



Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

Université Kasdi Merbah d'Oran

N° d'ordre

N° de série

Faculté des Mathématiques et des Sciences de la Matière

Département de Physique

MÉMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER ACADEMIQUE

Spécialité : Physique

Option : Physique et Météorologie

Présentée par :

MEHANI Imane & LIMANE Noujoud

Thème

Les changements climatiques observés en Algérie :

Etude des variations de températures et de précipitations

Soutenue publiquement le 20/06/2021

Devant le jury composé de :

Mr BENMEBROUK Lazhar	MCA	UKMO Président
Mr FEKIH Abdellali	MCA	UKMO Examineur
Mr HEBBAL Belkhir	MAA	UKMO Encadreur

Année universitaire : 2020/2021

Dédicace



A celle Qui m'a appris le sens de la vie, mes premiers professeurs : « ma mère & mon père »

A mes frères «Rami & Yacine » à ma sœur « Lina»

A ceux que j'ai aimé et ceux qui m'ont aimés

A la promotion 2021

A toute ma famille et à mes chers amis chacun en son nom, à ceux qui m'ont aidé à réaliser ce modeste travail et pour leurs encouragements. Ainsi qu'à tous mes enseignants,

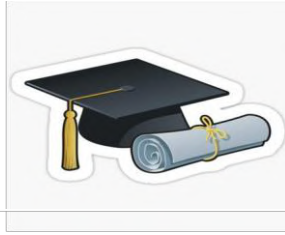
A chaque personne qui m'a aidé

Je dédie ce mémoire

Imane



Dédicace



*A mes chers parents pour leur amour inestimable,
leur confiance, leur soutien, leurs sacrifices et
toutes les valeurs qu'ils ont su m'inculquer.*

A toute ma famille,

Mes frères : Mohammed, El Aïd, Hicham, Halim

Mes sœurs : Saida, Hada, Fatima

Et leurs petits-enfants

Mes amies : Dalal, Samira, Nesrine...

Et tous ceux que j'aime.

Noujoud





Remerciements

Tout d'abord nous tenons à remercier ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la santé, la volonté, le courage pour mener à terme à nos études et pourvoir réaliser ce mémoire.

❦ ❦ ❦ ❦ ❦ ❦ ❦ ❦ ❦ ❦

Nous voudrions tout d'abord adresser toute notre gratitude à encadreur Monsieur **Belkhir HEBBAL**, pour sa motivation professionnelle, ses conseils et critiques constructives, ses corrections, sa gentillesse et sa patience ainsi pour le temps qu'il a consacré à la réalisation de ce travail.

❦ ❦ ❦ ❦ ❦ ❦ ❦ ❦ ❦ ❦

Nous tenons à exprimer également, ma profonde gratitude à Monsieur **Lazhar BENMABROUK**, Maitre de Conférences à l'Université Kasdi Merbah Ouargla, qui nous a fait l'honneur de présider notre jury de mémoire de master.

❦ ❦ ❦ ❦ ❦ ❦ ❦ ❦ ❦ ❦

A Monsieur, **Abdellali FEKIH**, Maitre de Conférences à l'Université Kasdi Merbah Ouargla, nous voulons leur adresser notre profonde reconnaissance pour avoir accepté de consacrer de leur temps à l'examen de ce travail.

❦ ❦ ❦ ❦ ❦ ❦ ❦ ❦ ❦ ❦

Enfin, nous souhaitons remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de ce parcours universitaire.

Imane & Noujoud

TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	I
REMERCIEMENTS.....	III
TABLE DE MATIERES.....	IV
LISTE DES FIGURES	VI
LISTE DES TABLEAUX.....	VII
LISTE DES ACRONYMES	VIII
INTRODUCTION GENERALE	1

CHAPITRE I : L'évolution du climat et ses conséquences

I.1. INTRODUCTION.....	4
I.2. Le climat	4
I.2.1. Définition du climat	4
I.2.2. Le système climatique	4
I.3. Problématique du changement climatique.....	6
I.3.1. Définition du changement climatique	6
I.3.2. Le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)	6
I.3.3. Les causes du changement climatique à l'échelle du globe	7
I.3.3.1. Les causes naturelles	7
I.3.3.1.1. El Niño /ENSO.....	8
I.3.3.1.2. Oscillation Nord-Atlantique (NAO)	9
I.3.3.1.3. La circulation thermohaline	9
I.3.3.1.4. Les éruptions volcaniques.....	10
I.3.3.2. Les causes anthropiques.....	11
I.3.4. L'effet de serre	11
I.3.4.1. L'effet de serre naturel	12
I.3.4.2. Les principaux gaz à effet de serre (GES)	13
I.3.4.3. Le Potentiel de réchauffement global (PRG)	14
I.3.4.4. L'effet de serre additionnel	15
I.3.4.5. Le rôle des aérosols	15
I.3.5. Les principales conséquences du changement climatique	16
I.3.5.1. L'augmentation de la température de surface de la Terre	16
I.3.5.2. La fonte des glaces	17
I.3.5.3. L'élévation du niveau des mers	17
I.3.5.4. Les menaces sur une biosphère	17
I.4. Les prévisions climatiques.....	18
I.4.1. Les modèles climatiques	18
I.4.2. Les Scénarios climatiques.....	19

CHAPITRE II : Présentation de la zone d'étude et traitement statistique de données

II.1. Introduction.....	22
II.2. Présentation de la zone d'étude.....	22
II.2.1. Situation géographique.....	22
II.2.2. Synthèse climatique.....	23

II.3. Présentation des données climatiques.....	23
II.3.1 La disponibilité de données climatiques.....	23
II.3.2 Traitement des données manquantes.....	27
II.3.2.1. Estimation des températures.....	27
II.3.2.2. Estimation des précipitations.....	30
II.4. Méthodes statistiques utilisées.....	31
II.4.1. Test d'homogénéité de Pettitt.....	31
II.4.2. Test de Mann-Kendall.....	32
CHAPITRE III : Régime des températures	
III.1. Introduction.....	34
III.2. Variation de la température.....	34
III.2.1. Variation interannuelle de la température.....	34
III.2.2. Variation saisonnière de la température.....	37
III.2.2.1. Températures moyennes saisonnières (TM).....	37
III.2.2.2. Températures maximales saisonnière (TX).....	37
III.2.2.3. Température minimales saisonnière (TN).....	38
III.3. Caractéristiques de tendance centrale et de la dispersion des températures.....	38
CHAPITRE IV : Régime des précipitations	
IV.1. Introduction.....	41
IV.2. Variation des précipitations.....	41
IV.2.1. Variation interannuelle des précipitations.....	41
IV.2.2. Variation saisonnière des précipitations.....	43
IV.3. L'indice de précipitations standardisé (SPI).....	44
IV.4. Relation entre la pluviométrie au Nord de l'Algérie et les indices climatiques.....	48
IV.4.1. Oscillation Nord Atlantique (NAO).....	48
IV.4.2. Oscillation Méditerranéen (MO).....	49
CONCLUSION GENERALE.....	51
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	52
ANNEXES.....	53
ABSTRACT.....	53
RESUME.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
ملخص.....	53

LISTE DES FIGURES

FIG.1.1. SCHEMA DES COMPOSANTES DU SYSTEME CLIMATIQUE.....	5
FIG.1.2. EVOLUTION DES TEMPERATURES MOYENNES MONDIALES	6
FIG.1.3. LE LOGO DU GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'EVOLUTION DU CLIMAT (GIEC).....	7
FIG.1.4. SCHEMAS EXPLICATIFS DU PHENOMENE D'EL NIÑO	8
FIG.1.5. LES MODES POSITIF ET NEGATIF DE L'OSCILLATION NORD-ATLANTIQUE	9
FIG.1.6. CARTE DE LA CIRCULATION THERMOHALINE.....	10
FIG.1.7. L'EFFET LES ERUPTIONS VOLCANIQUES SUR LE CLIMAT.....	11
FIG.1.8. LES DIFFERENTES COMPOSANTES DE L'EFFET DE SERRE	12
FIG.1.9. L'EFFET DE SERRE NATUREL.....	13
FIG.1.10. CONTRIBUTION A EFFET DE SERRE NATUREL DES DIFFERENTS GAZ PRESENTS DANS L'ATMOSPHERE.....	14
FIG.1.11. BILAN DU FORÇAGE RADIATIF DES GES ET DES AEROSOLS	16
FIG.1.12. LA MODELISATION CLIMATIQUE	18
FIG.1.13. SCENARIOS D'EMISSIONS UTILISEES POUR LES PROJECTIONS CLIMATIQUES.....	19
FIG.2.1. CARTE DE L'ALGERIE.....	22
FIG.2.2. CARTE TOPOGRAPHIQUE DE L'ALGERIE	23
FIG.2.3. CARTE DE LOCALISATION DES STATIONS DE LA ZONE D'ETUDE.....	25
FIG.3.1. ANOMALIE DE LA TEMPERATURE MOYENNE ANNUELLE A LA NORMALE DE REFERENCE (1981-2010).....	376
FIG.3.2. LA VARIATION SAISONNIERE DES TEMPERATURES MOYENNES (PERIODE (1981-2020)).....	37
FIG.3.3. LA VARIATION SAISONNIERE DES TEMPERATURES MAXIMALES (PERIODE (1981-2020)). ...	37
FIG.3.4. LA VARIATION SAISONNIERE DES TEMPERATURES MINIMALES (PERIODE (1981-2020)).	38
FIG.4.1. ANOMALIE DES PRECIPITATIONS PAR RAPPORT A LA NORMALE DE REFERENCE (1981-2010) ET MOYENNE MOBILE SUR 05 ANS.....	43
FIG.4.2. VARIATION SAISONNIERE DES PRECIPITATIONS SUR LA PERIODE (1981-2019)	44
FIG.4.3. VARIATION DE L'INDICE STANDARDISE DES PRECIPITATIONS MOYENNES ANNUELLES (SPI).....	47
FIG.4.4. L'OSCILLATION NORD-ATLANTIQUE (NAO) ET LES PRECIPITATIONS (1981-2020).....	49
FIG.4.5. L'OSCILLATION MEDITERRANEEN (MO) ET LES PRECIPITATIONS (1981-2020).....	50

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU.1.1. POTENTIELS DE RECHAUFFEMENT GLOBAL DES GES COMPARE AU CO2	15
TABLEAU 2.1. LISTE DES STATIONS METEOROLOGIQUES RETENUES POUR CETTE ETUDE.....	26
TABLEAU 2.2. LES COEFFICIENTS DE CORRELATION DES TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES ENTRE LES DIFFERENTES STATIONS	29
TABLEAU.3.1 CARACTERISTIQUES DE TENDANCE CENTRALE ET DE LA DISPERSION DES TEMPERATURES	39
TABLEAU 4.1. CLASSEMENT DE LA SEVERITE DES SECHERESSES SUIVANT SPI (MCKEE ET AL 1993)...	45
TABLEAU 4.2. REPARTITION DES VALEURS DU SPI (1981-2020).....	48

LISTE DES ACRONYMES

AOGCM	: Atmosphere-Ocean coupled General Circulation Model
CCNUCC	: Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CRU	: Climatic Research Unit
ENSO	: El Niño Southern Oscillation
GES	: Gaz à Effet de Serre
GIEC	: Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
MCG	: Modèles de Climat Global
MOI	: Mediterranean Oscillation Index
NAO	: North Atlantic Oscillation
NCEI	: National Centers for Environmental Information
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration
OMM	: Organisation Météorologique Mondiale
ONM	: Office National de la Météorologie
PNUE	: Programme des Nations Unies pour l'Environnement
PRG	: Potentiel de Réchauffement Global
SPI	: Standardized Precipitation Index
SRES	: Special Report on Emissions Scenarios

Introduction générale

Introduction générale

Les variations climatiques sont des éléments clés dans l'histoire de la Terre depuis sa formation. L'évolution des espèces et l'extinction de certaines ont été en partie guidées par l'équilibre et les déséquilibres que le système climatique a pu subir. Ce système consiste en un ensemble de composantes interagissant entre elles : l'atmosphère, l'hydrosphère, la cryosphère, la biosphère et la lithosphère.

Le rayonnement solaire en est la source d'énergie. À tout moment, la quantité de rayonnement qu'elle reçoit, absorbe et renvoie est contrôlée par plusieurs facteurs perturbant son équilibre énergétique et définissant les changements du climat, comme la composition atmosphérique ou l'état de la surface terrestre.

Au cours de la dernière décennie, la communauté internationale a accordé de plus en plus d'attention au changement climatique et à son impact sur les aspects socio-économiques et environnementaux. Les causes anthropiques de l'augmentation de la concentration atmosphérique du gaz à effet de serre dont le Dioxyde de carbone (CO₂), le Méthane (CH₄) et le Protoxyde d'azote (N₂O), ont été clairement liés au changement climatique. Le quatrième rapport d'évaluation du Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC, 2007) a prouvé que la fréquence et l'intensité de certains phénomènes météorologiques et événements météorologiques extrêmes changeront d'ici 2050. En plus des sécheresses et de l'élévation du niveau de la mer, la plupart des régions sont également susceptibles de connaître des températures plus élevées, des vagues de chaleur plus fréquentes et des précipitations plus importantes.

Les extrêmes chauds de température vont très probablement se multiplier par rapport à la distribution de la température actuelle (GIEC, 2012).

Comme bien des pays d'Afrique, les conséquences d'un temps extrême ou qui n'est pas de saison n'ont pas épargnées l'Algérie. Connue pour son climat aride et semi-aride, la région est extrêmement sujette aux changements climatiques. Ces 50 dernières années, un accroissement d'événements dus au temps extrême a été observé.

Parmi les phénomènes enregistrés dans des études climatologiques de la météorologie nationale qui témoignent de ce changement, on compte un accroissement de la fréquence des pluies torrentielles, qui ont entraîné des inondations à Ghardaia le 1^{er} Octobre 2008 (65 mm en 12 heures). En 2020, les chutes de pluie quotidiennes dépasseront peut-être la moyenne annuelle normale au sud du pays.

Introduction générale

Autres phénomènes extrêmes qui se sont produits : cyclogenèse, sécheresse, vague de chaleur et tempêtes de sable. Les scientifiques ont estimé que les chutes de pluie vont diminuer d'environ 20 pour cent dans les années à venir [32].

L'objectif de l'étude effectuée dans ce mémoire est de quantifier et d'analyser les variations climatiques en Algérie dans le but de répondre à moyen terme à des problématiques liées aux phénomènes météorologiques extrêmes (vagues de chaleurs, sécheresse, ect). Afin de caractériser au mieux l'évolution des phénomènes météorologiques, quatre variables climatiques sont sélectionnées : la température minimale, maximale, moyenne et les précipitations. Ces données proviennent d'un nombre important de stations météorologiques, réparties d'une façon homogène sur l'ensemble du territoire national. Le pas de temps mensuel des séries de données permet d'améliorer l'approche temporelle.

Le manuscrit s'articule autour de quatre chapitres :

- ✚ Le chapitre 1 introduit la synthèse bibliographique concernant l'évolution du climat et ses conséquences et l'impact du changement climatique sur les températures et les précipitations à l'échelle mondiale ;
- ✚ Le chapitre 2 présente la zone d'étude et la problématique liée à la disponibilité et la qualité des données. Ensuite, nous définissons les méthodes statistiques utilisées pour l'estimation des données manquantes, les tendances et l'homogénéité aux seins des séries d'observations ;
- ✚ Le chapitre 3 est consacré essentiellement au régime des températures par l'analyse annuelle et saisonnière des températures ainsi que leurs tendance temporelle ;
- ✚ Le chapitre 4 est consacré à l'évolution du régime des précipitations par l'analyse des données pluviométriques annuelles et saisonnières, ainsi que leur relation avec les indices climatiques : L'indice de précipitations normalisé (SPI), l'Oscillation Nord-Atlantique (NAO) et l'Oscillation Méditerranéenne (MO).

CHAPITRE I

L'évolution du climat et ses conséquences

I.1. Introduction

Notre planète est un ensemble complexe : l'océan, l'atmosphère, les glaciers, la biosphère et la température y interagissent à travers des processus physiques et chimiques variés. Le climat dépend des conditions moyennes de température, de vent et de précipitations existantes à un moment donné. Le climat terrestre a, de tout temps, été sujet à des variations naturelles. Ainsi, les deux derniers millions d'années ont vu plusieurs glaciations. Mais l'homme, depuis quelques dizaines d'années, modifie cet équilibre fragile en provoquant un réchauffement planétaire rapide sans précédent.

Dans ce premier chapitre nous essayons de mieux comprendre l'impact de ce réel bouleversement, et de tenter de comprendre les phénomènes qui définissent les climats, les facteurs qui les gouvernent ainsi que leur répartition à la surface du globe.

I.2. Le climat

I.2.1. Définition du climat

Le mot climat provient du grec « *klima* » qui signifie inclinaison : les observateurs de la nature avaient en effet constaté que la chaleur dépendait de l'inclinaison des rayons solaires par rapport au sol. Cela illustre bien le rôle du soleil et de l'énergie reçue par notre Terre. Cette énergie solaire entraîne une circulation atmosphérique sur l'ensemble du globe [21].

Selon le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), le climat désigne généralement le "temps moyen"; il s'agit plus précisément d'une description statistique du temps en termes de moyennes et de variabilité de grandeurs pertinentes sur des périodes de plusieurs années (30 ans en principe, d'après la définition de l'OMM, l'Organisation météorologique mondiale).

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

I.2.2. Le système climatique

Le système climatique est défini comme un système complexe formé de cinq composantes majeures [20]:

1. L'atmosphère ;
2. L'hydrosphère (océans, rivières, lacs, eaux souterraines.) ;
3. La cryosphère (neige, glaciers, banquise.) ;
4. Lithosphère (les surfaces continentales) ;

Chapitre I : L'évolution du climat et ses conséquences

5. La biosphère (êtres vivants).

Les interactions entre les différentes composantes ont lieu sous forme de transferts de masse (eau, carbone, sédiments) et d'énergie (rayonnement, flux de chaleur). De par ces échanges, les différentes composantes du système climatique sont dépendantes les unes des autres. En d'autres termes, la modification des caractéristiques de l'une d'entre elles aura nécessairement un effet sur au moins une autre de ces composantes. Par exemple, une augmentation de la température de l'atmosphère aura tendance à réduire l'extension de la cryosphère et donc de l'albédo de la surface terrestre.

L'énergie retenue à la surface augmente alors, entraînant une amplification de la hausse initiale de la température atmosphérique. Cet effet « retour » de la cryosphère sur l'augmentation de la température atmosphérique est appelé rétroaction positive : le changement initial est amplifié. Au contraire, dans le cas d'une atténuation du changement, on parle de rétroaction négative. Ces rétroactions permettent de maintenir ce que l'on appelle l'équilibre dynamique du système climatique. Cet équilibre dynamique peut être perturbé par divers facteurs externes tels que les variations du rayonnement solaire, le volcanisme ou encore l'émission de gaz à effet de serre. Ces facteurs sont également appelés forçages externes. [16]



Fig.1.1. Schéma des composantes du système climatiques [30]

I.3. Problématique du changement climatique

I.3.1. Définition du changement climatique

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

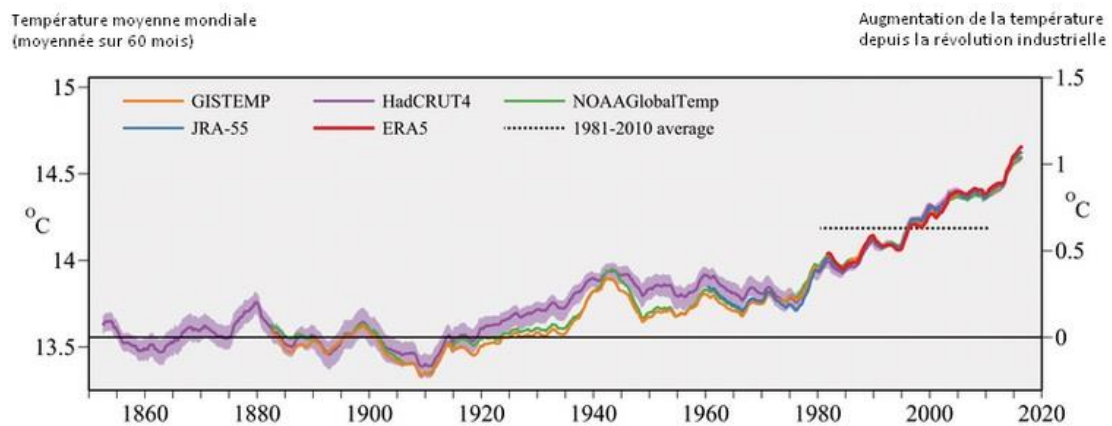


Fig.1.2. Evolution des températures moyennes mondiales [6]

Dans son premier article la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), définit les changements climatiques comme étant des changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours des périodes comparables. » [20].

I.3.2. Le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)

Le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC, en anglais Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) est l'organe des Nations Unies chargé d'évaluer les travaux scientifiques consacrés aux changements climatiques. Il a été créé en 1988 par l'Organisation météorologique mondiale et le Programme des Nations Unies pour l'environnement afin d'offrir aux décideurs des

Chapitre I : L'évolution du climat et ses conséquences

évaluations régulières du fondement scientifique de l'évolution du climat, des incidences et des risques associés et des possibilités d'adaptation et d'atténuation.

Le GIEC n'a pas vocation à effectuer des recherches. Il détermine les éléments sur lesquels la communauté scientifique s'accorde, ceux à propos desquels les opinions divergent et ceux qui nécessitent de plus amples recherches. Il s'agit d'un partenariat entre scientifiques et décideurs, ce qui en fait une source d'information crédible pour les décideurs. Le GIEC établit ses évaluations dans le respect de procédures gages d'intégrité et conformément à ses grands principes d'objectivité, de clarté et de transparence. Ses rapports peuvent faciliter l'élaboration des politiques sans pour autant préconiser des mesures précises.

Depuis 1988, le GIEC a établi cinq rapports d'évaluation exhaustifs et plusieurs rapports spéciaux, ainsi que des rapports méthodologiques, qui contiennent des directives pratiques pour aider les Parties à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) à établir les inventaires requis sur les gaz à effet de serre [9].



Fig.1.3. Le logo du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) [31]

I.3.3. Les causes du changement climatique à l'échelle du globe

Les phénomènes naturels comme les éruptions volcaniques peuvent provoquer des changements soudains dans les systèmes planétaires. Par contre, les bouleversements engendrés par les activités humaines peuvent être catastrophiques et avoir des impacts à l'échelle du globe (inondation, sécheresse) [13].

I.3.3.1. Les causes naturelles

Les variations de l'activité solaire, une cause directe de variation climatique, pourrait être expliquée par la variabilité de l'émission solaire. Il a été montré, il y a quatre milliards et demi d'années, au moment où naissait le système planétaire, que

Chapitre I : L'évolution du climat et ses conséquences

l'énergie émise par le soleil était environ les 3/4 de sa valeur actuelle [13]. En plus de ce facteur astronomique précité, le climat d'un lieu comme nous l'avons déjà mentionné, dépend également de facteurs géographiques comme la latitude, l'éloignement à la mer et l'altitude ; l'évolution de ces facteurs étant elle-même liée à la tectonique des plaques (dérive des continents, mouvement des pôles et expansion des fonds océaniques).

On peut aussi citer le rôle important que joue la masse océanique dans les interactions océan atmosphère et qui explique certains phénomènes tel que El Niño-La Niña /ENSO, et l'Oscillation Nord-Atlantique (NAO).

I.3.3.1.1. El Niño /ENSO

ENSO qui signifie « El Niño Southern Oscillation » est un phénomène climatique naturel qui se produit tous les deux à trois ans. Il est dû à un réchauffement des eaux de surface dans l'océan Pacifique tropical. Cette anomalie entraîne une modification des courants marins et des vents, ainsi qu'un dégagement de chaleur dans l'atmosphère. Le phénomène a une forte influence sur les conditions météorologiques dans le monde. Tout indique que le lien de cause à effet existant entre El Niño et le changement climatique est réciproque : le changement climatique accroît la probabilité d'un « super » El Niño et, en retour, El Niño exacerbe le changement climatique en provoquant un dégagement important de chaleur de l'océan Pacifique. Le réchauffement de la mer sous l'effet du changement climatique pourrait doubler le risque qu'un épisode El Niño intense se produise [19].

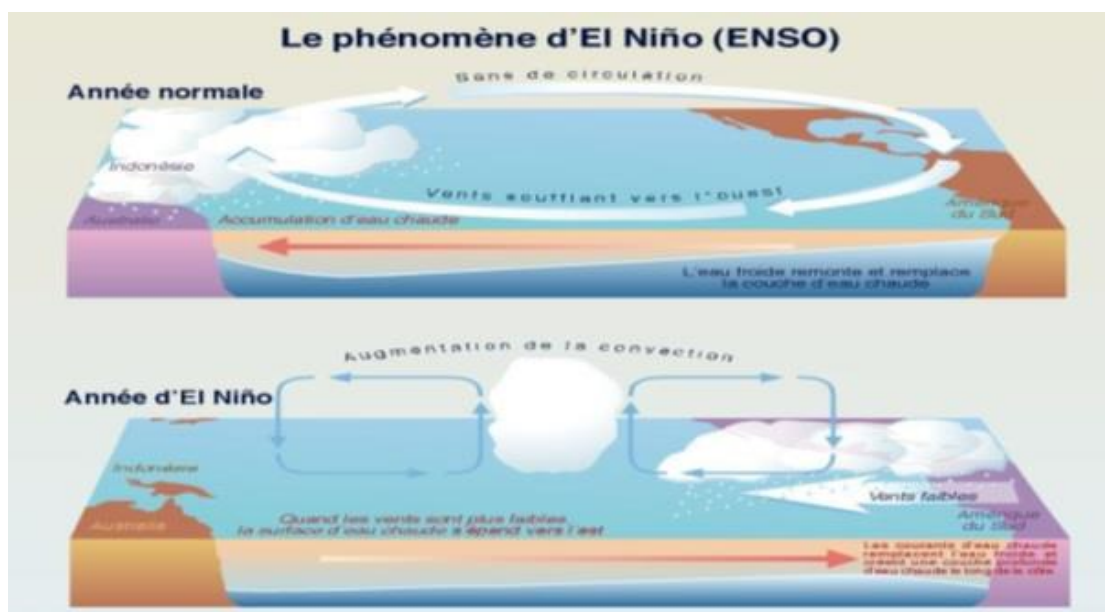


Fig.1.4. Schémas explicatifs du phénomène d'El Niño [19]

I.3.3.1.2. Oscillation Nord-Atlantique (NAO)

L'oscillation nord-atlantique (ou North Atlantic Oscillation en anglais), c'est un phénomène atmosphérique et océanique, qui concerne principalement l'Atlantique Nord. On parle d'oscillation parce qu'il y a un va-et-vient, dans la direction nord-sud, d'air au-dessus des régions arctiques et islandaises vers la ceinture subtropicale près des Açores et de la péninsule ibérique. La période de forte sécheresse correspond à des indices NAO positifs de forte intensité, qui témoignent d'un renforcement de l'anticyclone des Açores et d'un creusement de la dépression d'Islande. Dans ces conditions, le rail des dépressions se déporte vers les latitudes septentrionales, ce qui favorise la mise en place d'un temps sec et doux sur le pourtour du bassin méditerranéen, notamment au Maghreb [14].

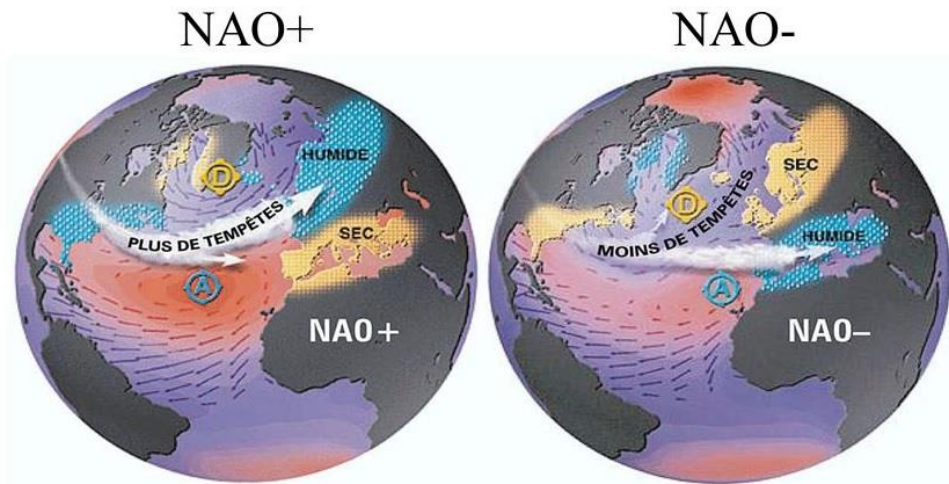


Fig.1.5. Les modes positif et négatif de l'oscillation Nord-Atlantique [14]

I.3.3.1.3. La circulation thermohaline

La circulation thermohaline est la circulation permanente et à grande échelle de l'eau des océans, engendrée par des écarts de température et de salinité des masses d'eau. La salinité et la température ont en effet un impact sur la densité de l'eau de mer. Les eaux refroidies et salées plongent au niveau des hautes latitudes et descendent vers le sud, à des profondeurs comprises entre 1 et 3 km. Elles sont alors réchauffées sous les tropiques, et remontent à la surface, où elles se refroidissent à nouveau, et ainsi de suite. On estime qu'une molécule d'eau fait le circuit entier en environ 1 000 ans [25].

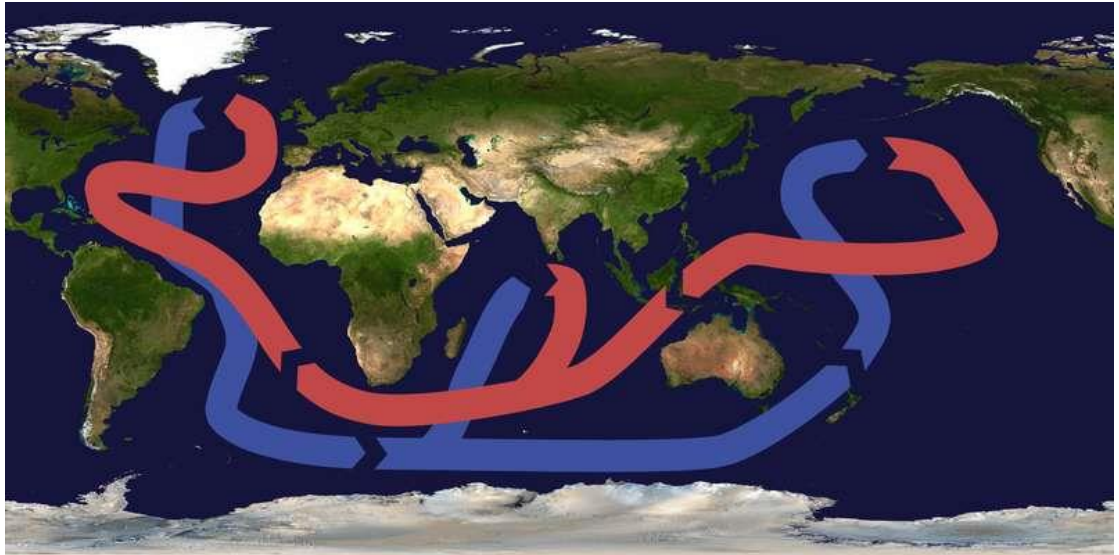


Fig.1.6. Carte de la circulation thermohaline [25]

Le Gulf Stream « courant du golfe » en anglais, est un courant marin jouant un rôle déterminant dans les variations de températures autour de l'océan Atlantique. En Europe, il permet le réchauffement de la partie occidentale en y apportant la chaleur des eaux équatoriales. Le Gulf Stream prend naissance dans les eaux du golfe du Mexique et c'est grâce aux vents et à la salinité qu'il peut se déplacer, suivant un parcours connu.

I.3.3.1.4. Les éruptions volcaniques

Lors de l'histoire de la Terre, les éruptions volcaniques les plus importantes ont été suivies d'un refroidissement de quelques années. Ceci est dû à la grande quantité de dioxyde de soufre (SO_2) et de cendre éjectés par ces éruptions volcaniques. Une bonne partie de la poussière et des particules montent jusqu'à la stratosphère, à 20 km d'altitude et même parfois à plus de 50 km. A ces altitudes, les vents sont forts et le gaz peut faire souvent plusieurs fois le tour de la planète. Comme la stratosphère est stable et les mouvements verticaux réduits, les gaz éjectés peuvent y rester pendant plusieurs années. En effet selon plusieurs spécialistes, le climat à l'ère quaternaire des glaciers serait expliqué par une épaisse couche d'aérosols et de poussière qui a enveloppé le globe [26].

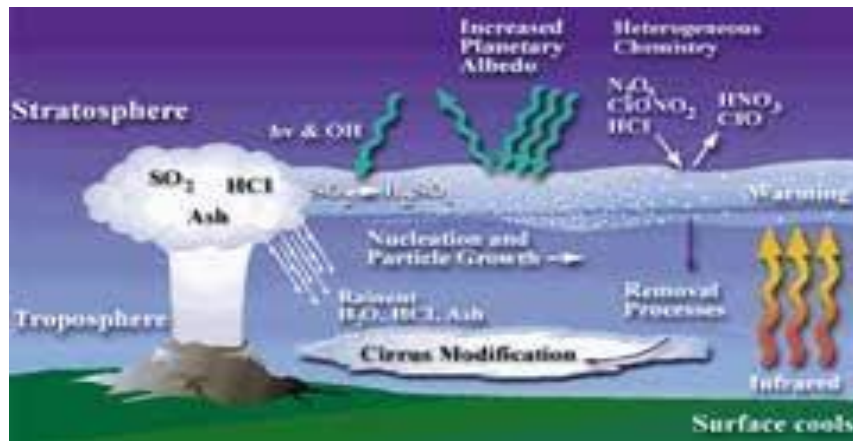


Fig.1.7. L'effet les éruptions volcaniques sur le climat [26]

I.3.3.2. Les causes anthropiques

Le facteur qui reste le plus préoccupant aujourd'hui est l'influence de l'homme sur le climat, qui tient sa place dans les débats continus sur l'actuel changement climatique survenu sur plusieurs points du globe. Les activités humaines telles que l'utilisation de combustibles fossiles, l'exploitation des forêts tropicales et l'élevage du bétail exercent une influence croissante sur le climat et la température de la terre.

Ces activités libèrent d'énormes quantités de gaz à effet de serre, qui viennent s'ajouter à celles naturellement présentes dans l'atmosphère, renforçant ainsi l'effet de serre et le réchauffement de la planète [16].

I.3.4. L'effet de serre

L'effet de serre est un phénomène naturel provoquant une élévation de la température à la surface de notre planète. Indispensable à notre survie, ce fragile équilibre est menacé. Les activités humaines affectent la composition chimique de l'atmosphère et entraînent l'apparition d'un effet de serre additionnel, responsable en grande partie du changement climatique actuel [22].

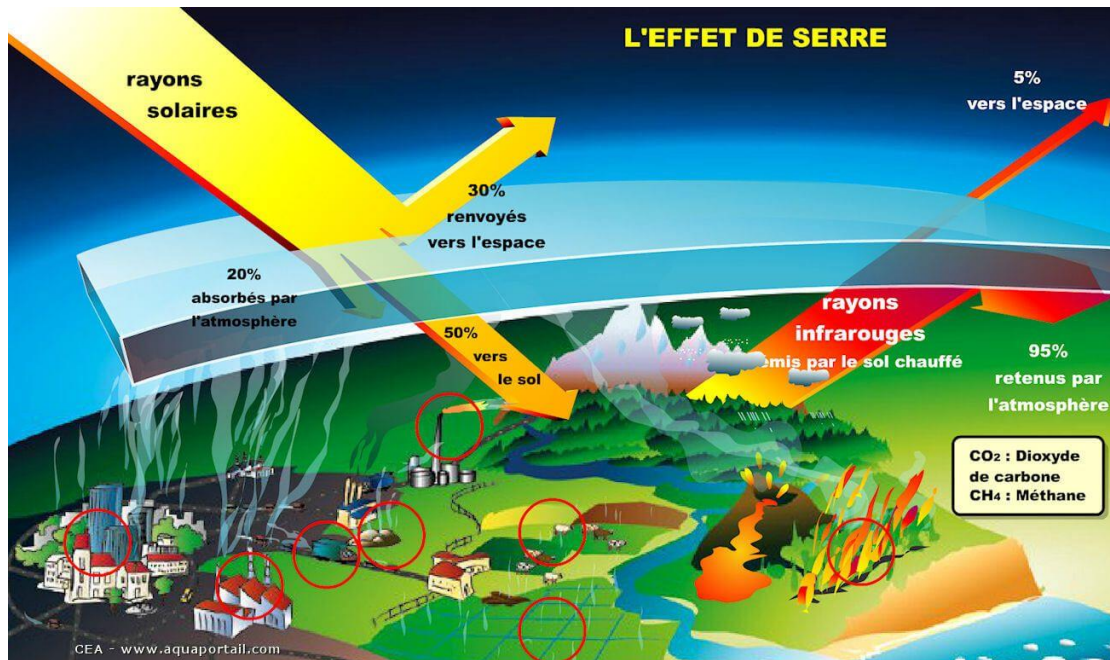


Fig.1.8. Les différentes composantes de l'effet de serre [22]

I.3.4.1. L'effet de serre naturel

Les deux tiers de l'énergie en provenance du soleil sont absorbés par l'atmosphère, les sols et l'océan. Le tiers restant est directement réfléchi vers l'espace par les nuages, les aérosols, l'atmosphère et la surface terrestre. Atmosphère et surface terrestre émettent en retour un rayonnement infrarouge que les nuages et les gaz à effet de serre (vapeur d'eau, dioxyde de carbone, ozone et méthane pour les plus importants) absorbent et réémettent en grande partie vers le sol. Les gaz à effet de serre ont en effet la particularité d'être pratiquement transparents au rayonnement solaire et opaque au rayonnement infrarouge émis par la terre. L'énergie est piégée. Ce phénomène a été baptisé « effet de serre » par analogie avec la serre du jardinier. On estime que sans cet effet de serre de l'atmosphère, la température moyenne à la surface de la terre serait au plus de - 18°C au lieu de +15°C que nous connaissons [8].

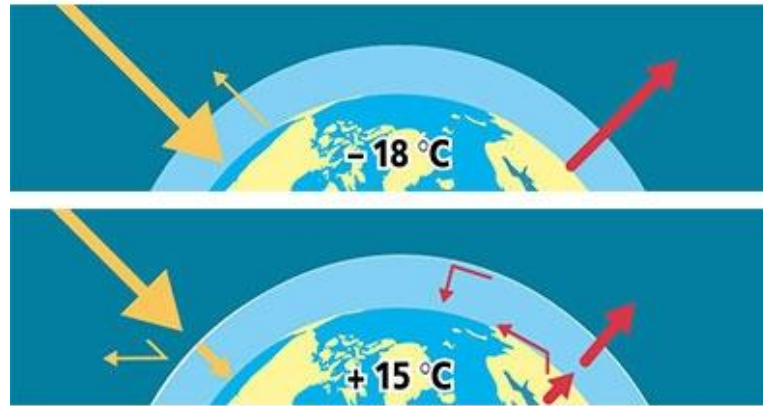


Fig.1.9. L'effet de serre naturel [27]

I.3.4.2. Les principaux gaz à effet de serre (GES)

Il existe un grand nombre de gaz à effet de serre (GES) naturellement présents dans l'atmosphère mais dont la concentration varie du fait des activités humaines. Leurs impacts sur le climat dépendent de leur capacité à absorber et émettre du rayonnement infrarouge, de leur concentration dans l'atmosphère et de leur durée de vie.

- **La vapeur d'eau (H_2O)** est responsable à elle seule de la grande majorité de l'effet de serre naturel. Elle a également un effet de rétroaction important sur le changement climatique : lorsque la température augmente, l'évaporation augmente et la quantité de vapeur d'eau relâchée dans l'atmosphère aussi, accélérant encore le réchauffement.

- **Le dioxyde de carbone (CO_2)**, dont la concentration peut augmenter du fait de processus naturels comme les éruptions volcaniques et les feux de forêts ou de brousse. Mais ce sont les activités humaines avec l'utilisation de carbone fossile (pétrole, gaz naturel et charbon notamment pour l'industrie, le chauffage et les transports), ou encore la fabrication du ciment et les changements d'occupation des sols, qui sont responsables de l'essentiel de l'augmentation de sa concentration depuis 1750.

- **Le méthane (CH_4)** est un gaz à effet de serre bien plus puissant que le CO_2 , mais moins concentré. Il est souvent lié aux processus de fermentation (marécages, décharges, digestion des ruminants, etc.). L'agriculture intensive est ainsi l'un des responsables de l'augmentation des concentrations de méthane dans l'atmosphère au cours des derniers siècles.

- **L'ozone (O_3)**, produit dans les basses couches de l'atmosphère à partir de composés organiques volatiles rejetés par les activités industrielles, et divers polluants émis dans l'air émis principalement par le trafic routier. Il ne faut pas confondre avec l'ozone

Chapitre I : L'évolution du climat et ses conséquences

stratosphérique, qu'il nous protège du rayonnement solaire ultraviolet.

- **Le protoxyde d'azote (N₂O)**, appelé également « gaz hilarant », est émis naturellement par les sols et provient notamment de l'utilisation d'engrais azotés [5].

Contribution à l'effet de serre naturel des différents gaz présents dans l'atmosphère

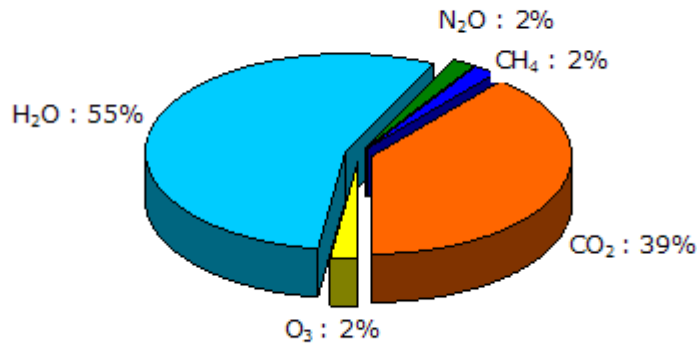


Fig.1.10. Contribution à effet de serre naturel des différents gaz présents dans l'atmosphère [28]

I.3.4.3. Le Potentiel de réchauffement global (PRG)

Le Potentiel de Réchauffement Global (PRG) est défini comme le rapport entre la perturbation du bilan radiatif de la Terre pendant une période déterminée qui suit l'émission ponctuelle d'un kg d'un gaz et la perturbation sur la même période d'une émission ponctuelle d'un kg de CO₂. Cette intégration des effets radiatifs sur une période de temps assez longue est justifiée par le temps de réponse du système climatique. La période de temps considérée est généralement de 100 ans [7].

La définition mathématique du pouvoir de réchauffement global est :

$$\mathbf{PRG} = \frac{\int_0^N A_x C_x(t) dt}{\int_0^N A_{CO_2} C_{CO_2}(t) dt} \quad (1.1)$$

Avec

A_x : Efficacité radiative du gaz X

C_x(t) : Concentration du gaz X à l'instant t en réponse

A_{CO₂} : Efficacité radiative du CO₂

C_{CO₂}(t) : Concentration du CO₂ à l'instant t en réponse

Tableau.1.1. Potentiels de réchauffement global des GES comparé au CO₂ [7]

Gaz		PRG100	temps de résidence
CO₂	<i>Dioxyde de Carbone</i>	1	persistance longue 40% > 5 000 ans dissolution océans 30% en 20 ans
CH₄	<i>Méthane</i>	28	12 ans
N₂O	<i>Protoxyde d'azote</i>	298	114 ans
F Gaz <i>Gaz fluoré</i>	PF4	<i>Tetrafluoro-carbone</i>	7 390
	HFC	<i>Trifluorométhane</i>	12 400
	SF6	<i>Hexafluorure de soufre</i>	23 500

I.3.4.4. L'effet de serre additionnel

L'effet de serre additionnel provient des activités humaines qui entraînent l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre naturellement présents dans l'atmosphère. Le premier responsable de cet effet de serre additionnel, et donc du réchauffement climatique, est le dioxyde de carbone. Selon une récente étude, le taux de CO₂ dans l'atmosphère dépasse aujourd'hui les 412 ppm (parties par million), contre 280 ppm au début de l'ère industrielle. Cette augmentation est à l'origine d'environ deux tiers de l'effet de serre additionnel accumulé depuis 1750.

L'agriculture intensive et l'élevage sont responsables de l'effet de serre additionnel dû aux émissions de méthane et de protoxyde d'azote. S'y ajoute la production d'autres gaz artificiels de type halocarbures n'existant pas à l'état naturel : on les retrouve entre autres dans les systèmes de climatisation ou les bombes aérosols [8].

I.3.4.5. Le rôle des aérosols

Les aérosols sont de fines particules en suspension dans l'air. Ils sont présents naturellement dans l'atmosphère (volcanisme, incendies...etc.) mais leur concentration a grandement augmenté avec les activités industrielles. Contrairement aux gaz à effet de serre, les aérosols ont un effet généralement refroidissant sur le système terre-atmosphère. Ces poussières en suspension absorbent et diffusent le rayonnement solaire dont une partie est renvoyée vers l'espace. Une partie du rayonnement solaire manque donc à l'atmosphère, mais aussi à la surface terrestre, d'où cet effet refroidissant. En plus de cette conséquence directe, les aérosols ont un impact sur la formation, la composition physique et l'albédo (pouvoir de réflexion) des nuages. Ces effets indirects provoquent également un refroidissement. A l'inverse, d'autres effets de réchauffement

Chapitre I : L'évolution du climat et ses conséquences

liés aux aérosols sont aussi possibles (en particulier pour les aérosols carbonés et le dépôt d'aérosols sur la neige), mais les effets refroidissant l'emportent globalement. Masquant en partie le réchauffement dû aux gaz à effet de serre, les aérosols font l'objet de recherches pour mieux comprendre et quantifier leur impact [8].

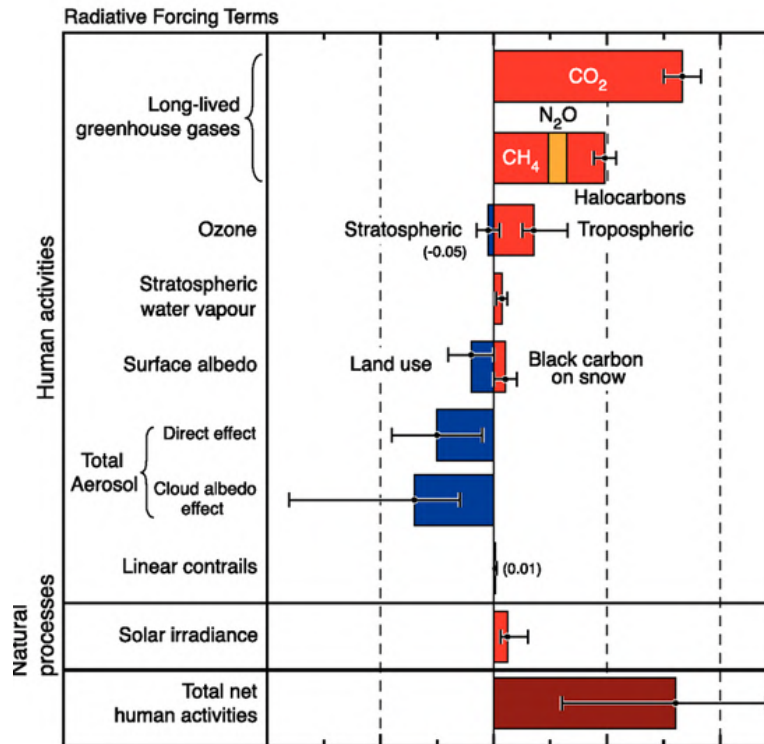


Fig.1.11. Bilan du forçage radiatif des GES et des aérosols [8]

I.3.5. Les principales conséquences du changement climatique

I.3.5.1. L'augmentation de la température de surface de la Terre

Depuis 1850, on constate une tendance claire au réchauffement climatique, et même une accélération de celui-ci. Au XXe siècle, la température moyenne du globe a augmenté d'environ 1 °C. La décennie 2010-2019 est la période de 10 années consécutives la plus chaude au moins depuis le début des mesures instrumentales, en 1850. En raison d'une forte variabilité naturelle, la température moyenne du globe peut, certaines années, être plus élevée ou plus basse que celle des années précédentes. Mais cette variabilité interannuelle ne doit pas être confondue avec l'évolution de fond : une tendance générale à la hausse marquée depuis plus d'un siècle. Près de la surface terrestre, le réchauffement s'est accentué. Depuis le milieu des années 1970, il a atteint une moyenne de 0,17 °C par décennie [11].

I.3.5.2. La fonte des glaces

L'Antarctique et le Groenland forment 90% des glaces terrestres. Dans beaucoup d'endroits, les glaciers reculent. Ceux des Alpes, particulièrement étudiés (au cours du siècle dernier ils ont perdu 50% de leur volume), la banquise et les surfaces enneigées auraient déjà subi les premiers effets du réchauffement climatique; la partie enneigée de la Terre aurait vu sa superficie diminuer de 10% depuis 1960, de même que celle de la banquise arctique permanente qui a perdu d'un tiers de son épaisseur à 40% et en une trentaine d'années est passée de 3,1 à 1,8 m en moyenne. Le déficit en glace de la calotte groenlandaise a, semble-t-il, plus que doublé entre 1996 et 2005.

Le comportement des calottes glaciaires est crucial dans l'estimation de la hausse du niveau des océans. Mais, les données seraient insuffisantes. C'est sans doute pour cette raison que le GIEC a ignoré ce paramètre pourtant primordial dans son dernier rapport [17].

I.3.5.3. L'élévation du niveau des mers

La prétendue montée des eaux océaniques est l'une des conséquences le plus souvent avancées du réchauffement climatique qui provoquerait leur dilatation thermique. En effet, l'eau chaude occupe un volume plus important que l'eau froide. Son élévation au XXe siècle se situe entre 10 et 20 cm d'après les données des marégraphes et des satellites altimétriques. La fonte de la banquise ne joue pas sur le niveau des mers, car, comme chacun sait, l'eau qui fond occupe exactement le même volume d'eau de mer que la glace immergée [3].

I.3.5.4. Les menaces sur une biosphère

Le changement climatique est devenu la troisième cause de perte de biodiversité derrière l'exploitation des milieux naturels par l'homme et les prélèvements directs (alimentation, santé, matières premières). Il pourrait devenir la première cause de perte de biodiversité d'ici le siècle prochain. Le changement climatique a modifié les rythmes biologiques et les aires de répartition des espèces, le fonctionnement des écosystèmes, les chaînes trophiques, les cycles biogéochimiques, et les services écosystémiques. Les projections que nous sommes capables de fournir de l'évolution future de la biosphère montrent une amplification des phénomènes observés depuis cinquante ans. Les moyens d'adaptation du vivant sont très limités étant donné la vitesse à laquelle se produit le changement climatique. C'est pourquoi, il est nécessaire, au-delà de la

réduction des émissions de gaz à effet de serre, de réduire également les autres pressions anthropiques sur la biosphère [4].

I.4. Les prévisions climatiques

I.4.1. Les modèles climatiques

Un modèle climatique est une représentation numérique du système climatique essentiellement basée sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques de ses composants ainsi que sur leurs processus d'interaction, et représentant la totalité ou une partie de ses propriétés connues.

Divers modèles présentant des degrés de complexités variés peuvent être utilisés pour représenter le système climatique. Des modèles de circulation générale couplés "Atmosphère/Océan" (AOGCM) fournissent une représentation générale du système climatique ; néanmoins vu la complexité des interactions et rétroactions entre les composants du système climatique, il y'a une évolution constante qui tend vers l'élaboration de modèles plus complexes à chimie et biologie actives.

En résumé les Modèles de Climat Global (MCG) sont des modèles climatiques permettant de simuler la réponse du système climatique à la variation de la concentration des GES. Ces derniers utilisent une résolution spatiale qui se situe généralement entre 250 Km et 600 Km, comprenant dans un contexte virtuel 30 niveaux verticaux sous forme de cubes empilés les uns par-dessus les autres, de la surface terrestre jusqu'à la fin de l'atmosphère, renfermant des équations et des caractéristiques propres à chacun [1].

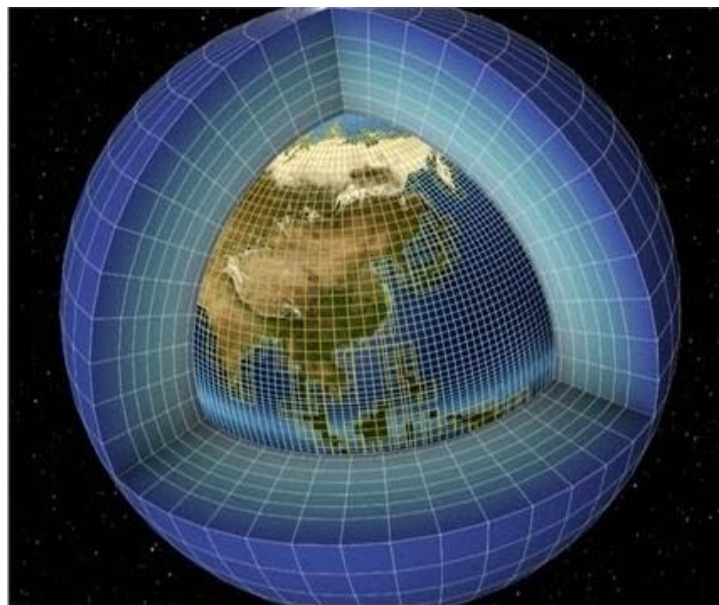


Fig.1.12. La modélisation climatique [6]

I.4.2. Les Scénarios climatiques

Le GIEC a développé quatre scénarios socioéconomiques du monde futur décrivant l'évolution des sociétés humaines pour les décennies à venir. Ils prennent en compte, entre autres, l'évolution démographique, le développement économique, l'utilisation de nouvelles technologies et l'application de politiques de protection de l'environnement. Les scénarios sont nécessaires pour évaluer l'incidence des changements climatiques et permettront alors de prendre des mesures d'adaptation adéquates.

D'après Rapport Spécial sur les Scénarios d'Emissions (SRES, IPCC, 2000), Chaque famille de scénarios (désignée par un sigle (A1, A2, B1, B2), représente une situation différente dans l'évolution sur plusieurs plans: économique, démographique, technologique social, et environnemental [17].

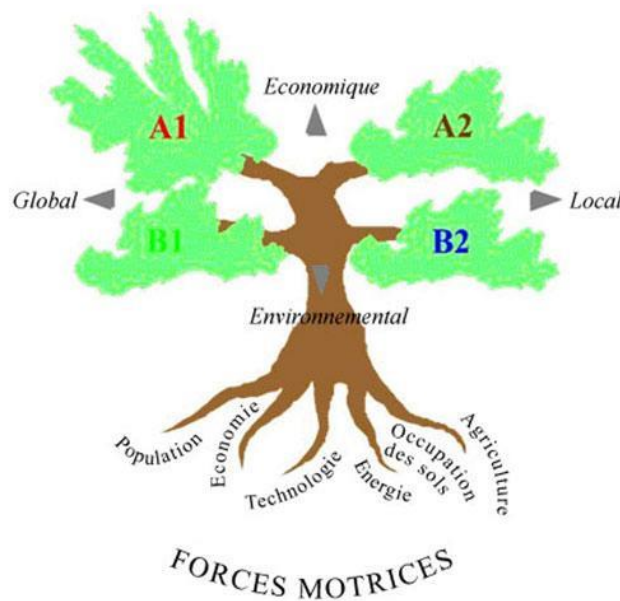


Fig.1.13. Scénarios d'émissions utilisées pour les projections climatiques [6]

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

Chapitre I : L'évolution du climat et ses conséquences

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

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

Le scénario **B2** parle d'un monde axé sur la préservation de l'environnement et de l'égalité sociale, mais qui part de solutions régionales en matière de durabilité économique, sociale et écologique [1].

CHAPITRE II

Présentation de la zone d'étude et traitement statistique de données

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude & traitement statistique de données

II.1. Introduction

Connaître les conditions climatiques d'une région nécessite des données climatiques à long terme provenant de plusieurs stations météorologiques dans toute la région, car cela permet de mieux comprendre le changement climatique dans la région et peut donc également prédire les changements climatiques futurs.

Avant d'utiliser les données observées pour toute recherche, ces dernières doivent être rigoureusement analysées. Nous utiliserons d'abord les tests de Pettitt et Mann Kendall pour analyser l'homogénéité et la tendance d'une série d'observations dans l'intervalle annuel.

Dans ce chapitre nous présentons le domaine d'étude, ainsi que les données climatiques utilisées puis nous nous intéresseront au contrôle de leur qualité et fiabilité

II.2. Présentation de la zone d'étude

II.2.1. Situation géographique

L'Algérie est un État d'Afrique du Nord qui fait partie du Maghreb. C'est le plus grand pays bordant la Méditerranée et le premier plus étendu d'Afrique. Ses limites sont comprises entre 19 ° et 37 ° de latitude Nord et entre 9 ° de longitude Ouest et 12 ° de longitude Est. L'Algérie s'étale sur une superficie de 2 381 741 kilomètres carrés. Il partage des frontières terrestres au Nord-Est avec la Tunisie, à l'Est avec la Libye, au Sud avec le Niger et le Mali, au Sud-Ouest avec la Mauritanie et le territoire du Sahara occidental, et à l'Ouest avec le Maroc.



Fig.2.1. Carte de l'Algérie [21]

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude & traitement statistique de données

II.2.2. Synthèse climatique

L'Algérie fait partie des zones arides et semi-arides qui sont vulnérables et souffrent de sécheresses chroniques. Ce qui entraîne de forts déficits hydriques qui représentent une forte contrainte sur l'environnement, les activités socio-économiques et le bien-être des populations et intensifient inexorablement le phénomène de désertification qui affecte déjà gravement le pays. Du Nord au Sud, le pays se caractérise par trois ensembles géographiques contrastés et individualisés par le relief et le climat qui s'y rattachent. On distingue successivement :

- Le littoral et la zone tellienne au Nord qui plonge vers la mer Méditerranée,
- Les Hauts Plateaux et la Steppe compris entre l'Atlas Tellien au Nord et l'Atlas Saharien au Sud,
- Le Sahara.

On passe ainsi de façon étagée d'un milieu marin et humide à un milieu désertique et sec [20].



Fig.2.2. Carte topographique de l'Algérie [29]

II.3. Présentation des données climatiques

II.3.1 La disponibilité de données climatiques

Les études des changements climatiques nécessitent la création de bases de données complètes avec lesquelles on pourra analyser de manière adéquate le signal climatique,

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude & traitement statistique de données

suivre son évolution dans le temps et prévoir les changements futurs avec une incertitude minimale.

Les études des changements climatiques nécessitent de longues séries de données climatiques fiables avec lesquelles on pourra analyser de manière adéquate le signal climatique. Afin de choisir la période la plus longue, qui soit dépourvue le plus possible de données manquantes pour toutes les stations, il est nécessaire de se baser sur quelques critères pour éliminer les stations défectueuses. Cela a nécessité un choix des stations basé sur quatre critères :

1. La taille de l'échantillon ;
2. Homogénéité des séries à étudier ;
3. La qualité des données (faiblesse des lacunes dans les séries observées) ;
4. Leur position géographique par rapport à la zone étudiée.

Nous avons essayé d'intégrer le plus grand nombre de stations possible et qui offrent de longues séries d'observations. La répartition spatiale de ces stations est donnée sur la figure 2.3.

Les données proviennent de deux sources, à savoir l'Office National de la Météorologie (ONM) et le Centre National pour l'Information et l'Environnementale (NCEI/NOAA) qui héberge et donne accès à l'une des archives des données climatiques les plus importantes de la planète, disponible online sur le site : <https://gis.ncdc.noaa.gov/maps/ncei/>

Le tableau 2.1 présente les vingt (20) stations retenues pour cette étude dont les longueurs des enregistrements varient entre 40 et 52 ans. Ces stations sont réparties sur tout le territoire national.

Les données climatologiques retenues dans cette étude comprennent les observations mensuelles et annuelles de températures minimales (TN), la température maximales (TX) et la température moyenne (TM) ainsi que les précipitations (PRCP).

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude & traitement statistique de données

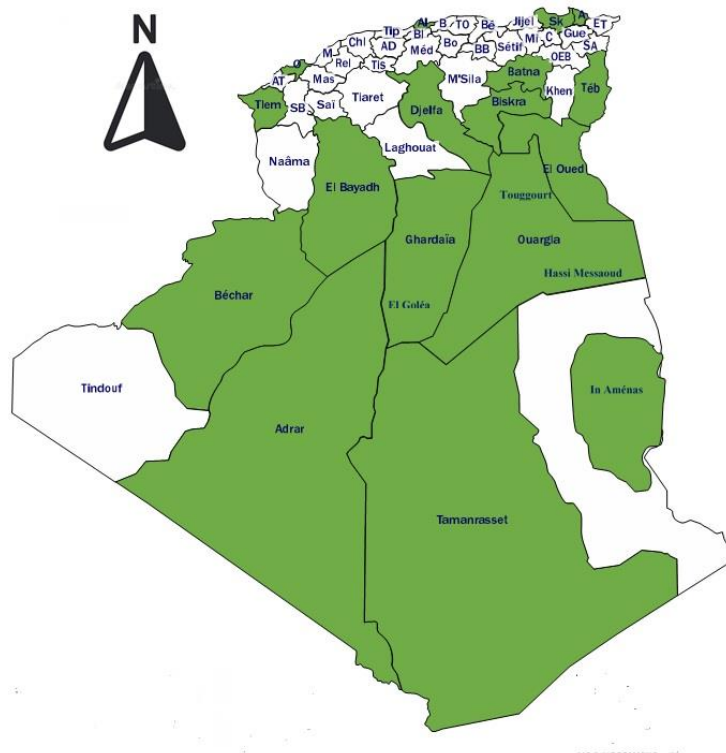


Fig.2.3. Carte de localisation des stations de la zone d'étude

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude & traitement statistique de données

Tableau 2.1. Liste des stations météorologiques retenues pour cette étude.

Nom de la station	Indicatif OMM	Indicatif OACI	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Période
Adrar	60620	DAUA	27°49'N	00°11'W	283	(1980-2020)
Alger	60390	DAAG	36°43'N	03°15'E	25	(1969-2020)
Annaba	60360	DABB	36°50'N	07°48'E	07	(1980-2020)
Batna	60468	DABT	35°45'N	06°19'E	822	(1980-2020)
Bechar	60571	DAOR	31°30'N	02°15'W	816	(1971-2020)
Biskra	60525	DAUB	34°4'8N	05°44'E	87	(1973-2020)
Djelfa	60535	DAFI	33°09'N	03°23'E	1185	(1980-2020)
El Bayadh	60550	DAOY	33°40'N	01°00'E	1341	(1980-2020)
El Goléa	60590	DAUE	30°34'N	02°52'E	397	(1971-2020)
El Oued	60559	DAUO	33°30'N	06°47'E	69	(1971-2020)
Ghardaia	60566	DAUG	32°23'N	03°49'E	450	(1969-2020)
Hassi Messaoud	60581	DAUH	31°40'N	06°09'E	142	(1969-2020)
In Aménas	60611	DAUZ	28°03'N	09°38'E	562	(1971-2020)
Oran	60490	DAOO	35°38'N	00°36'W	90	(1980-2020)
Ouargla	60580	DAUU	31°55'N	05°24'E	141	(1980-2020)
Skikda	60355	DABP	36°53'N	06°54'E	3	(1980-2020)
Tamanrasset	60680	DAAT	22°49'N	05°28'E	1377	(1969-2020)
Tébessa	60475	DABS	35°29'N	08°08'E	813	(1980-2020)
Tlemcen	60531	DAON	35°01'N	01°28'W	247	(1981-2020)
Tougourt	60555	DAUK	33°04'N	06°05'E	92	(1974-2020)

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude & traitement statistique de données

II.3.2 Traitement des données manquantes

Les séries de données collectées ont été organisées sous forme de 20 fichiers EXCEL. La période d'étude a toujours présenté des lacunes d'ordre mensuel. Afin de pallier à ce problème, nous avons utilisé la méthode de comblement de lacunes par la régression linéaire simple pour les températures et la méthode des rapports pour les précipitations.

II.3.2.1. Estimation des températures

L'estimation de données manquantes ou erronées peut se faire selon plusieurs méthodes, la plus répandue est la régression linéaire ; pour que cette méthode soit utilisable, il faut l'existence d'au moins une station voisine qui soit dotée d'un coefficient de corrélation élevé avec la station lacunaire donc il faut que la régression soit linéaire.

On estime la variable Y à partir de la variable X par l'équation de la droite suivante :

$$Y = aX + b \quad (2.1)$$

X : La valeur estimée ;

Y : La valeur à estimer ;

a : La pente de la droite ;

b : Une constante.

En pratique les calculs sont faits à partir de l'équation suivante :

$$Y = Y' + \left(R \cdot \frac{\delta_y}{\delta_x}\right)(X - X') \quad (2.2)$$

Y : La donnée manquante à estimer ;

Y' : La moyenne observée de la série homogène de la station incomplète ;

R : Le coefficient de corrélation entre X et Y estimé à partir des séries d'observations communes ;

δ_y : L'écart type de Y estimé d'après la série d'observation de Y' ;

δ_x : L'écart type de X estimé d'après la même série d'observation X' ;

X : La variable explicative connue d'après laquelle nous estimons la variable erronée ou inconnue Y de la série d'observation incomplète ;

X' : la moyenne de X de la station complète estimée à partir de la même période observée simultanément dans la station incomplète [1].

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude & traitement statistique de données

Le comblement des lacunes dans les séries d'observations est impératif et doit être conforme à la méthode précitée. Le degré de corrélation, le profil et la distance entre la station homogène et la station à homogénéiser doivent être pris en considération [1].

Exemple pratique

La série d'observation de la station de Batna a été contrôlée à partir de la station de Tébessa. En effet, les deux stations dont l'altitude est la même présente un coefficient de corrélation très élevé et significatif ($R=0,85$).

Le mois d'Octobre de l'année 1981 présente des lacunes à Batna, le calcul de la valeur recherchée de ce mois de 1981 s'écrit :

$\bar{X} = 31,8^{\circ}\text{C}$: La moyenne de la température des mois d'Octobre pour toute la période (1981-2020) à la station de Tébessa ;

$\bar{X}' = 31,1^{\circ}\text{C}$: La moyenne de la série homogène commune entre les deux stations (1981-2020) à la station de Tébessa ;

$\delta_x = 9,3$: L'écart-type pour la station de Tébessa ;

$\bar{Y}' = 31,1^{\circ}\text{C}$: La moyenne de la série homogène (1981-2020) à Batna ;

$\delta_y = 9,1$: L'écart-type pour la station de Batna ;

$R = 0,85$: Le coefficient de corrélation entre les deux stations.

$$Y = 31,1 + \left(0,85 \cdot \frac{9,1}{9,3}\right)(31,8 - 31,1) = 31,8^{\circ}\text{C}$$

L'estimation des valeurs inconnues à partir de la méthode de la régression linéaire est très satisfaisante pour les variables continues comme les températures, car celles-ci suivent une distribution normale. Cependant, pour les variables discontinues, comme les précipitations et les jours de pluies, la régression linéaire exprime des valeurs moins pertinentes.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude & traitement statistique de données

Tableau 2.2. Les coefficients de corrélation des températures moyennes mensuelles entre les différentes stations.

	Adrar	Alger	Annaba	Batna	Béchar	Biskra	Djelfa	El Bayadh	El Goléa	El Oued	Ghardaia	H Messaoud	In Aménas	Oran	Ouargla	Skikda	Tamanrasset	Tébessa	Tlemcen	Touggourt	
Adrar	1,00																				
Alger	0,47	1,00																			
Annaba	0,49	0,59	1,00																		
Batna	0,67	0,62	0,70	1,00																	
Béchar	0,75	0,46	0,54	0,74	1,00																
Biskra	0,37	0,21	0,43	0,49	0,33	1,00															
Djelfa	0,57	0,46	0,57	0,67	0,71	0,31	1,00														
El Bayadh	0,67	0,36	0,56	0,70	0,71	0,29	0,66	1,00													
El Goléa	0,83	0,47	0,62	0,77	0,81	0,47	0,59	0,79	1,00												
El Oued	0,66	0,56	0,67	0,82	0,66	0,47	0,62	0,59	0,81	1,00											
Ghardaia	0,79	0,63	0,67	0,89	0,84	0,46	0,70	0,70	0,87	0,87	1,00										
H Messaoud	0,79	0,52	0,65	0,85	0,83	0,50	0,66	0,68	0,90	0,87	0,94	1,00									
In Aménas	0,63	0,53	0,38	0,59	0,63	0,39	0,37	0,34	0,70	0,70	0,78	0,74	1,00								
Oran	0,68	0,80	0,66	0,78	0,61	0,34	0,55	0,57	0,69	0,69	0,76	0,71	0,57	1,00							
Ouargla	0,68	0,57	0,59	0,78	0,69	0,53	0,54	0,50	0,73	0,79	0,87	0,85	0,78	0,73	1,00						
Skikda	0,61	0,75	0,68	0,79	0,61	0,40	0,53	0,50	0,69	0,72	0,81	0,71	0,67	0,79	0,75	1,00					
Tamanrasset	0,67	0,51	0,34	0,60	0,70	0,39	0,37	0,41	0,69	0,57	0,74	0,72	0,78	0,71	0,73	0,67	1,00				
Tébessa	0,67	0,54	0,72	0,85	0,77	0,45	0,65	0,68	0,83	0,80	0,89	0,88	0,69	0,69	0,76	0,72	0,62	1,00			
Tlemcen	0,70	0,65	0,54	0,66	0,61	0,36	0,49	0,69	0,73	0,63	0,69	0,63	0,50	0,81	0,58	0,69	0,61	0,64	1,00		
Touggourt	0,72	0,62	0,71	0,88	0,75	0,48	0,64	0,62	0,84	0,93	0,96	0,95	0,80	0,75	0,88	0,79	0,71	0,87	0,63	1,00	

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude & traitement statistique de données

II.3.2.2. Estimation des précipitations

L'estimation des données manquantes d'une station est calculée à partir des valeurs provenant des stations voisines soumises aux mêmes conditions climatiques et situées dans la même zone géographique que la station déficitaire en données [1].

Certaines stations retenues pour notre étude présentent plusieurs lacunes d'observations mensuelles.

La méthode retenue pour l'estimation de la pluviométrie mensuelle est la méthode des rapports. Cette méthode est basée sur le rapport entre deux séries pluviométriques complètes de deux stations où les valeurs mensuelles de pluie tombée dans une station (Y) présentent une ou plusieurs lacunes qui seront complétées par la série complète de la seconde station (X) ; son application se fait selon l'équation suivante [1]:

$$Y=aX \quad (2.3)$$

Où :

Y : La valeur pluviométrique mensuelle inconnue à la station lacunaire ;

X : La valeur correspondante observée pendant le même mois à la station de référence A ;

a : La constante d'ajustement égale au rapport de la somme des précipitations observées pendant une même série commune aux deux stations soit :

$$a = \frac{P_Y}{P_X} \quad (3.4)$$

Pour les stations concernées par notre étude, nous avons tenu compte en plus des conditions précitées (climatiques et géographiques), du degré de corrélation statistique entre les séries déterminant l'efficacité de l'ajustement.

Pour illustrer cette méthode nous allons donner l'exemple d'ajustement des données de la station de Ghardaia (Y) à partir de celles de la station d'El Goléa (X) pour le mois de décembre 1973.

Ces deux stations se trouvent dans un même contexte climatique et géographique et leur coefficient de corrélation s'élève à 0.87 à l'échelle mensuelle.

Le total des précipitations du mois considéré pendant la même série est égal à :

$$P_Y = 2047,9 \text{ mm ;}$$

$$P_X = 3413,2 \text{ mm ;}$$

$$\text{Donc : } a = 0,599$$

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude & traitement statistique de données

La hauteur des précipitations observées au mois de décembre 1973 à la station d'El Oued est de 58,3 mm ; la valeur correspondante à la station de Biskra serait donc de :

$$Y = 0,599 \times 58,3 \text{ mm} = 34,9 \text{ mm.}$$

II.4. Méthodes statistiques utilisées

Pour détecter l'existence d'une éventuelle rupture et tendance dans les séries de données, deux approches ont été utilisées :

1. Test d'homogénéité de Pettitt pour détecter une éventuelle rupture dans les séries de données ;
2. Test de Mann-Kendall pour détecter une éventuelle tendance dans les séries de données.

II.4.1. Test d'homogénéité de Pettitt

C'est un test non paramétrique, il est une adaptation du test Mann-Whitney basé sur les rangs et ne nécessitant aucune hypothèse quant à la distribution de données [2].

L'absence de rupture dans la série (x_i) de taille N constitue l'hypothèse nulle (H_0). La mise en œuvre du test suppose que pour tout instant t compris entre 1 et N , les séries chronologiques $(x_i)_{i=1}$ à t et $t+1$ à N appartiennent à la même population. La variable à tester est le maximum en valeur absolue de la variable $U_{t,N}$ définie par :

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij} \quad (3.5)$$

$$\text{Avec } D_{ij} = \text{signe}(X_i - X_j) = \begin{cases} 1 & \text{si } (X_i - X_j) > 0 \\ 0 & \text{si } (X_i - X_j) = 0 \\ -1 & \text{si } (X_i - X_j) < 0 \end{cases}$$

Le cas de la station d'Alger peut être donné en exemple. Les observations annuelles des précipitations de cette station sont soumises au test de Pettitt ; deux hypothèses sont émises lors du test :

- H_0 : Les données ne sont pas homogènes ;
- H_a : Il y a une date à partir de laquelle il y a un changement dans les données.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude & traitement statistique de données

Etant donné que la p-value calculée (0,03691 dans l'exemple) est inférieure au niveau de signification seuil $\alpha=0,05$, on peut rejeter l'hypothèse nulle H_0 . On en conclut que la série de précipitations de la station d'Alger est homogène.

II.4.2. Test de Mann-Kendall

Le test de Mann-Kendall sert à déterminer avec un test non paramétrique l'existence d'une tendance dans une série temporelle.

Ce test de tendance non paramétrique est le résultat d'une amélioration du test d'abord été étudié par Mann (1945) puis repris par Kendall (1975) et finalement optimisé par Hirsch (1982, 1984) de façon à prendre en compte une composante saisonnière.

L'hypothèse nulle H_0 de ces tests est qu'il n'y a pas de tendance. Les trois hypothèses alternatives de tendance négative, non nulle ou positive peuvent être choisies [2].

Le cas de la station d'Alger est toujours donné comme exemple. Les observations annuelles des précipitations de cette station sont soumises au test de Mann-Kendall ; deux hypothèses sont émises lors du test :

H_0 : Il n'y a pas de tendance dans la série ;

H_a : Il existe une tendance dans la série.

Etant donné que la p-value calculée (0,1624) est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha=0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 . Dans ce cas, on adopte l'absence de tendance comme conclusion.

CHAPITRE III

Régime des températures

III.1. Introduction

L'élément thermique est l'un des éléments les plus importants du climat qui contrôle la distribution de la vie sur la surface de la terre. C'est un paramètre essentiel qui conditionne toutes les activités physiologiques et les réactions chimiques. La température de l'air dépend du rayonnement solaire, de la pression de l'atmosphère, de sa composition en gaz (LEBOURGEOIS, 2010). Elle varie considérablement en fonction de la latitude, de l'altitude et de la continentalité.

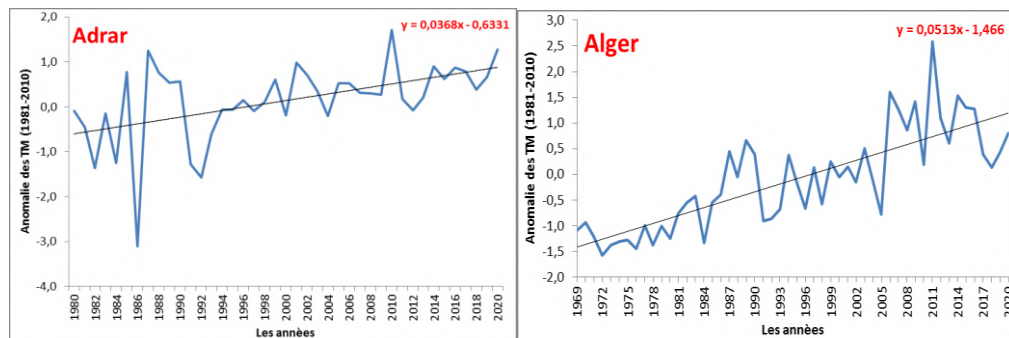
Ce chapitre est consacré à l'étude du régime des températures (régime annuel et régime saisonnier), en se basant sur les données météorologiques des stations retenues pour cette étude. Des calculs de base ont été effectués sur les séries brutes de façon à qualifier et quantifier les variations des températures à l'échelle annuelle et à l'échelle saisonnière.

III.2. Variation de la température

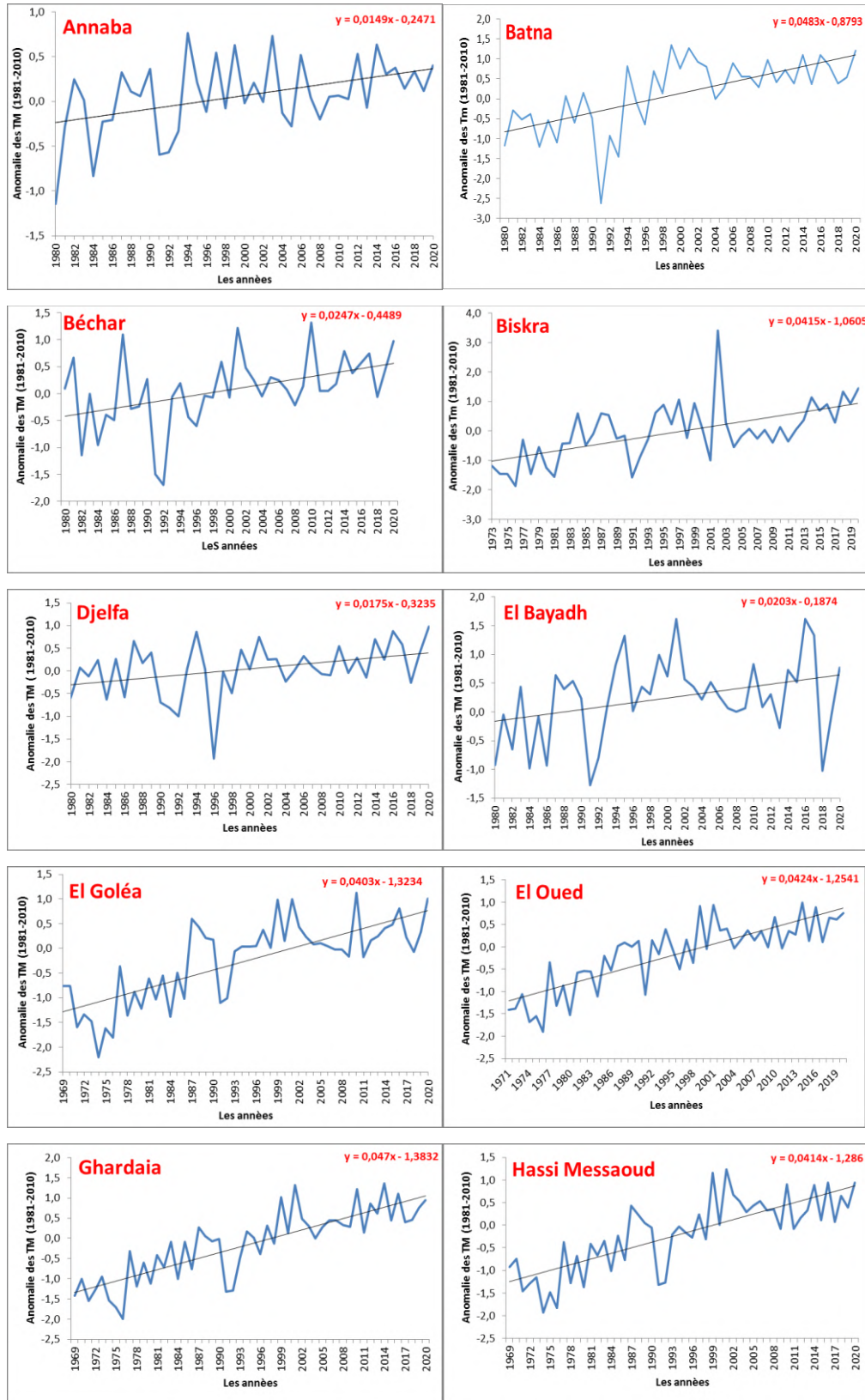
L'étude de la fluctuation de la température et de son évolution est considérée comme une étape clé pour prédire les régions exposées au risque de réchauffement ou refroidissement. Cette partie vise à analyser la variabilité interannuelle et saisonnière des températures moyennes, minimales et maximales.

III.2.1. Variation interannuelle de la température

Les moyennes annuelles de températures (TM) ont été calculées pour chaque station sur la base des températures minimales (TN) et maximales (TX), ensuite l'anomalie de la température moyenne annuelle a été calculée par rapport à la normale de référence (1981-2010) pour mieux distinguer les années exceptionnellement froides et chaudes. Nous avons considéré qu'une année était chaude, lorsque l'anomalie prend des valeurs positives, c'est-à-dire que la moyenne annuelle est supérieure à la moyenne des températures calculée sur la période (1981-2010).



Chapitre III : Régime des températures



Chapitre III : Régime des températures

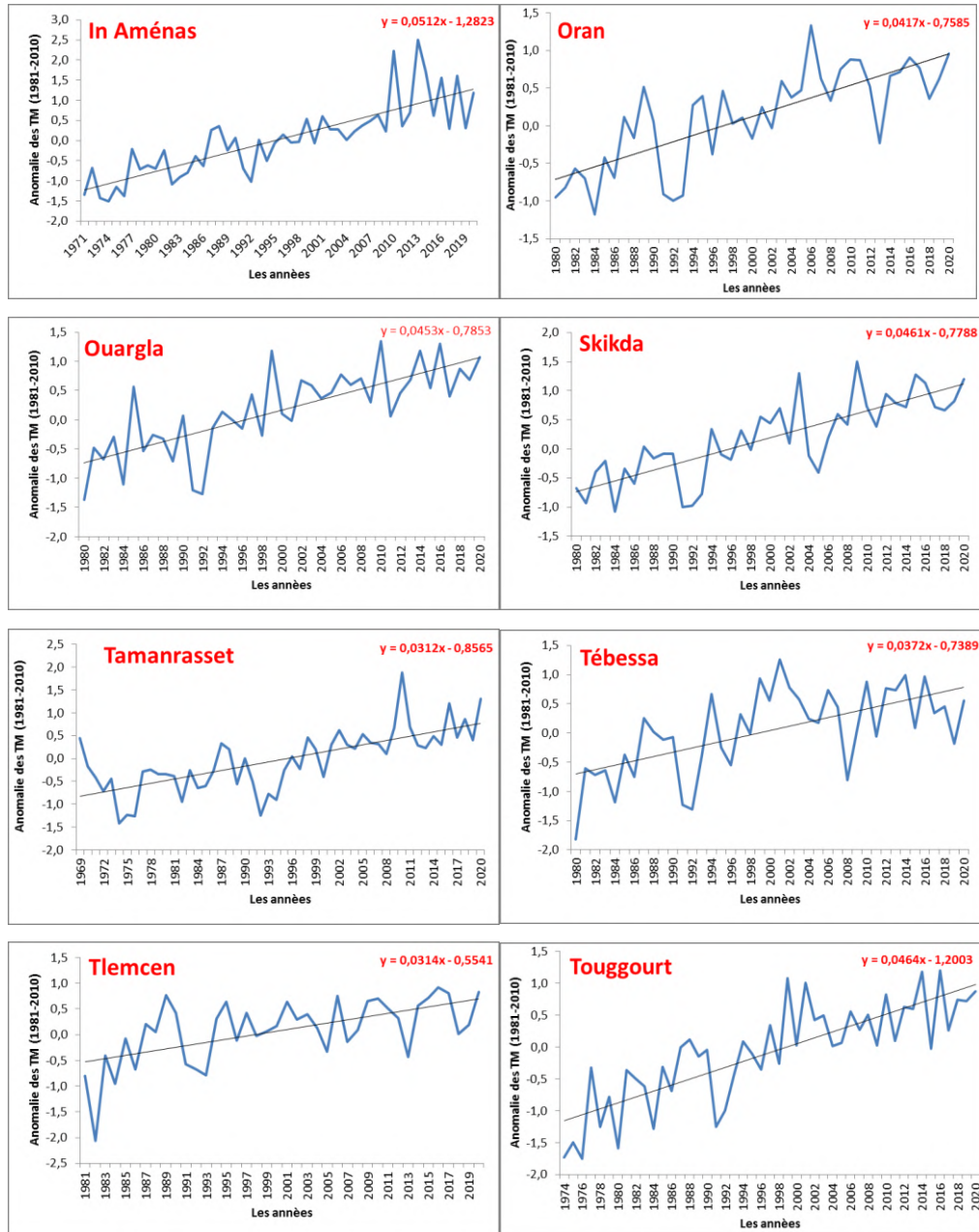


Fig.3.1. Anomalie de la température moyenne annuelle à la normale de référence (1981-2010).

La tendance est l'orientation générale d'une série d'observations à la hausse ou à la baisse sur une période assez longue. Dans notre cas, le calcul de la tendance a été estimé avec la méthode de la droite de régression linéaire ($y=ax+b$).

La figure 3.1 présente les anomalies de températures moyennes des données d'observations depuis 1969 dans certaines stations. Les droites de régression linéaire (en noire) montrent que les températures moyennes augmentent dans la majorité de stations étudiées. Cette tendance nette à la hausse (significative) des années chaudes est bien observée à partir de l'an 2000.

III.2.2. Variation saisonnière de la température

III.2.2.1. Températures moyennes saisonnières (\bar{T}_M)

Les températures moyennes saisonnières enregistrées sur la période (1981-2020) étaient dans l'ensemble normales (Figure 3.2). On a cependant relevé des écarts à la normale de l'ordre de -1°C principalement sur les stations du Nord. Quelques écarts positifs de $+1^{\circ}\text{C}$ ont également été enregistré plus particulièrement sur les stations du Sud.

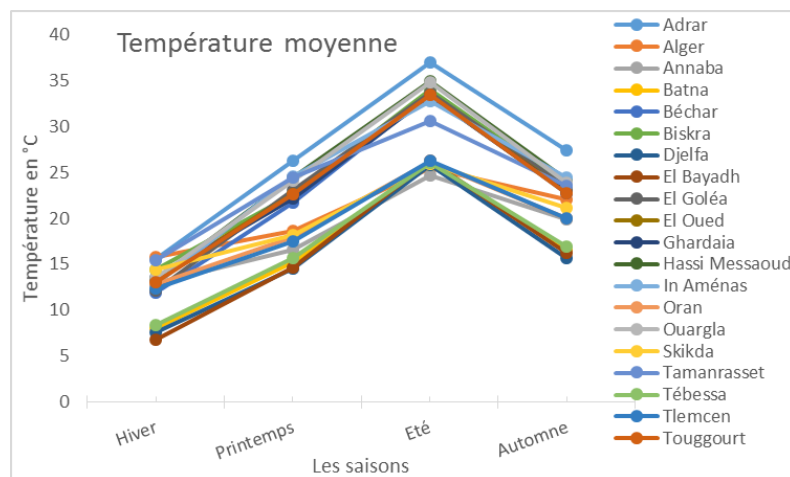


Fig.3.2. La variation saisonnière des températures moyennes (Période (1981-2020)).

III.2.2.2. Températures maximales saisonnière (\bar{T}_X)

En Hiver et en Printemps, des températures majoritairement normale à en-dessous de la normale climatologique saisonnière (1981-2010). En Été, une hausse par rapport à la normale climatologique atteignant $+1^{\circ}\text{C}$ sur les stations du Nord et de $+1^{\circ}\text{C}$ à $+2^{\circ}\text{C}$ sur les régions intérieures. Au-delà de ces régions, des écarts positifs de $+1^{\circ}\text{C}$ à $+3^{\circ}\text{C}$ ont été enregistré sur les stations du Sud (Figure 3.3).

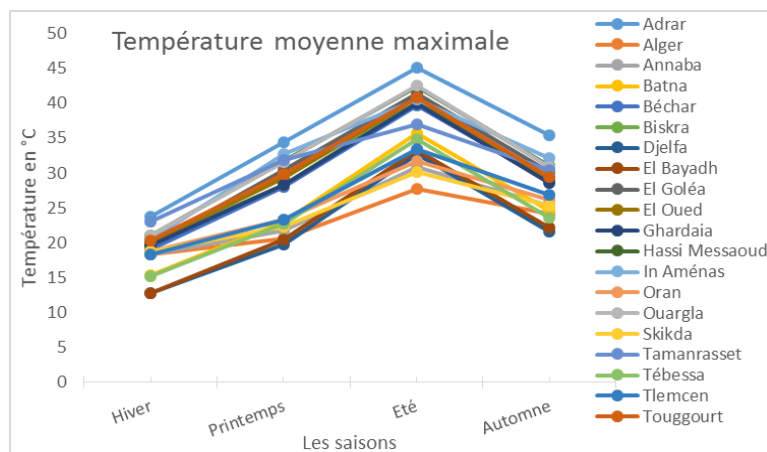


Fig.3.3. La variation saisonnière des températures maximales (Période (1981-2020)).

Chapitre III : Régime des températures

III.2.2.3. Température minimales saisonnière (\bar{T}_N)

La figure 3.4 illustre la courbe des tendances des températures minimales saisonnières pour la période (1981-2020). On constate une forte variation de ces tendances, allant de 0°C à plus de 30°C pour les quatre saisons de l'année. Le refroidissement est très marqué en période hivernale et automnale (notamment pour les stations d'El Bayadh, Djelfa et Batna) où les températures minimales diminuent globalement au-dessous de 0°C.

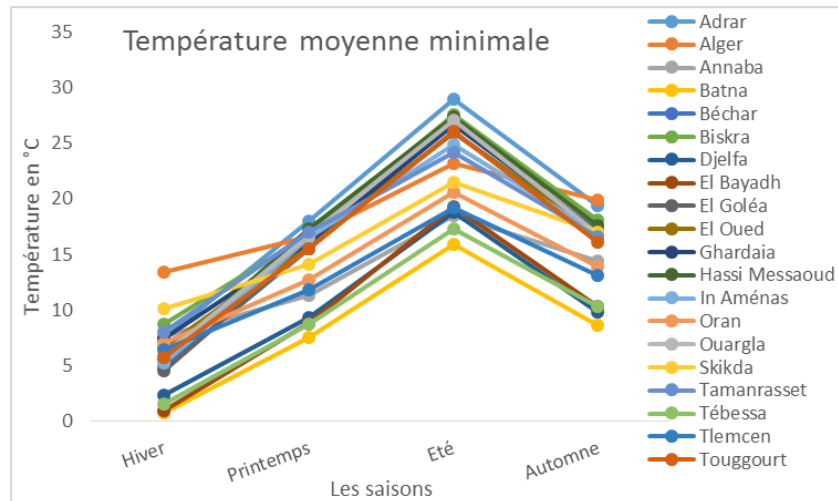


Fig.3.4. La variation saisonnière des températures minimales (Période (1981-2020)).

III.3. Caractéristiques de tendance centrale et de la dispersion des températures

Nous avons comparé la période 1981-2000 (20 ans) avec la période 2001-2020 (20 ans), nous avons procédé à l'analyse de l'évolution des températures entre ces deux séries d'observations. La période 2001-2020 (avec une température supérieure de 0,5°C à la normale 1981-2010) a été plus chaude de 0,7 °C que la période 1981-2000.

Le Tableau 3.1, montrent nettement le réchauffement observé entre les deux périodes et témoignent de l'ampleur des changements des températures sur la période 2001/2020 à la zone d'étude, à savoir une hausse de 0.7°C.

La dernière décade est la plus chaude observée durant toute la période d'étude. Les années 2002, 2010, 2014, 2016 et 2018 avec une température supérieure de 0,7 °C à la normale 1981-2010, se classent aux premiers rangs parmi les années les plus chaudes.

Chapitre III : Régime des températures

Tableau.3.1 Caractéristiques de tendance centrale et de la dispersion des températures

Stations	P1 (1981-2000)					P2 (2001-2020)					P2 (2001-2020) - P1 (1981-2000)				
	\bar{X}_1	σ_1	CV_1	Min ₁	Max ₁	\bar{X}_2	σ_2	CV_2	Min ₂	Max ₂	$\bar{X}_2 - \bar{X}_1$	$\sigma_2 - \sigma_1$	$CV_2 - CV_1$	Min ₂ - Min ₁	Max ₂ - Max ₁
Adrar	25,0	1,1	4,2	22,2	26,5	25,8	0,5	1,7	25,1	27,0	0,8	-0,6	-2,5	2,9	0,5
Alger	17,9	0,5	3,0	16,9	18,9	19,0	0,8	4,1	17,4	20,8	1,0	0,2	1,1	0,6	1,9
Annaba	18,1	0,4	2,3	17,3	18,9	18,3	0,3	1,5	17,8	18,8	0,2	-0,1	-0,7	0,6	-0,1
Batna	14,9	0,9	6,1	12,6	16,5	15,9	0,4	2,2	15,2	16,5	1,0	-0,6	-3,9	2,6	-0,1
Béchar	21,2	0,7	3,2	19,8	22,6	21,9	0,4	1,9	21,3	22,8	0,7	-0,3	-1,3	1,5	0,2
Biskra	22,2	0,8	3,4	20,6	23,3	22,6	1,0	4,2	21,2	25,6	0,5	0,2	0,9	0,6	2,4
Djelfa	14,7	0,7	4,4	13,0	15,8	15,2	0,4	2,4	14,6	15,9	0,4	-0,3	-2,0	1,7	0,1
El Bayadh	15,3	0,7	4,6	13,9	16,5	15,6	0,6	4,0	14,2	16,0	0,3	-0,1	-0,6	0,3	-0,5
El Goléa	21,9	0,7	3,0	20,7	23,1	22,4	0,4	1,7	21,9	23,2	0,5	-0,3	-1,2	1,2	0,1
El Oued	22,1	0,5	2,2	21,2	23,2	22,7	0,3	1,4	22,3	23,3	0,6	-0,2	-0,8	1,1	0,1
Ghardaïa	21,8	0,6	2,6	20,7	23,0	22,6	0,4	1,7	22,0	23,4	0,8	-0,2	-0,9	1,3	0,3
Hassi Messaoud	23,1	0,6	2,5	22,0	24,5	23,8	0,4	1,5	23,2	24,5	0,7	-0,2	-1,0	1,2	0,1
In Aménas	22,2	0,5	2,1	21,4	23,0	23,3	0,7	3,1	22,5	25,0	1,1	0,3	1,0	1,1	2,0
Oran	18,0	0,5	2,9	17,1	18,8	18,9	0,4	1,9	18,1	19,7	0,9	-0,2	-1,1	0,9	0,9
Ouargla	22,8	0,6	2,6	21,7	24,2	23,7	0,4	1,5	23,0	24,4	0,9	-0,2	-1,1	1,3	0,2
Skikda	18,4	0,5	2,7	17,6	19,3	19,4	0,5	2,5	18,3	20,2	0,9	0,0	-0,1	0,7	0,9
Tamanrasset	21,9	0,5	2,1	21,0	22,7	22,8	0,4	1,9	22,3	24,1	0,9	0,0	-0,1	1,4	1,4
Tébessa	15,9	0,6	3,9	14,9	17,1	16,6	0,5	2,9	15,4	17,5	0,7	-0,1	-1,0	0,5	0,3
Tlemcen	18,0	0,7	3,7	16,1	19,0	18,6	0,4	2,1	17,7	19,1	0,6	-0,3	-1,6	1,6	0,2
Touggourt	21,8	0,5	2,5	20,8	23,2	22,6	0,4	1,7	22,1	23,3	0,8	-0,2	-0,8	1,3	0,1
Moyenne	19,9	0,6	3,2	18,6	21,0	20,6	0,5	2,3	19,8	21,5	0,7	-0,2	-0,9	1,2	0,6

Avec : P1: La période (1981-2000) , P2 : La période (2001-2020), \bar{X}_1 : La moyenne des températures durant la période (1981-2000), σ_1 : L'écart type des températures durant la période (1981-2000), CV_1 : Le coefficient de variation durant la période (1981-2000), \bar{X}_2 : La moyenne des températures durant la période (2001-2020), σ_2 : L'écart type des températures durant la période (2001-2020), CV_2 : Le coefficient de variation durant la période (2001-2020).

CHAPITRE IV

Régime des précipitations

IV.1. Introduction

Les précipitations représentent l'élément le plus important du climat tant pour les êtres vivants que pour les milieux. Tant de raisons qui font que la majorité des études et analyses s'appuient sur les précipitations bien plus que sur d'autres paramètres du climat d'éventuels changements dans le régime pluviométrique, nous avons utilisé un certain nombre de tests statistiques sur 20 stations pluviométriques possédants des séries de mesures pour une période allant de 1981 à 2020. Des analyses statistiques et graphiques ont permis de caractériser les variations de la pluviométrie de la zone d'étude. Le régime de précipitations de l'Afrique du Nord est influencé par certaines modes de variabilité de la circulation atmosphérique extratropicale, notamment l'Oscillation Nord-Atlantique (NAO) et l'Oscillation Méditerranéen (MO). Les indices de précipitations utilisés pour évaluer la performance : L'indice de précipitations standardisé (SPI).

IV.2. Variation des précipitations

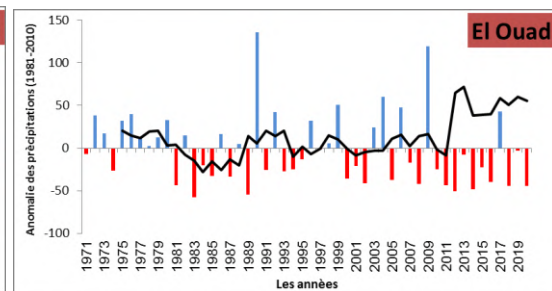
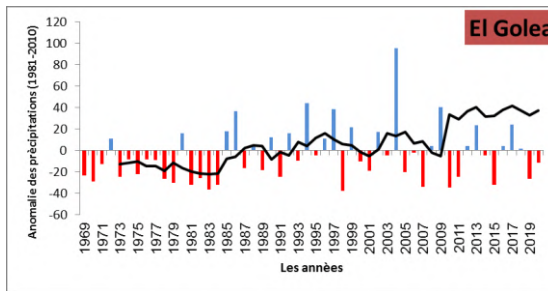
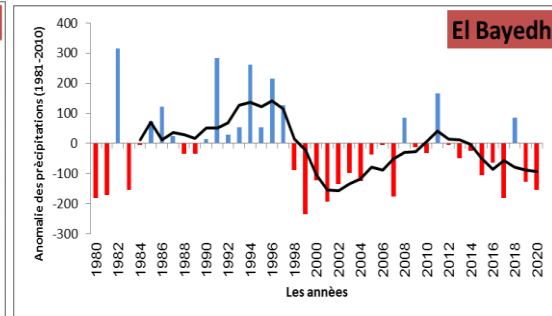
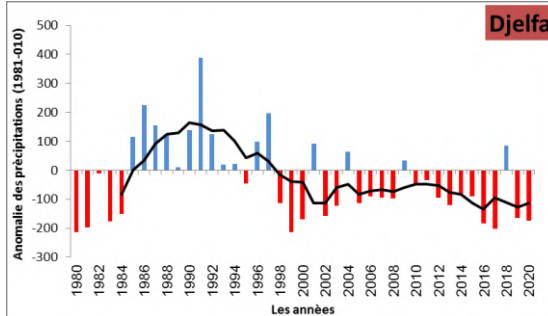
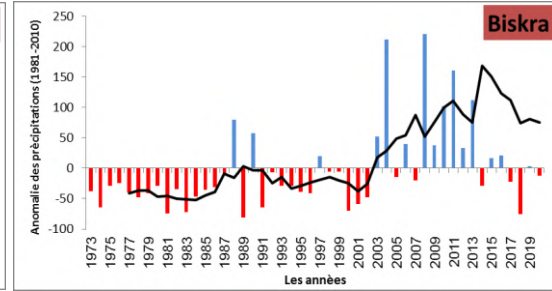
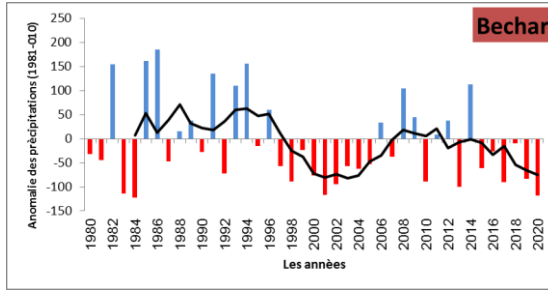
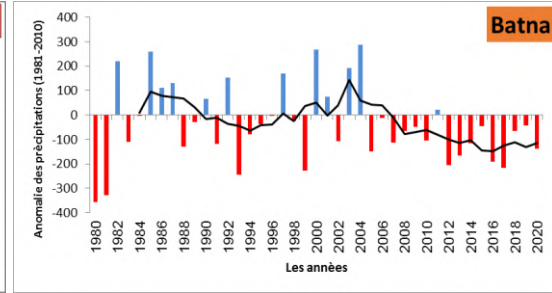
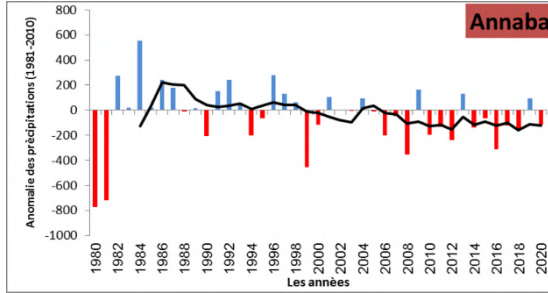
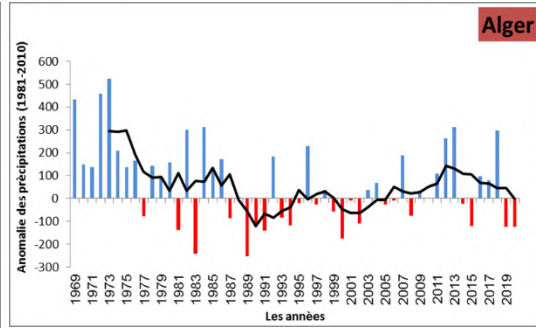
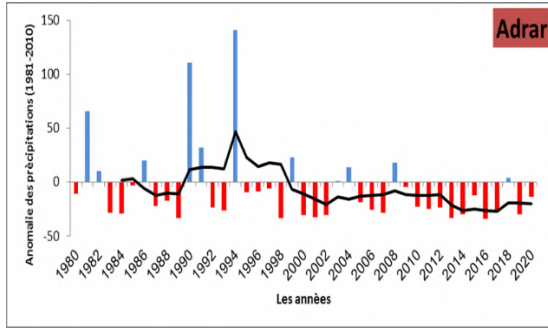
La région méditerranéenne en général et notre région d'étude en particulier sont caractérisées par des précipitations irrégulières et une répartition inégale dans l'espace et dans le temps, cela peut se vérifier notamment par la nette décroissance des pluies du Nord vers le Sud. Dans ce chapitre nous examinerons la variation interannuelle et saisonnière des précipitations.

IV.2.1. Variation interannuelle des précipitations

Pour l'étude de la variabilité interannuelle du régime pluviométrique nous avons calculé les moyennes annuelles des précipitations pour les 20 stations.

Pour supprimer les fluctuations transitoires, on a lissé les valeurs de la série statistique par l'utilisation des moyennes mobiles (glissantes) calculées sur une période de 5 ans de façon à souligner les tendances à long terme des précipitations annuelles. Les fluctuations des précipitations au cours de la période d'étude sont très importantes, selon la figure 4.1, les quantités de pluie enregistrées étaient très variables. Nous avons enregistré à travers toutes les stations retenues des déficits pluviométriques (par rapport à la normale climatologique 1981-2010).

Chapitre IV : Régime des précipitations



Chapitre IV : Régime des précipitations

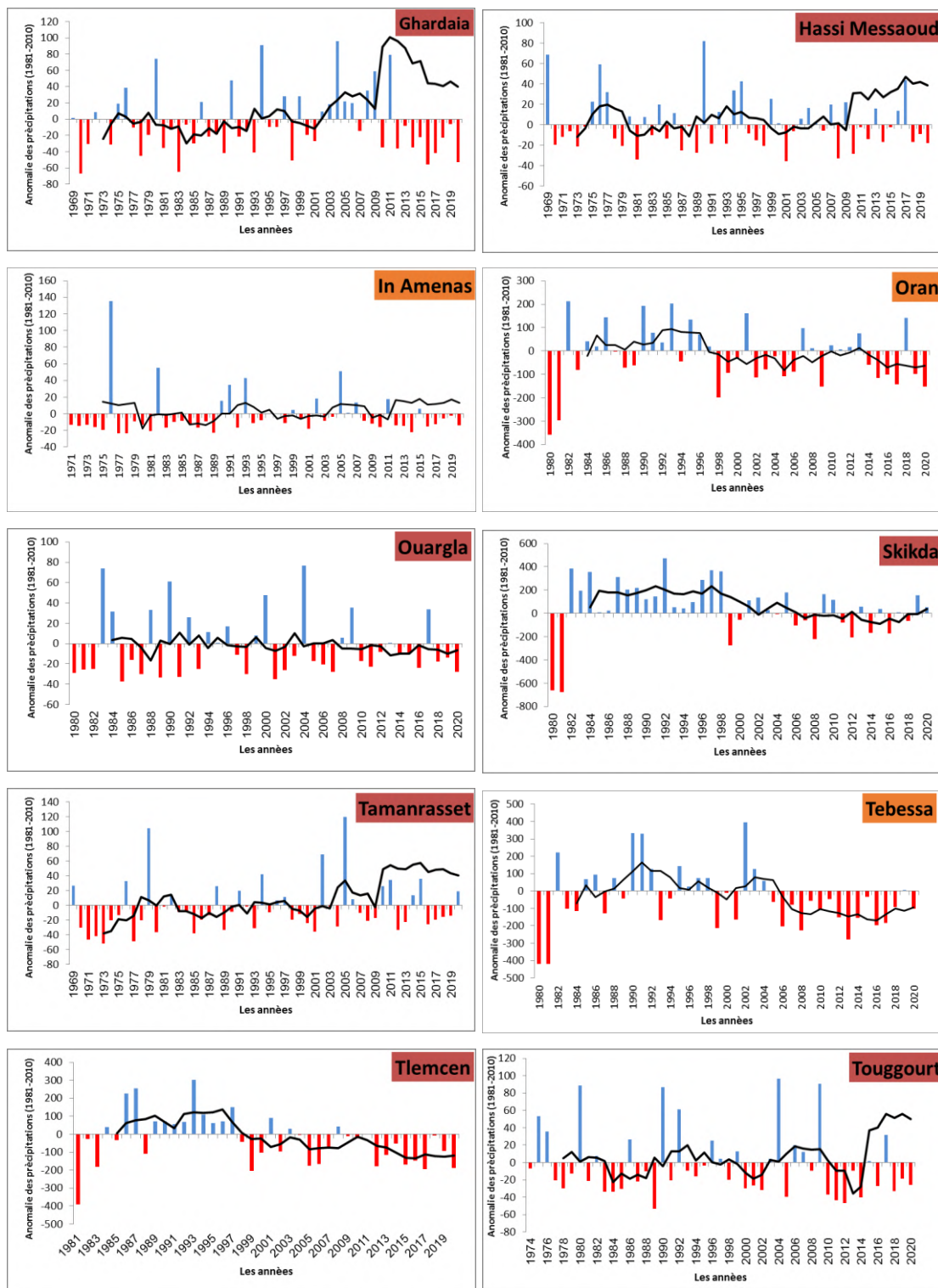


Fig.4.1. Anomalie des précipitations par rapport à la normale de référence (1981-2010) et moyenne mobile sur 05 ans

IV.2.2. Variation saisonnière des précipitations

La variabilité des pluies à l'échelle saisonnière est encore plus accentuée que celle observée au pas annuel. Les pluies, quoique concentrées principalement durant les

Chapitre IV : Régime des précipitations

saisons d'hiver et de l'automne, accusent des fluctuations importantes au cours d'un même mois d'une année à une autre.

La figure 4.2 illustre que les quantités de pluie enregistrées durant l'Hiver étaient très variables, marquées par des précipitations excédentaires par rapport aux normales climatologiques saisonnières (1981-2010) sur une grande partie du Nord du pays. Durant l'Automne, ces quantités avaient été également très variables, marquées par des précipitations déficitaires par rapport aux normales climatologiques. En Eté les quantités de pluies étaient variables, mais particulièrement déficitaires par rapport à la normale climatologique saisonnière (1981-2010).

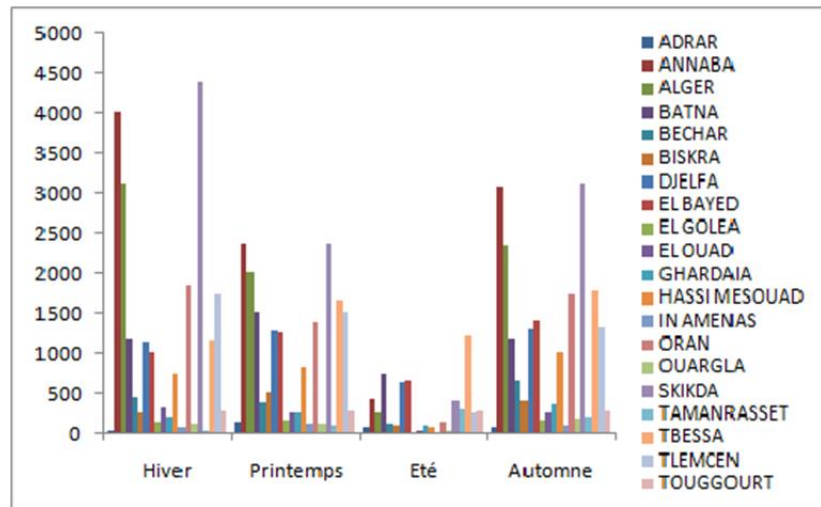


Fig.4.2. Variation saisonnière des précipitations sur la période (1981-2019)

IV.3. L'indice de précipitations standardisé (SPI)

L'indice standardisé des précipitations SPI (Standardized Precipitation Index) mis au point par les scientifiques américains McKee, Doesken et Kleist, en 1993. L'indice SPI est un indice à la fois puissant, souple d'utilisation et simple à calculer. Les données sur les précipitations constituent en fait le seul paramètre requis. Pour calculer l'indice SPI, il faut disposer idéalement de relevés mensuels s'étalant sur au moins 20 à 30 ans, mais de préférence sur 50 à 60 ans, voire plus, ce qui constitue la période optimale [15].

Très souvent, la standardisation consiste à soustraire la moyenne aux données et à diviser le résultat par l'écart-type de la série. Donc le SPI est calculé en prenant la différence entre la précipitation de l'année en question et la moyenne des précipitations pour une période de temps particulière qu'on divise par l'écart type de ces valeurs. Il est exprimé par l'expression mathématique suivante :

Chapitre IV : Régime des précipitations

$$SPI = \frac{(P_i - P_m)}{\sigma} \quad (4.1)$$

Avec :

P_i : Précipitations de l'année i

P_m : Précipitations moyennes

σ : L'écart type

L'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) a adopté le SPI en 2009 comme instrument mondial pour mesurer les sécheresses météorologiques. L'indice SPI a été conçu pour quantifier le déficit de précipitations à de multiples échelles de temps.

McKee et al. (1993) ont utilisé le système de classification présenté dans le tableau des valeurs de l'indice SPI figurant ci-après (Tableau 4.1) pour définir l'intensité des épisodes de sécheresse en fonction de la valeur de l'indice.

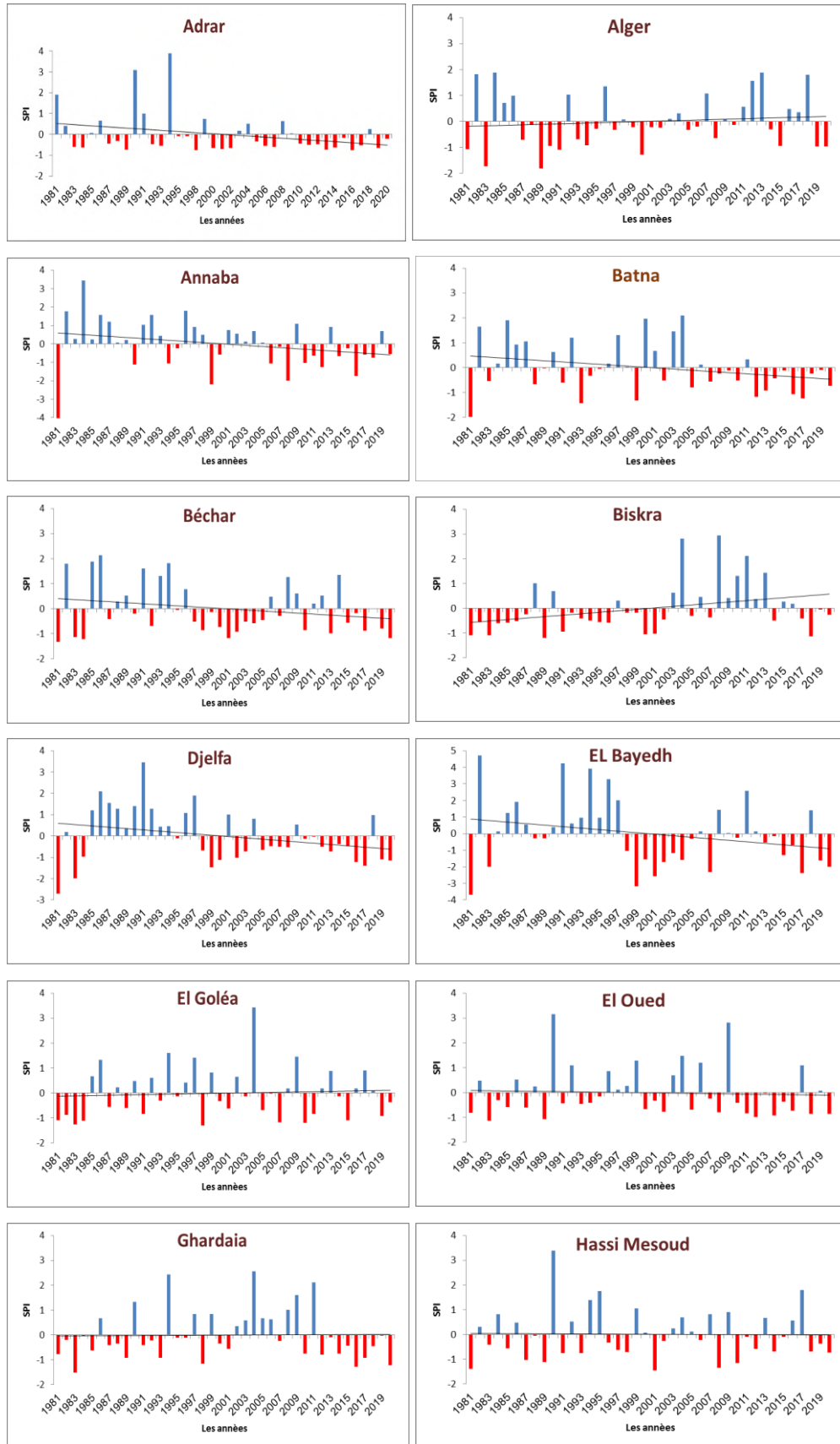
Tableau 4.1. Classement de la sévérité des sécheresses suivant SPI (McKee et al 1993)

Valeurs de l'indice SPI	Classes
2,0 et plus	Extrêmement humide
de 1,5 à 1,99	Très humide
de 1,0 à 1,49	Modérément humide
de -0,99 à 0,99	Proche de la normale
de -1,0 à -1,49	Modérément sec
de -1,5 à -1,99	Très sec
-2,0 et moins	Extrêmement sec

L'évolution de l'indice de précipitation standardisé (SPI), indique une variabilité temporelle de précipitation. Cette variabilité caractérisée par une alternance des phases humides, proche de normal et sèches pour les différentes stations.

L'examen des variations chronologiques de l'indice SPI (figure 4.3) dont les principales statistiques sont résumées dans le tableau 4.2, permet de constater que les valeurs extrêmes ne sont pas nombreuses. Les valeurs négatives du SPI correspondent alors à des déficits. Les valeurs positives par contre, témoignent d'années bénéficiant de précipitations. Les pluies n'ont pas atteint des seuils d'humidité excessive. Par contre, une diminution considérable des pluies a été observée durant les années 1988, 1993, 2000, 2007, 2011 et 2015.

Chapitre IV : Régime des précipitations



Chapitre IV : Régime des précipitations

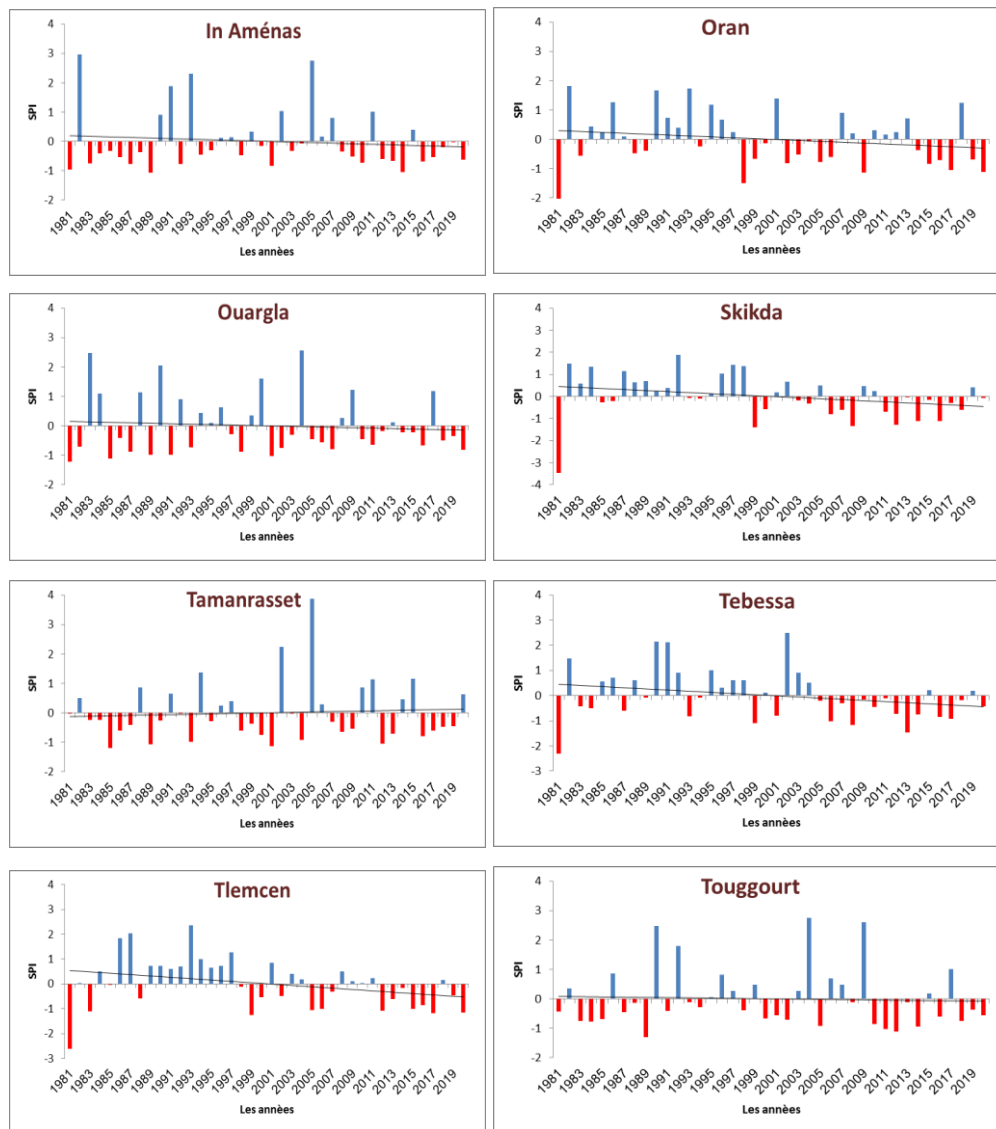


Fig.4.3. Variation de l'Indice Standardisé des précipitations moyennes annuelles (SPI)

L'évolution chronologique du SPI montre une tendance globale à la baisse et donc à la sécheresse. A partir de la pente des droites de régression, la baisse moyenne annuelle est plus prononcée dans la majorité des stations.

Chapitre IV : Régime des précipitations

Tableau 4.2. Répartition des valeurs du SPI (1981-2020)

SPI Stations	Fréquence (Nombre d'années)						
	Extrêmement humide 2,0 et plus	Très humide de 1,5 à 1,99	Modérément humide de 1,0 à 1,49	Proche de la normale de -0,99 à 0,99	Modérément sec de -1,0 à -1,49	Très sec de -1,5 à -1,99	Extrêmement sec -2,0 et moins
Adrar	2	1	1	36	0	0	0
Alger	0	5	3	30	2	0	0
Annaba	1	4	3	28	2	0	2
Batna	1	3	4	31	1	0	0
Béchar	1	4	3	32	0	0	0
Biskra	3	0	3	43	0	0	0
Djelfa	2	2	6	28	1	0	0
El Bayadh	6	1	3	19	4	1	6
El Goléa	1	1	3	35	0	0	0
El Oued	2	0	5	33	0	0	0
Ghardaia	3	1	2	33	1	0	0
H Messaoud	1	3	3	33	0	0	0
In Aménas	3	1	2	34	0	0	0
Oran	0	3	4	32	0	0	1
Ouargla	3	1	4	32	0	0	0
Skikda	0	1	6	32	0	0	0
Tamanrasset	2	0	3	35	0	0	0
Tébessa	3	0	2	34	0	0	1
Tlemcen	2	1	2	34	0	0	1
Touggourt	3	1	1	35	0	0	0

IV.4. Relation entre la pluviométrie au Nord de l'Algérie et les indices climatiques

A l'issue de la variabilité spatio-temporelle des précipitations en Algérie, nous avons cherché après les causes ou l'origine de cette variabilité. Plusieurs études ont mis en évidence l'influence de la circulation atmosphérique à grande échelle sur la variabilité des précipitations. C'est dans ce sens que nous avons analysé la relation entre les précipitations au Nord de l'Algérie et les deux modes de la circulation atmosphérique : L'Oscillation Nord Atlantique (NAO) et L'Oscillation Méditerranéen (MO).

IV.4.1. Oscillation Nord Atlantique (NAO)

Ce mode de circulation est caractérisé par un indice qui exprime la différence de pression entre deux points de la Méditerranée l'une correspondant à l'anticyclone

Chapitre IV : Régime des précipitations

des Açores (par exemple Lisbonne, Portugal) et l'autre à la dépression d'Islande (par exemple Reykjavik, Islande) [12]. Cet indice climatique a été corrélé aux précipitations annuelles de quatre stations à savoir : Annaba, Alger, Oran et Skikda, et ce dans le but d'expliquer principalement la baisse significative des précipitations dans la partie Nord de l'Algérie.

Les données de l'indice NAO sont gratuitement téléchargeables le site NOAA/National Weather Service dont le lien est :

<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao.shtml>

Ce type d'alternance NAO positive avec peu de précipitations sur le Nord d'Algérie a prévalu pendant la grande sécheresse de 1985-1995 alors que les périodes de fortes pluies de 1995-1996, et 2009-2010 ont été associées à des épisodes dominés par une NAO négative (Fig.4.4)

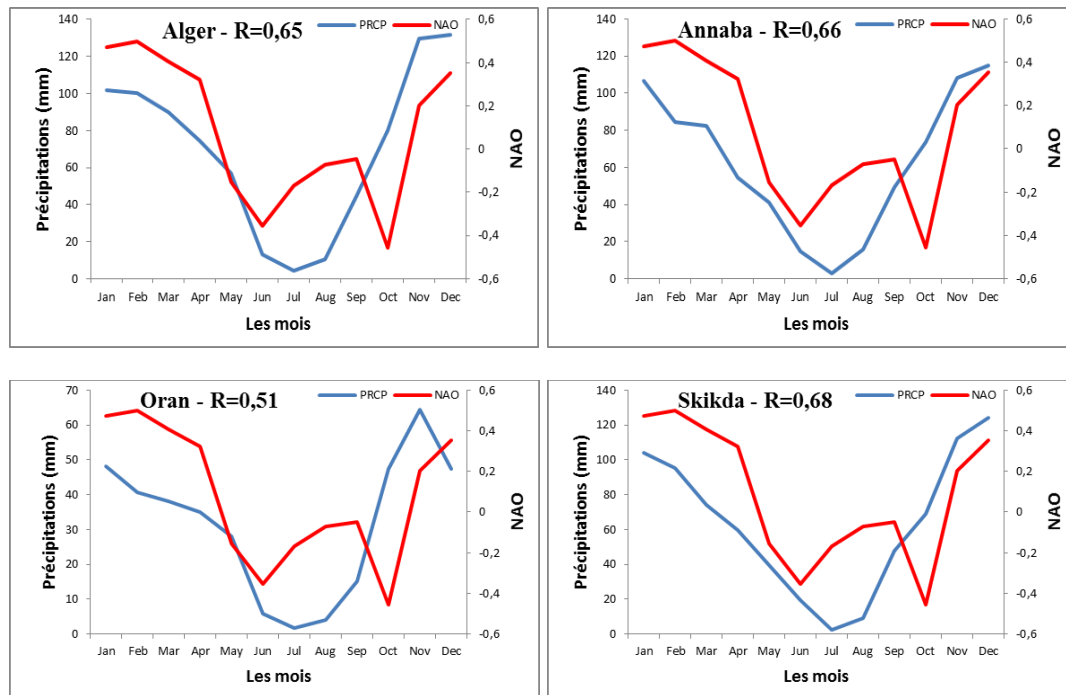


Fig.4.4. L'oscillation nord-atlantique (NAO) et les précipitations (1981-2020)

IV.4.2. Oscillation Méditerranéenne (MO)

L'oscillation Méditerranéenne (MO), représente une circulation atmosphérique régionale qui caractérise le bassin Méditerranéen. Conte et al. (1989) ont défini l'indice MO comme la différence de la géopotentielle normalisée de 500 hPa entre Alger (36,4° N, 3,1 ° E) et le Caire (30,1 ° N, 31,4 ° E) [12].

Chapitre IV : Régime des précipitations

Les données de l'indice MO sont gratuitement téléchargeables le site Climatic Research Unit (CRU) dont le lien est :

<https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/moi/>

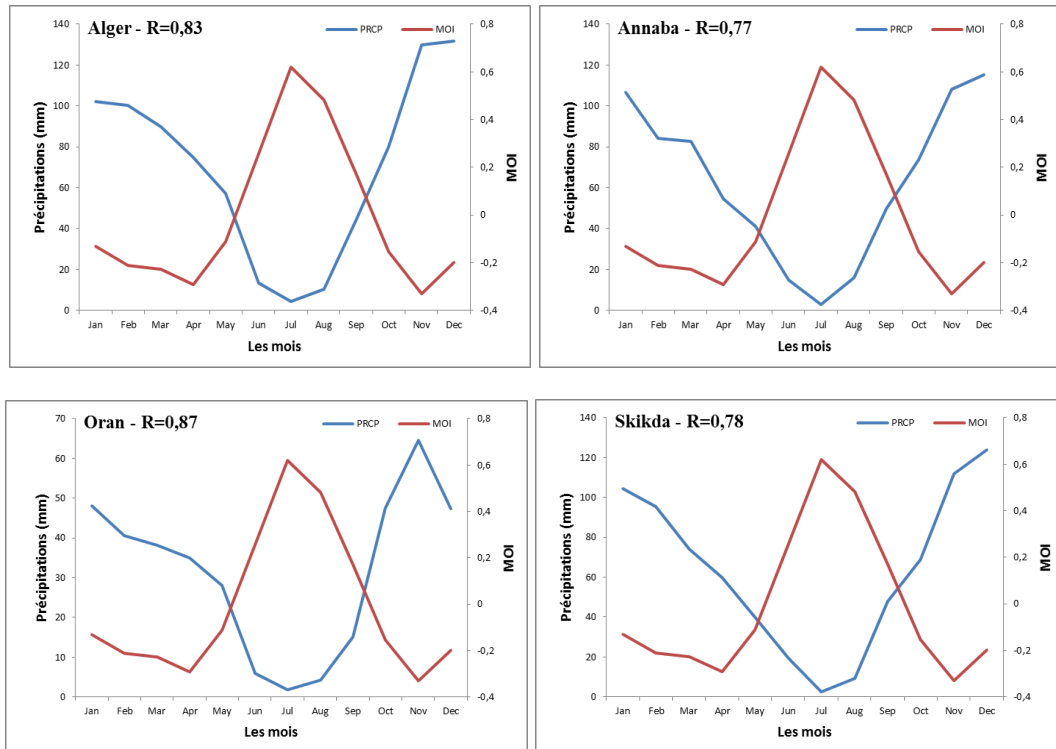


Fig.4.5. L'Oscillation Méditerranéenne (MO) et les précipitations (1981-2020)

L'Oscillation Méditerranéenne (MO) présente des corrélations négatives significatives avec les précipitations au niveau de quatre stations à savoir : Annaba, Alger, Oran, et Skikda. Les valeurs de coefficient de corrélation sont de l'ordre de -0,77 à -0,87.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce travail une analyse de régime des températures et des précipitations en Algérie a été évaluée à travers les 20 stations étudiées et au cours d'une longue période allant jusqu'à 51 ans.

Pour ce faire nous avons défini une méthodologie pour chaque paramètre (température et pluie). L'analyse de l'homogénéité et la tendance des séries d'observations, à l'échelle annuelle ont été effectuées en utilisant le test Pettitt et de Mann-Kendall respectivement. Les résultats de tendance de Mann-Kendall ont montré l'existence d'une tendance à la hausse pour les températures.

L'analyse des séries temporelles des données de la température a permis de mettre en évidence une variabilité temporelle des températures au niveau de 20 stations de l'Algérie. Il témoigne d'un réchauffement évident au niveau de la majorité des stations étudiées. Plus de la moitié de la période étudiée (1981-2020) est considérée comme chaude où le poids thermique le plus important est observé au niveau de la station d'Adrar. Les dernières années de la période d'étude (2001-2020) symbolisent les années chaudes pour la quasi-totalité des stations où l'anomalie des températures moyennes est toujours positive avec une augmentation de $+0.7^{\circ}\text{C}$ par rapport à la période 1981-2000. Il ressort aussi de cette étude que les années 2003, 2010, 2014, 2016 et 2018 sont des années chaudes pour toutes les stations étudiées.

Dans ce travail une analyse de régime des précipitations a été évaluée au cours de la période (1981-2020). Au cours de cette période, la tendance des précipitations n'est pas claire. La succession des années humides et sèches est désordonnée.

L'évolution chronologique de l'indice standardisé des précipitations (SPI) montre une tendance globale à la baisse et donc à la sécheresse. A partir de la pente des droites de régression, la baisse moyenne annuelle est plus prononcée dans la majorité des stations. Cependant, ces résultats sont suffisants pour valider l'hypothèse d'une modification du régime pluviométrique au niveau des stations étudiés.

Dans la dernière étape de notre travail, nous avons cherché l'influence du forçage atmosphérique à grande échelle sur la variabilité pluviométrique au Nord d'Algérie par l'existence ou non d'une corrélation significative entre les précipitations au Nord d'Algérie et les indices d'Oscillation Nord-Atlantique (NAO) et d'Oscillation Méditerranéenne (MO). Les résultats trouvés ont montré une bonne corrélation avec la MO qu'avec la NAO, et que les périodes pluvieuses les plus importantes au Nord de l'Algérie ont tendance à coïncider avec de grands indices négatifs de la MO et la NAO.

Références Bibliographiques

- [1] BENMEBAREK. F et BOUADJADJA. W, 2020 « Impact des changements climatiques sur les températures et les précipitations en Algérie» Thèse Mater en Physique et météorologie, Université KARDI Merbah Ouargla.
- [2] BENYETTOU. M.A et A. BOUKLIKHA. A, 2017 « Variations et tendances des températures et des précipitations journalières en Algérie » Thèse Master en Hydraulique, Université Aboubeker BELKAID Tlemcen.
- [3] Bourque.A, 2000, Les changements climatiques et leurs impacts, Open Edition Journal, Numéro Spécial: Changements climatiques
- [4] Chuine. I, 2020, Changement climatique et biosphère, Comptes Rendus. Géoscience, Tome 352 (2020) no. 4-5, pp. 339-354.
- [5] FARAH.A.K, 2014 « Changement climatique ou variabilité climatique dans l'Est algérien » Thèse Magistère en écologie et environnement, Université Constantine 1
- [6] GRAUX. A.I, 2011 « Modélisation des impacts du changement climatique sur les écosystèmes prairiaux » Thèse Doctorat spécialité : Ecologie.
- [7] Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, GIEC ,1990, 1^{er} Rapport. FAR (First Assessment Report).
- [8] Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, GIEC, 2007, 4^{ième} Rapport. AR4 (4th Assessment Report).
- [9] Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2013 Rapport d'évaluation du climat.
- [10] Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2020 Rapport d'évaluation du climat.
- [11] JANCOVICI. J.M, 2019, Le réchauffement climatique (le changement climatique) : réponse à quelques questions élémentaires,
- [12] Jones P. D., Jonsson, T., & Wheeler, D. (1997). "Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-West Iceland". International Journal of Climatology, 17(13), 1433-1450.
- [13] KHALDI. A, 2005, « Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien " Monts de Tlemcen-Saida " », thèse doctorat, Université d'Oran.
- [14] NOUACEUR. Z, LAIGNEL. B et TURKI. I, 2013, « Changements climatiques au Maghreb : vers des conditions plus humides et plus chaudes sur le littoral algérien », Géophysique et environnement Vol 7 p 307-323.
- [15] Organisation Météorologique Mondiale, OMM, 2012 « Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé », OMM-N° 1090.
- [16] PLAZZOTTA. M, 2018 « Impacts de la gestion du rayonnement solaire sur le système Terre et rôle des boucles de rétroaction liées au cycle du carbone » Thèse doctorat Spécialité : Océan, atmosphère, climat de l'université de Toulouse.
- [17] SAHABI ABED. S, 2012, Etude du climat d'Oran et ses simulations futures sous le scénario A1B du GIEC, Mémoire de Master en Sciences et Technologies de l'Espace.
- [18] SEBAIBI. A, 2016, Étude d'une longue série climatique, Mémoire de Master, Université de Mostaganem.

Références bibliographiques

[19] Synthèse des liens, N° 2, Décembre 2016, Changement climatique & Environnement, Le phénomène El Niño et ses impacts associés.

[20] UNESCO et PNUE, 2015 « Guide sur le changement climatique et les modes de vie » Paris, France.

Sites web :

[21] <http://algerianembassy.com.tr/EN.22/presentation-of-algeria.html>, dernière consultation, le 13/06/2021.

[22] <https://www.aquaportail.com/definition-2411-effet-de-serre.html>, dernière consultation, le 12/06/2021.

[23] <http://www.meteofrance.fr/>, dernière consultation, le 11/06/2021.

[24] <https://www.climat.be/fr-be/changements-climatiques/en-quelques-mots/le-climat>, dernière consultation, le 10/06/2021.

[25] <https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/rechauffement-climatique-changement-climatique-modifie-t-il-circulation-oceanique-1106/>, dernière consultation, le 13/06/2021.

[26] <http://la.climatologie.free.fr/volcan/effetvolcan.htm>, dernière consultation, le 13/06/2021.

[27] <https://kidiscience.cafe-sciences.org/articles/le-rechauffement-climatique-cest-quoi/>, dernière consultation, le 13/06/2021.

[28] <https://sites.google.com/site/tpesursoleil/ii/2-2-effet-de-serre>, dernière consultation, le 12/06/2021.

[29] https://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9ographie_de_l%27Alg%C3%A9rie, dernière consultation, le 10/06/2021.

[30] <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/comprendre-le-climat-mondial/le-systeme-climatique>, dernière consultation, le 12/06/2021.

[31] <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/organisation/affaires-internationales/parteneriats-organisations/groupe-experts-intergouvernemental-changements-climatiques.html>, dernière consultation, le 13/06/2021.

[32] <https://www.caritas.org/2011/07/changement-climatique-en-algerie/?lang=fr>, dernière consultation, le 18/06/2021.



ANNEXES

Annexe I

Normales climatiques (1981-2010) pour les 20 stations étudiées

Voici les normales climatiques calculées sur la période **1981-2010** pour les stations de notre zone d'étude :

N°	Station	Tmin	Tmax	Tmoy	Pluie
01	Adrar	12.49	23.84	18.2	573.7
02	Alger	17.20	33.4	25.28	34.3
03	Annaba	12.92	23.34	18.1	769.9
04	Batna	15.11	27.72	21.5	129.4
05	Bechar	8.52	21.85	15.2	377.2
06	Biskra	15.8	28.52	22.2	92.4
07	Djelfa	8.91	20.80	14.9	328.9
08	El Bayadh	9.52	21.32	15.4	337.8
09	El Goléa	14.5	29.6	22.1	38.8
10	El Oued	15.8	28.8	22.3	73.4
11	Ghardaia	16.0	28.1	22.0	75.9
12	Hassi Messaoud	16.4	30.3	23.3	163.3
13	In Aménas	14.8	30.1	22.47	23.3
14	Oran	13.00	23.57	18.3	394.6
15	Ouargla	15.92	30.13	23.0	40.4
16	Skikda	15.07	22.30	18.7	807.0
17	Tamanrasset	15.21	29.08	22.2	51.5
18	Tébessa	9.7	22.30	16.2	469.9
19	Tlemcen	12.18	24.15	18.2	391.1
20	Touggourt	15.3	28.8	22.1	81.6

Annexe II

Résultats comparatifs des tests de Pettitt et de Mann-Kendall sur les paramètres annuels (Le seuil de signification Alpha = 0,05)

N°	Station	Test de Pettitt			Test de Mann Kendall		
		Tmin	Tmax	Pluie	Tmin	Tmax	Pluie
01	Adrar	0.292	0.018	0.192	0.029	0.043	0.063
02	Alger	0.007	0.129	0.036	0.006	0.035	0.162
03	Annaba	0.005	0.002	0.021	0.008	0.003	0.030
04	Batna	0.015	0.003	0.068	0.065	0.002	0.128
05	Béchar	0.121	0.002	0.416	0.100	0.009	0.462
06	Biskra	0.001	0.008	0.007	0.013	0.001	0.002
07	Djelfa	0.055	0.436	0.073	0.003	0.363	0.165
08	El Bayadh	0.025	0.235	0.063	0.027	0.435	0.345
09	El Goléa	0.003	0.001	0.068	0.009	0.003	0.164
10	El Oued	0.009	0.004	0.440	0.001	0.002	0.114
11	Ghardaia	0.009	0.003	0.642	0.006	0.002	0.745
12	Hassi Messaoud	0.002	0.001	0.002	0.005	0.003	0.004
13	In Aménas	0.004	0.008	0.475	0.003	0.006	0.199
14	Oran	0.002	0.004	0.269	0.002	0.001	0.278
15	Ouargla	0.002	0.005	0.380	0.003	0.001	0.363
16	Skikda	0.004	0.001	0.019	0.008	0.001	0.027
17	Tamanrasset	0.004	0.008	0.475	0.003	0.006	0.199
18	Tébessa	0.011	0.001	0.066	0.069	0.001	0.126
19	Tlemcen	0.070	0.011	0.019	0.028	0.002	0.026
20	Touggourt	0.004	0.001	0.394	0.009	0.001	0.288

Annexe III

Les données mensuelles de la NAO (Oscillation du Nord Atlantique) sur la période (1981-2020)

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1981	0,37	0,92	-1,19	0,36	0,20	-0,45	0,05	0,39	-1,45	-1,35	-0,38	-0,02
1982	-0,89	1,15	1,15	0,10	-0,53	-1,63	1,15	0,26	1,76	-0,74	1,60	1,78
1983	1,59	-0,53	0,95	-0,85	-0,07	0,99	1,19	1,61	-1,12	0,65	-0,98	0,29
1984	1,66	0,72	-0,37	-0,28	0,54	-0,42	-0,07	1,15	0,17	-0,07	-0,06	0,00
1985	-1,61	-0,49	0,2	0,32	-0,49	-0,80	1,22	-0,48	-0,52	0,90	-0,67	0,22
1986	1,11	-1,00	1,71	-0,59	0,85	1,22	0,12	-1,09	-1,12	1,55	2,29	0,99
1987	-1,15	-0,73	0,14	2,00	0,98	-1,82	0,52	-0,83	-1,22	0,14	0,18	0,32
1988	1,02	0,76	-0,17	-1,17	0,63	0,88	-0,35	0,04	-0,99	-1,08	-0,34	0,61
1989	1,17	2,00	1,85	0,28	1,38	-0,27	0,97	0,01	2,05	-0,03	0,16	-1,15
1990	1,04	1,41	1,46	2,00	-1,53	-0,02	0,53	0,97	1,06	0,23	-0,24	0,22
1991	0,86	1,04	-0,20	0,29	0,08	-0,82	-0,49	1,23	0,48	-0,19	0,48	0,46
1992	-0,13	1,07	0,87	1,86	2,63	0,20	0,16	0,85	-0,44	-1,76	1,19	0,47
1993	1,60	0,50	0,67	0,97	-0,78	-0,59	-3,18	0,12	-0,57	-0,71	2,56	1,56
1994	1,04	0,46	1,26	1,14	-0,57	1,52	1,31	0,38	-1,32	-0,97	0,64	2,02
1995	0,93	1,14	1,25	-0,85	-1,49	0,13	-0,22	0,69	0,31	0,19	-1,38	-1,67
1996	-0,12	-0,07	-0,24	-0,17	-1,06	0,56	0,67	1,02	-0,86	-0,33	-0,56	-1,41
1997	-0,49	1,70	1,46	-1,02	-0,28	-1,47	0,34	0,83	0,61	-1,70	-0,90	-0,96
1998	0,39	-0,11	0,87	-0,68	-1,32	-2,72	-0,48	-0,02	-2,00	-0,29	-0,28	0,87
1999	0,77	0,29	0,23	-0,95	0,92	1,12	-0,90	0,39	0,36	0,20	0,65	1,61
2000	0,60	1,70	0,77	-0,03	1,58	-0,03	-1,03	-0,29	-0,21	0,92	-0,92	-0,58
2001	0,25	0,45	-1,26	0,00	-0,02	-0,2	-0,25	-0,07	-0,65	-0,24	0,63	-0,83
2002	0,44	1,10	0,69	1,18	-0,22	0,38	0,62	0,38	-0,70	-2,28	-0,18	-0,94
2003	0,16	0,62	0,32	-0,18	0,01	-0,07	0,13	-0,07	0,01	-1,26	0,86	0,64
2004	-0,29	-0,14	1,02	1,15	0,19	-0,89	1,13	-0,48	0,38	-1,10	0,73	1,21
2005	1,52	-0,06	-1,83	-0,3	-1,25	-0,05	-0,51	0,37	0,63	-0,98	-0,31	-0,44
2006	1,27	-0,51	-1,28	1,24	-1,14	0,84	0,90	-1,73	-1,62	-2,24	0,44	1,34
2007	0,22	-0,47	1,44	0,17	0,66	-1,31	-0,58	-0,14	0,72	0,45	0,58	0,34
2008	0,89	0,73	0,08	-1,07	-1,73	-1,39	-1,27	-1,16	1,02	-0,04	-0,32	-0,28
2009	-0,01	0,06	0,57	-0,2	1,68	-1,21	-2,15	-0,19	1,51	-1,03	-0,02	-1,93
2010	-1,11	-1,98	-0,88	-0,72	-1,49	-0,82	-0,42	-1,22	-0,79	-0,93	-1,62	-1,85
2011	-0,88	0,70	0,61	2,48	-0,06	-1,28	-1,51	-1,35	0,54	0,39	1,36	2,52
2012	1,17	0,42	1,27	0,47	-0,91	-2,53	-1,32	-0,98	-0,59	-2,06	-0,58	0,17
2013	0,35	-0,45	-1,61	0,69	0,57	0,52	0,67	0,97	0,24	-1,28	0,90	0,95
2014	0,29	1,34	0,80	0,31	-0,92	-0,97	0,18	-1,68	1,62	-1,27	0,68	1,86
2015	1,79	1,32	1,45	0,73	0,15	-0,07	-3,18	-0,76	-0,65	0,44	1,74	2,24
2016	0,12	1,58	0,73	0,38	-0,77	-0,43	-1,76	-1,65	0,61	0,41	-0,16	0,48
2017	0,48	1,00	0,74	1,73	-1,91	0,05	1,26	-1,10	-0,61	0,19	0,00	0,88
2018	1,44	1,58	-0,93	1,24	2,12	1,09	1,39	1,97	1,67	0,93	-0,11	0,61
2019	0,59	0,29	1,23	0,47	-2,62	-1,09	-1,43	-1,17	-0,16	-1,41	0,28	1,2
2020	1,34	1,26	1,01	-1,02	-0,41	-0,15	-1,23	0,12	0,98	-0,65	2,54	-0,3

Annexe IV

Les données mensuelles de la MO (Oscillation méditerranéenne) sur la période (1981-2020)

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1981	0,88	-0,14	-0,21	-0,40	-0,20	0,33	0,87	0,60	0,30	0,00	0,56	-1,03
1982	-0,17	-0,09	-0,05	-0,13	0,01	0,18	0,48	0,50	0,19	-0,21	-0,27	0,03
1983	1,24	-0,60	-0,06	-0,59	0,01	0,14	0,35	0,33	0,39	0,35	-0,52	-0,30
1984	-0,02	-0,20	-0,34	-0,42	-0,66	0,35	0,79	0,38	-0,04	0,13	-0,87	0,03
1985	-0,59	-0,18	-0,36	-0,26	-0,38	0,08	0,52	0,75	0,52	0,03	-0,70	-0,12
1986	-0,13	-1,11	-0,11	-0,34	0,07	0,24	0,52	0,34	0,29	0,04	0,26	0,47
1987	-0,89	-0,56	0,03	-0,29	-0,12	0,16	0,34	0,29	0,31	-0,37	-0,47	-0,22
1988	-0,39	0,13	0,04	-0,37	-0,55	-0,06	0,89	0,49	0,42	-0,22	-0,60	0,62
1989	0,59	0,03	-0,05	-0,64	-0,31	0,05	0,67	0,34	-0,07	0,06	-0,76	-0,94
1990	0,19	0,63	0,40	-0,29	-0,06	0,02	0,79	0,63	0,18	-0,48	-0,48	-0,37
1991	0,31	-0,48	-0,79	0,03	-0,18	0,38	0,48	0,59	-0,11	-0,31	-0,19	0,92
1992	0,07	0,51	-0,26	-0,45	0,05	0,05	0,58	0,57	0,31	-0,91	0,44	-0,46
1993	0,72	0,05	-0,20	-0,35	-0,35	0,18	0,61	0,54	-0,14	-0,56	-0,52	0,11
1994	0,26	-0,74	0,24	-0,04	-0,30	0,56	0,61	0,42	-0,03	-0,23	0,43	0,09
1995	0,02	0,12	-0,37	-0,12	-0,17	-0,10	0,55	0,27	-0,04	0,20	-0,55	-1,20
1996	-1,17	-0,50	-0,55	-0,43	-0,13	0,52	0,68	0,27	-0,25	-0,08	-0,19	-1,40
1997	-0,66	0,44	0,66	-0,31	-0,42	-0,15	0,48	0,17	0,06	-0,33	-0,84	-0,71
1998	-0,19	0,40	0,44	-0,60	-0,38	0,18	0,61	0,66	-0,16	0,19	-0,16	0,02
1999	-0,16	-0,04	-0,53	-0,39	-0,23	0,33	0,50	0,19	-0,12	-0,18	-0,37	-0,12
2000	0,40	0,56	-0,33	-0,65	-0,22	0,68	0,55	0,66	0,01	-0,32	-0,52	-0,53
2001	-0,72	-0,02	-0,43	0,00	0,01	0,43	0,65	0,52	-0,06	0,16	-0,34	0,01
2002	0,49	0,25	-0,02	-0,45	-0,15	0,36	0,48	0,31	-0,06	0,02	-0,66	-0,34
2003	-0,20	-0,12	0,42	-0,30	0,40	0,35	0,75	0,61	0,32	-0,63	-0,56	-0,15
2004	0,21	-0,25	-0,23	-0,38	-0,12	0,33	0,68	0,39	0,40	-0,45	-0,05	-0,66
2005	0,84	-0,22	-0,32	-0,28	0,00	0,32	0,50	0,65	0,30	-0,12	-0,56	-0,08
2006	-0,26	-0,30	-0,33	-0,22	-0,14	0,19	0,72	0,47	0,08	-0,05	0,09	0,10
2007	0,14	0,14	-0,09	-0,29	0,24	0,27	0,82	0,38	0,31	-0,27	-0,41	0,23
2008	0,33	0,13	-0,19	-0,29	-0,63	0,41	0,65	0,62	0,10	-0,34	-0,58	-0,52
2009	-0,98	-0,36	-0,49	-0,22	0,00	0,27	0,71	0,38	0,13	0,12	-0,18	-0,99
2010	-0,91	-1,18	-0,30	-0,16	-0,08	0,12	0,60	0,68	0,14	-0,51	-1,04	-0,73
2011	-0,18	0,29	-0,60	-0,10	0,07	0,44	0,41	0,48	0,48	0,06	-0,70	0,27
2012	0,54	0,25	0,23	-0,81	0,15	0,36	0,86	0,61	0,12	-0,50	-0,73	0,18
2013	-0,18	-0,59	-1,18	-0,50	-0,06	0,57	0,73	0,60	0,21	-0,20	-0,11	0,31
2014	-0,79	-0,45	0,02	-0,27	-0,05	0,13	0,30	0,39	-0,07	-0,12	-1,26	0,07
2015	0,09	-0,31	-0,17	-0,08	0,20	0,34	0,40	0,27	0,06	-0,28	0,65	0,74
2016	-0,22	-0,51	-0,41	-0,44	-0,26	0,32	0,79	0,65	0,35	-0,26	-0,73	0,13
2017	-0,50	-0,65	0,24	-0,06	-0,11	0,04	0,68	0,50	0,09	0,51	-0,29	0,19
2018	-0,02	-0,71	-1,05	-0,42	0,15	0,23	0,54	0,52	0,37	-0,64	-0,55	0,51
2019	-0,13	0,64	0,44	-0,78	-0,07	-0,02	0,31	0,44	0,22	-0,05	-0,88	-0,21
2020	-0,12	0,51	0,41	-0,46	-0,16	-0,12	0,39	0,65	0,25	-0,16	-0,73	-0,23

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو تحديد وتحليل درجات الحرارة وأنظمة هطول الأمطار في الجزائر في سياق التغيرات المناخية. لقد قمنا بتحليل عدد كبير من البيانات المناخية المسجلة في 20 محطة موزعة عبر جميع أنحاء الوطن والتي تمتد حتى 52 عامًا (1969-2020). تم إجراء تحليل تجانس واتجاه السلاسل المناخية باستخدام اختبار بوتيت (PETTITT) و مان كندال (MANN-KENDALL) على التوالي . تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن الفترة (2001-2020) ترمز إلى السنوات الحارة لجميع المحطات تقريبًا حيث كان متوسط درجة الحرارة الشاذة دائمًا إيجابيًا مع زيادة + 0.7 درجة مئوية ، والأعوام 2003 ، 2010 ، 2014 ، 2016 ، و 2018 هي السنوات الأكثر سخونة على الإطلاق. يشير تقلب هطول الأمطار إلى أن اتجاه هطول الأمطار غير واضح وأن تعاقب السنوات الرطبة والجافة غير منظم. يُظهر التطور الزمني للمؤشر المعياري للهطول (SPI) اتجاهًا عامًا متناقصًا وبالتالي اتجاهًا نحو الجفاف .

الكلمات المفتاحية : درجات الحرارة - الهطول - تغيرات المناخية - المؤشر المعياري للهطول (SPI)

Résumé :

L'objectif de cette étude est de quantifier et d'analyser les régimes des températures et des précipitations en Algérie dans le contexte du changement climatique. Nous avons analysé nombre important des données climatiques enregistrées au niveau de 20 stations météorologiques réparties sur le territoire national et qui s'étendent jusqu'à 52 ans (1969-2020). L'analyse de l'homogénéité et la tendance des séries d'observations, ont été effectuées en utilisant le test Pettitt et de Mann-Kendall respectivement. Les résultats obtenus font sortir que la période (2001-2020) symbolise les années chaudes pour la quasi-totalité des stations où l'anomalie des températures moyenne était toujours positive avec une augmentation de +0.7°C, et les années 2003, 2010, 2014, 2016 et 2018 sont des années les plus chaudes jamais enregistrées.

La variabilité des précipitations indique une tendance pluviométrique n'est pas claire et la succession des années humides et sèches est désordonnée. L'évolution chronologique de l'indice standardisé des précipitations (SPI) montre une tendance globale à la baisse et donc à la sécheresse.

Mots-clés : Les températures - Les précipitations – Changement climatique - L'indice standardisé des précipitations (SPI).

Abstract

The objective of this study is to quantify and analyze the temperature and precipitation regimes in Algeria in the context of climate change. We have analyzed an important number of climatic data recorded at 20 meteorological stations spread over the national territory and, which extend up to 52 years (1969-2020). Analysis of the homogeneity and trend of the observation series were performed using the Pettitt and Mann-Kendall test, respectively. The results obtained show that the period (2001-2020) symbolizes the hot years for almost all the stations where the average temperature anomaly was always positive with an increase of + 0.7 ° C, and the years 2003, 2010, 2014, 2016, and 2018 are the hottest years on record.

The variability of precipitation indicates a rainfall trend is unclear and the succession of wet and dry years is disorderly. The chronological evolution of the Standardized Precipitation Index (SPI) shows an overall decreasing trend and therefore drought.

Keywords: Temperatures - Precipitation - Climate change - The Standardized Precipitation Index (SPI).