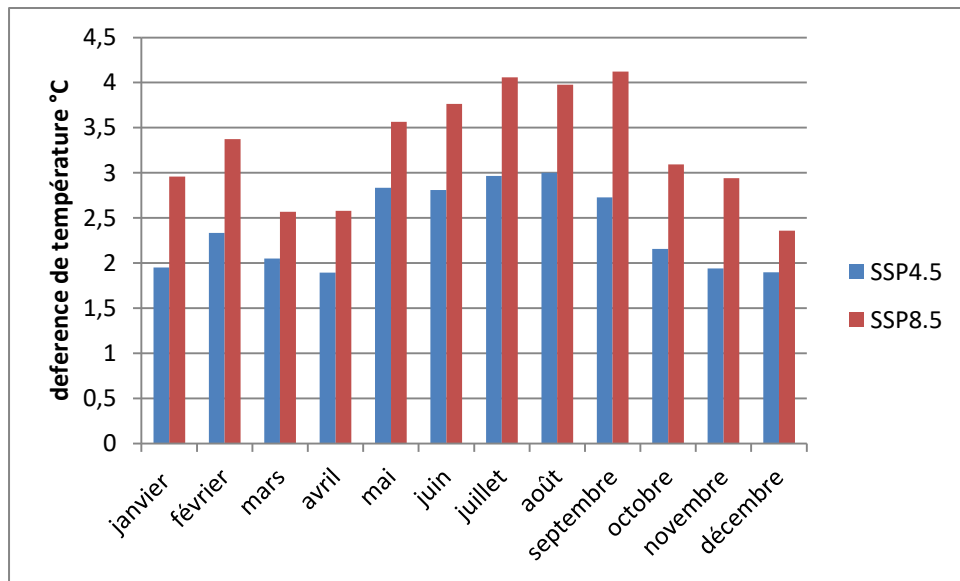


Figure IV. 19: variation de température selon les scénarios ssp4.5, ssp8.5 a l’horizon (2051-2080)

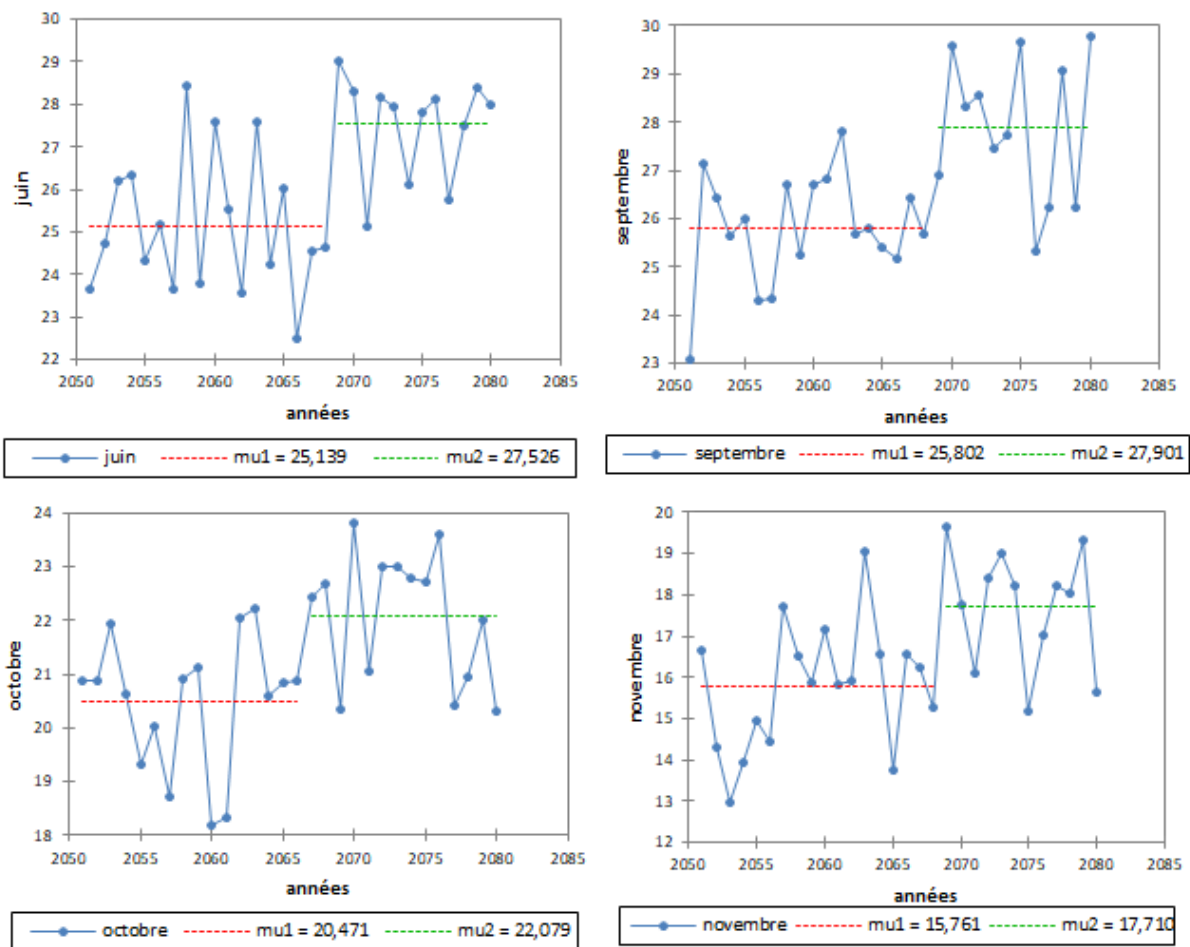


Figure IV. 20 évolution des températures mensuelle au cours de la période 2051-2080 selon le ssp8.5 en utilisant le test de pettitt

A l'échelle mensuelle, l'ensemble des mois indique une augmentation qui dépasse 1,5°C. Les mois d'été indiquent une augmentation des températures de plus de 2,5°C. Le scénario SSP8.5 prédit une augmentation des températures plus importantes que le SSP 4.5. Le test de Pettitt indique que le scénario SSP8.5 prédissent un changement significatif dans l'été et l'automne

4.2.4 Projection de ETP à long terme (2051-2080)

La figure représente la variabilité annuelle des ETP moyennes de la période historique (1981-2010) et la période de projection à long terme (2051-2080) et de deux scénarios SSP4.5 et SSP8.5.

L'évolution future des ETP annuelle simulées par le modèle CNRM montre une augmentation de 13,5% pour le SSP4.5 et 18,5% pour le SSP8.5 qui se fait selon un gradient Est-Ouest.

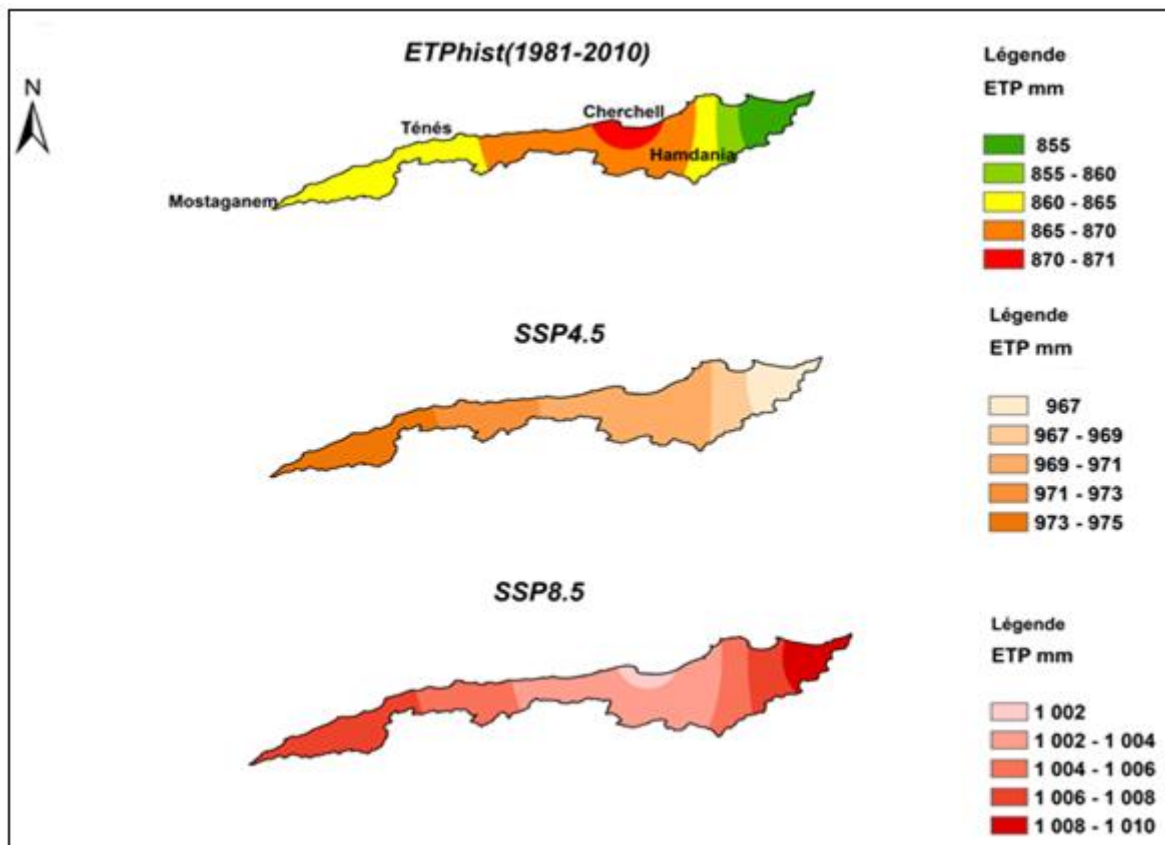


Figure IV. 21 variabilité des ETP au cours de la période historique (1981-2010), et la période de projection (2051-2080) selon les SSP4.5 et SSP8.5

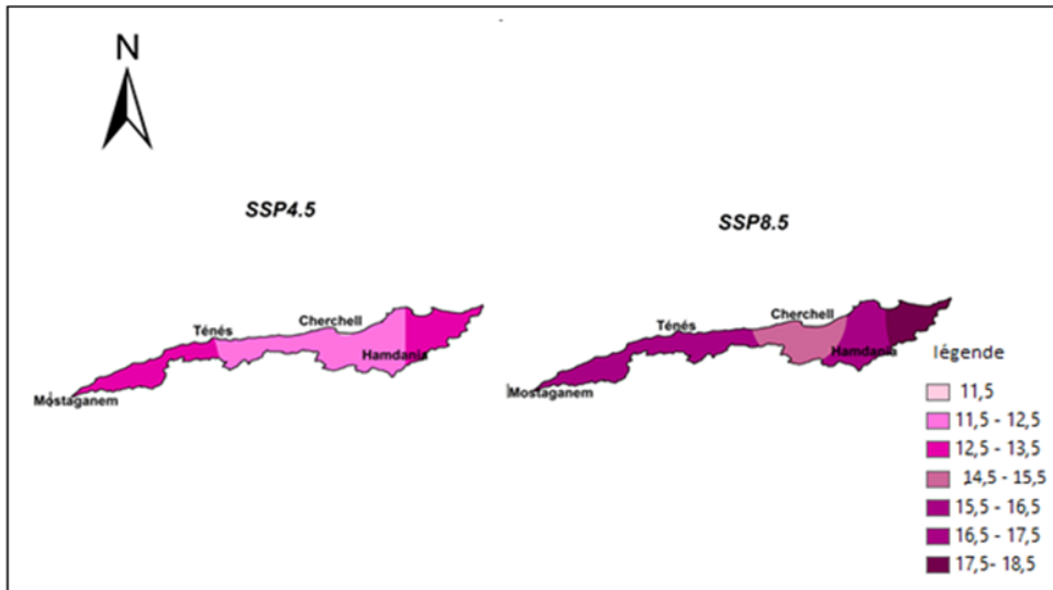


FIGURE IV. 22 coefficient des échange ETP au cours de la période de projection (2051-2080) selon le SSP4.5 et SSP8.5

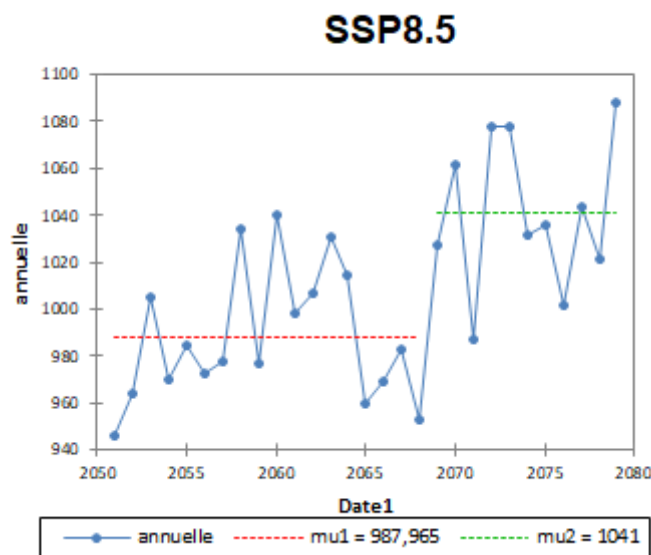


Figure IV. 23 évolution des ETP annuelles au cours de la période 2051-2080 selon le ssp8.5 en utilisant le test de pettitt

Le test de Pettitt indique que le scénario SSP8.5 prédit un changement significatif des ETP qui dépasse 53,03mm à la station d'Alger.

Tableau IV. 6 Le Biais Simulée entre l’ETP Historique et Future (2051-2080)

Biais%	Jan	Fév	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
SSP4.5	2,26	30,11	3,54	1,59	13,20	13,20	15,34	15,77	12,68	6,03	2,27	1,28
SSP8.5	7,11	14,24	0,8	1,54	14,36	17,43	21,41	20,85	21,35	9,5	6,31	-2,30

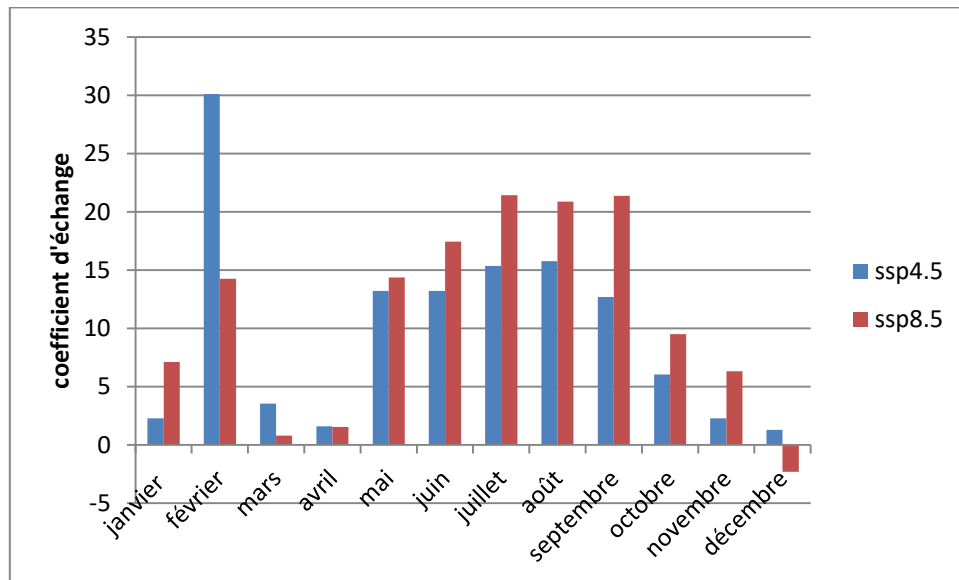


Figure IV. 24 variation des ETP selon les scénarios SSP4.5, SSP8.5 a l’horizon (2051-2080)

A l’échelle mensuelle, l’ensemble des mis indique une augmentation qui dépasse 20%. Les mois d’été indiquent une augmentation des ETP plus de 21%. Le scénario SSP8.5 prédit une augmentation des ETP plus important que le SSP4.5. le mois de juin enregistre un changement significatif montrent une augmentation dépasse 20mm pour le SSP8.5.

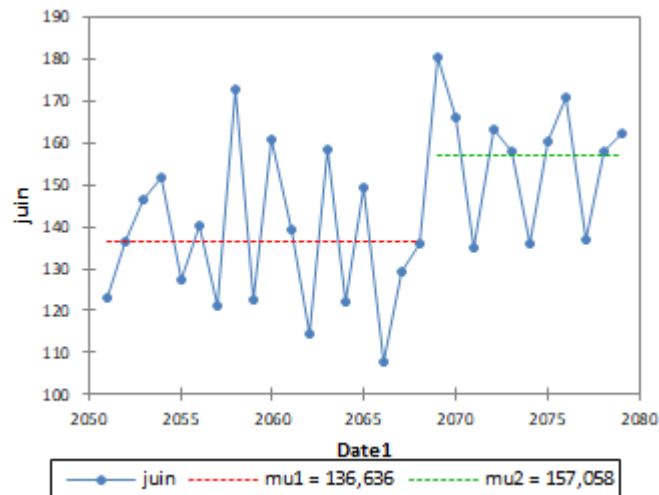


Figure IV. 25 évolution des ETP mensuelle au cours de la période 2051-2080 selon le SSP8.5 en utilisant le test de Pettitt

Conclusion

Selon le modèle CNRM les températures moyenne annuelles risquent d'augmenter de 1,89°C à 2,1°C au cours de la période (2031-2060) et 2,5°C à 3,6°C au cours de la période (2051-2080). Ainsi, l'ETP estimée par la méthode de Thornthwaite, subira une augmentation de 7,6% à 11,2% au cours de la période (2031-2060) ainsi qu'une augmentation de 11% à 18,5% au cours de la période (2051-2080). A l'échelle mensuelle le résultat ont montré une augmentation de la température mensuelle moyenne de tous les mois dans les deux scénarios par rapport les deux périodes. Et par rapport l'ETP montré une augmentation de l'ETP mensuelle moyenne surtout dans les mois été dans les deux scénarios.

Ces résultats sont en concordance avec d'autres études réalisées à grande échelle sur l'évolution passée de l'ETP en région méditerranéenne. (Vicente-Serrano et al, 2014). D'autres études montrent des tendances marquées à l'augmentation de l'ETP en Espagne (Aubé, 2016).

Conclusion Générale

Cette étude visait à évaluer la variabilité de température moyenne et l'évapotranspiration potentielle (ETP) dans le bassin côtier Algérois 02A, sous l'effet des deux scénarios climatiques SSP4.5 et SSP8.5 issues des modèles climatiques du projet CMIP6.

L'évolution des modèles climatiques au cours de la période de référence (1981-2010) a permis de choisir le modèle CNRM-CM-6-1 comme meilleur modèle pour estimer l'évolution future des ETP au cours de deux périodes de projections 2031-2060 et 2051-2080.

Selon le modèle CNRM les températures moyenne annuelle risquent d'augmenter de 1,89°C à 2,1°C au cours de la période (2031-2060) et 2,5°C à 3,6°C au cours de la période (2051-2080). Ainsi, l'ETP estimée par la méthode de Thornthwaite, subira une augmentation de 7,6% à 11,2% au cours de la période (2031-2060) ainsi qu'une augmentation de 11% à 18,5% au cours de la période (2051-2080). A l'échelle mensuelle le résultat ont montré une augmentation de la température mensuelle moyenne de tous les mois dans les deux scénarios par rapport les deux périodes. Et par rapport l'ETP montré une augmentation de l'ETP mensuelle moyenne surtout dans les mois été dans les deux scénarios.

L'augmentation des ETP peut avoir un impact négatif sur disponibilité de la ressource en eau et l'agriculture. Effectivement, l'accélération de l'ETP à cause du réchauffement va provoquer un assèchement plus rapide des sols et une évaporation plus forte de l'eau des réservoirs, cours d'eau et barrages. La ressource en eau disponible aura alors tendance à diminuer, affectant les écosystèmes et l'ensemble des activités dépendantes principalement l'agriculture en aboutissant à une situation de stress hydrique.

Ainsi, cette étude peut contribuer dans la mise en place de stratégies de gestion des ressources en eau, la gestion des systèmes d'irrigation, les plans de gestion du bassin, le stockage des eaux de surface, les études agricoles et environnementales.

Toutefois les résultats de cette étude sont soumis aux incertitudes liées au modèle climatique et sa paramétrisation ainsi qu'à la méthode d'estimation des ETP (Thornthwaite).

De ce fait, il est recommandé de faire des corrections de biais des modèles climatiques et d'explorer d'éventuelles méthodes d'estimation des ETP.

Références bibliographiques

- _Achite, M. and M. Meddi (2005). "Spatial and temporal variability of streamflow and solid yields in semiarid areas. Case of the oued Mina basin (Northwest Algeria)." REVUE DES SCIENCES DE L'EAU**18**(I): 37.
- _Adler, H., et al. (2022). "Clinical features and management of human monkeypox: a retrospective observational study in the UK." The Lancet Infectious Diseases**22**(8): 1153-1162.
- _Al-Yaari, A., et al. (2023). "Climate variability and glacier evolution at selected sites across the world: Past trends and future projections." Earth's Future**11**(10): e2023EF003618.
- _Allen, R. G., et al. (1998). "Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56." Fao, Rome**300**(9): D05109.
- _Ammari, A. (2012). Vulnérabilité à l'Envasement des Barrages (cas du bassin Hydrographique des Côtiers Algérois).
- _Anjali Goel, A. G. and R. B. Ranjana Bhatt (2012). "Causes and consequences of global warming."
- _Arora, N. K. (2019). "Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions." Environmental Sustainability**2**(2): 95-96.
- _Avila Velasquez, D. I., et al. (2022). Improvement of water management for irrigation in Mediterranean basins combining remote sensing, weather forecasting, and artificial intelligence. BOOK OF ABSTRACTS.
- _Babqiqi, A. (2014). "Climate Change in Morocco: A case study of the Marrakech Tensift Al Haouz Region and implications on agriculture in 2030."
- _Battaglia, G., et al. (2022). "Gaia early DR3 systemic motions of Local Group dwarf galaxies and orbital properties with a massive Large Magellanic Cloud." Astronomy & Astrophysics**657**: A54.
- _Benmoussa, A. and J. C. Páscoa (2023). "Enhancement of a cycloidal self-pitch vertical axis wind turbine performance through DBD plasma actuators at low tip speed ratio." International Journal of Thermofluids**17**: 100258.

_Biesbroek, G. R., et al. (2010). "Europe adapts to climate change: comparing national adaptation strategies." Global environmental change**20**(3): 440-450.

_BOUDALI, I. and C. MERABET (2021). An Investigation of the Developmental benefits of learning two languages at once as a child: Private schools from 05-12 years in Tiaret, Université Ibn Khaldoun-Tiaret-.

_Buzby, J. C., et al. (2014). "The estimated amount, value, and calories of postharvest food losses at the retail and consumer levels in the United States." USDA-ERS Economic Information Bulletin(121).

_Canton Kessely, Y., et al. (2024). "Pediatric traumatic brain injury in chad: about 256 cases." Egyptian Journal of Neurosurgery**39**(1): 3.

_Cordonier, L. and H. Agbanrin (2021). Rapport du GIEC 2021: une couverture médiatique minimale. Analyse de la couverture médiatique des rapports du GIEC 2018 et 2021 et de l'intérêt que leur manifestent les Français, Fondation Descartes.

_Csima, G. and A. Horányi (2008). "Validation of the ALADIN-Climate regional climate model at the Hungarian Meteorological Service." Időjárás**112**(3-4): 155-177.

_Fooladmand, H. R. and M. Haghghat (2007). "Spatial and temporal calibration of Hargreaves equation for calculating monthly ETo based on Penman-Monteith method." Irrigation and Drainage: The journal of the International Commission on Irrigation and Drainage**56**(4): 439-449.

_Harter, S. and F. Bouchet (2002). "Paléoparasitologie: Apports des méthodes de la Parasitologie médicale à l'étude des populations anciennes." Bulletins et mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris. BMSAP**14**(14 (3-4)): 363-370.

_Lebdi, F. and A. Maki "La sécheresse au Maghreb: diagnostic, impacts et perspectives pour le renforcement de la résilience du secteur agricole."

_Lotfi, M., et al. (2020). "Study on the impact of climate change on evapotranspiration in west of Iran." Arabian Journal of Geosciences**13**: 1-11.

_Maftai, C., et al. (2011). "Change points detection and variability analysis of some precipitation series." Recent Res. Comput. Tech. Non-Linear Syst. Control: 232-237.

_Mastrandrea, M. D., et al. (2015). "IPCC Expert Meeting on Climate Change, Food, and Agriculture."

_Mondon, S. and M. Imbard (2013). "Découvrir les nouveaux scénarios RCP et SSP utilisés par le GIEC." Direction générale de l'économie et du climat, document de travail.

_Ouhamdouch, S., et al. (2020). "Assessment the climate change impact on the future evapotranspiration and flows from a semi-arid environment." Arabian Journal of Geosciences**13**: 1-14.

_Pachauri, R. K. and A. Reisinger (2008). Bilan 2007 des changements climatiques: Rapport de synthèse, GIEC.

_Patel, V. K. and J. Kuttippurath (2023). "Increase in tropospheric water vapor amplifies global warming and climate change." Ocean-Land-Atmosphere Research**2**: 0015.

_Philander, S. G. (2008). Encyclopedia of global warming and climate change: AE, Sage.

_Pörtner, H.-O., et al. (2022). "IPCC, 2022: Summary for policymakers."

_Raisson-Victor, V., et al. (2023). "GIEC DES PAYS DE LA LOIRE. 2e rapport—Avril 2023."

_Schneider, H. (1972). "Les précipitations sur la diagonale Gironde-Méditerranée." Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest. Sud-Ouest Européen**43**(3): 295-313.

_Simonet, G. (2015). "Une brève histoire de l'adaptation: l'évolution conceptuelle au fil des rapports du GIEC (1990-2014)." Natures Sciences Sociétés**23**: S52-S64.

_Taïbi, S., et al. (2019). "Seasonal rainfall variability in the southern Mediterranean border: Observations, regional model simulations and future climate projections." Atmósfera**32**(1): 3

_Taïbi, S., Zeroual, A. & Meddi, M. Effect of autocorrelation on temporal trends in air-temperature in Northern Algeria and links with teleconnections patterns. Theor Appl Climatol **147**, 959–984 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03862-z>

_Tunis, A. (2023). "Embodying Excess." Excessive Bodies: A Journal of Artistic and Critical Fat Praxis and World Making**1**(1): 175-179.

_Wayne, G. The Beginner's Guide to Representative Concentration Pathways. 2013. Available online: https://skepticalscience.com/docs/RCP_Guide.pdf (accessed on 13 December 2021).

_Zeroual, A., et al. (2019). "Assessment of climate change in Algeria from 1951 to 2098 using the Köppen–Geiger climate classification scheme." Climate dynamics**52**(1): 227-243.

Annexe I

Variabilité des températures au cours de la période (2031_2060)

SSP4.5													
	jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	aout	sep	oct	nov.	Déc	annu
Date de rupture	/	/	/	2048	2047	2046	/	/	/	/	/	/	/
≠ def	/	/	/	1,84	2,19	1,82	/	/	/	/	/	/	/
SSP8.5													
	jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	aout	sep	oct	nov.	Déc	annu
Date de rupture	2042	/	2044	/	2048	/	2048	/	2041	/	2038	/	2043
≠ def	1,8	/	1,44	/	2,7	/	1,8	/	1,7	/	1,61	/	1,27

Variabilité des températures au cours de la période (2051_2080)

SSP4.5													
	jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	aout	sep	oct	nov.	Déc	annu
M.après	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
≠ def	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
SSP8.5													
	jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	aout	sep	oct	nov.	Déc	annu
Date de rupture	/	/	/	/	/	2068	/	/	2068	2066	2068	/	2068
≠ def	/	/	/	/	/	2,38	/	/	2,09	1,60	1,94	/	1,17

Annexe II

Variabilité des ETP au cours de la période (2031-2060)

SSP4.5													
	jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	aout	sep	oct	nov.	Déc	annu
M.après	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	2048
≠ def	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	38,23
SSP8.5													
	jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	aout	sep	oct	nov.	Déc	annu
Date de rupture	/	/	/	/	2043	/	2058	/	/	/	/	/	2052
≠ def	/	/	/	/	16,18	/	15,19	/	/	/	/	/	61,09

Variabilité des ETP au cours de la période (2051-2080)

SSP4.5													
	jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	aout	sep	oct	nov.	Déc	annu
M.après	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
≠ def	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
SSP8.5													
	jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	aout	sep	oct	nov.	Déc	annu
Date de rupture	/	/	/	/	/	2068	/	/	/	/	/	/	2068
≠ def	/	/	/	/	/	20,42	/	/	/	/	/	/	53,03