



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique
Université Kasdi Merbah d'Ouargla

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 :

BENMEBAREK Ferdous & BOUADJADJA Warda

Thème

Impact des changements climatiques sur les températures et les précipitations en Algérie

Soutenu publiquement le 28/09/2020

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 : 2019/2020

Dédicace



Je dédie avec un grand plaisir et honneur ce modeste travail :

*A la plus proche de mon cœur, maman chérie,
La lumière de mes yeux, celle qui m'a comblée d'amour, qui m'a soutenue.*

A mon papa chéri,

*Pour tous ces sacrifices, tous les moyens mis à ma disposition, pour son soutien, ses
encouragements et son amour.*

A mes chères sœurs NAWAL, ASSMA et RDUMAÏSSA,

Pour leur encouragement permanent, et leur soutien moral.

*A mes chers frères ABDELBASSET, OUSSAMA, MIHABE et ABDELHAMID, que
Dieu ait pitié.*

Pour leur appui et leur encouragement.

A mes meilleures amies SDUMAI, SDUHILA et HADDA

*Merci pour tout ce que vous avez fait pour moi, pour votre soutien jusqu'à la dernière
minute.*

A mon binôme WARDA.

A mes collègues de promotion.

*Enfin à toute personne qui reste convaincue que l'effort sincère et honnête est la seule
voie vers la réussite et la réalisation de soi.*

Ferdous

Dédicace



Je dédie ce modeste travail :

A la joie de ma vie " Mes parents " qui sont la source de mes réussites, je souhaite qu'ils trouvent à travers ce mémoire le faible le témoignage de leurs efforts et sacrifices.

Je dédie ce travail à les bijoux de ma famille mes frères et mes sœurs et surtout ma sœur DJOUHARA

A mon binôme FERDOUS

Pour tous les amis de ma filière pendant le cursus universitaire 2015-2016 Sciences de la Matière.

Tout avec son prénom le cœur ne voulait jamais.

Warda

Remerciements



Nous remercions d'abord ALLAH de nous avoir donné le courage et la force ainsi que la volonté d'aboutir à la fin de notre modeste travail.

Nous adressons nos vifs remerciements et notre respect à notre encadreur Monsieur **HEBBAL Belkhir** pour nous avoir encadré et guidé par son savoir, ses conseils et sa compréhension toute au long de notre travail : Merci pour votre indéfectible disponibilité, votre rigueur scientifique et la confiance que vous nous avez accordée au cours de l'élaboration de ce travail ; Merci pour l'acuité de vos critiques et pour vos conseils éclairés.

Nous adressons notre considération à Monsieur **BENMEBROUK Lazhar**, pour avoir accepté de présider le jury.

Nous tenons à remercier Monsieur **FEKIH Abdellali**, pour nous avoir fait l'honneur d'examiner ce travail.

Nos sincères remerciements à nos collègues de la promotion 2019/2020 / Master 2, Physique et Météorologie de l'Université KASDI Merbah Ouargla.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.

Enfin, on remercie tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Ferdous @ Warda

Table des matières

Dédicace	i
Remerciements	iii
Liste des figures	vii
Liste des tableaux	viii
Liste des acronymes	ix
Introduction générale	1

CHAPITRE I : Climat et changement climatique

I.1. Introduction	4
I.2. Le climat	4
I.2.1. Définition du climat	4
I.2.2. Le système climatique	5
I.2.3. Les facteurs du climat	6
I.2.3.1. Les facteurs cosmiques	6
I.2.3.2. Les facteurs géographiques	7
I.2.4. Les différents types de climats	8
I.2.4.1. Les climats tropicaux	8
I.2.4.1.1. Le climat tropical humide	8
I.2.4.1.2. Le climat tropical équatorial	8
I.2.4.1.3. Le climat tropical désertique (aride)	9
I.2.4.2. Les climats subtropicaux	9
I.2.4.2.1. Le climat subtropical sec	9
I.2.4.2.2. Le climat subtropical humide	9
I.2.4.3. Le climat méditerranéen	9
I.2.4.4. Les climats tempérés	9
I.2.4.4.1. Le climat tempéré océanique	9
I.2.4.4.2. Le climat tempéré continental	10
I.2.4.5. Le climat subarctique	10
I.2.4.6. Le climat polaire	10
I.3. Problématique du changement climatique	10
I.3.1. Définition du changement climatique	10
I.3.2. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)	12
I.3.3. Les causes du changement climatique à l'échelle du globe	12
I.3.3.1. Les causes naturelles	12

I.3.3.1.1 El Niño /ENSO.....	12
I.3.3.1.2 Oscillation Nord-Atlantique (NAO).....	13
I.3.3.2. Les causes anthropiques	14
I.3.4. L'effet de serre.....	15
I.3.4.1. L'effet de serre naturel.....	15
I.3.4.2. Les principaux gaz à effet de serre (GES)	16
I.3.4.3. Le Potentiel de réchauffement global (PRG)	17
I.3.4.4. L'effet de serre additionnel	18
I.3.4.5. Le rôle des aérosols.....	18
I.3.5. Les indicateurs du changement climatique.....	19
I.3.5.1. L'augmentation de la température de surface sur la Terre	19
I.3.5.2. La température des océans	19
I.3.5.3. La réduction de la surface des glaces océaniques arctiques	20
I.3.5.4. Les calottes polaires de l'Antarctique et du Groenland	20
I.3.5.5. Le niveau moyen des océans	20
I.3.5.6. Les indicateurs biologiques	20
I.4. Les prévisions climatiques.....	21
I.4.1. Les modèles climatiques	21
I.4.2. Les Scénarios climatiques.....	22
CHAPITRE II : Présentation de la zone d'étude & traitement de données	
II.1. Introduction	27
II.2. Présentation de la zone d'étude	27
II.2.1. Position géographique	27
II.2.2. Le climat	28
II.3. Présentation des données	28
II.3.1 Description de la base de données	28
II.3.2 Traitement des données manquantes	33
II.3.2.1. Estimation des températures	33
II.3.2.2. Estimation des précipitations	36
II.4. Tests statistiques	37
II.4.1. Test d'homogénéité de Pettitt	37
II.4.2. Test de Mann-Kendall	38
CHAPITRE III : Impact du changement climatique sur les températures	
III.1. Introduction	40

III.2. Variation de la température.....	40
III.2.1. Variation spatiale de la température	41
III.2.2. Variation temporelle de la température	42
III.2.2.1. Variation interannuelle de la température	42
III.2.2.2. Variation mensuelle de la température	45
III.2.2.2.1. Températures moyennes mensuelles (T_m).....	45
III.2.2.2.2. Températures maximales mensuelles (T_x)	46
III.2.2.2.3. Température minimales mensuelles (T_n)	47
CHAPITRE IV : Impact du changement climatique sur les précipitations	
IV.1. Introduction	50
IV.2. Variation des précipitations.....	50
IV.2.1. Variation spatiale des précipitations	50
IV.2.2. Variation temporelles des précipitations.....	51
IV.2.2.1. Variation interannuelle des précipitations.....	51
IV.2.2.2. Variation mensuelle des précipitations.....	54
IV.3. L'indice de précipitations standardisé (SPI)	55
IV.4. Relation entre la pluviométrie au Nord de l'Algérie et les indices climatiques	58
IV.4.1. Oscillation Nord Atlantique (NAO)	59
IV.4.2. Oscillation Méditerranéen (MO)	60
Conclusion générale	61
Références bibliographiques	63
ANNEXES	64
Abstract	64
Résumé	64
ملخص	64

Liste des figures

Fig.1.1. Schéma du système climatique et de leurs différentes interactions.....	6
Fig.1.2. Méridiens et parallèles / Révolution de la terre.....	7
Fig.1.3. Les facteurs du climat	7
Fig.1.4. Les zones climatiques du globe	8
Fig.1.5. Evolution des températures moyennes mondiales	11
Fig.1.6. Anomalie des températures moyennes mondiales (1850-2019)	11
Fig.1.7. Situation normale dans le Pacifique tropical (gauche) et sous El Niño (droite)	13
Fig.1.8. Les modes positif et négatif de l'oscillation Nord-Atlantique	14
Fig.1.9. Les différentes composantes de l'effet de serre	15
Fig.1.10. Concentration de gaz à effet de serre en 2018	17
Fig.1.11. Bilan du forçage radiatif des GES et des aérosols.....	19
Fig.1.12. La boucle de la modélisation climatique.....	22
Fig.1.13. Scénarios d'émissions utilisées pour les projections climatiques	22
Fig.1.14. Projections des émissions des GES et de la température de la Terre.....	25
Fig.2.1. Carte frontière Algérie	27
Fig.2.2. Les zones climatiques de l'Algérie	28
Fig.2.3. Localisation de la zone d'étude	30
Fig.2.4. Comparaison de données NCEI/NOAA et ONM	31
Fig.3.1. Variation spatiale des températures sur la période (1981-2010)	41
Fig.3.2. Anomalie de la température moyenne à la normale de référence (1981-2010).	44
Fig.3.3. La variation mensuelle des températures moyennes (Période (1981-2019)).....	46
Fig.3.4. La variation mensuelle des températures maximales (Période (1981-2019)).	47
Fig.3.5. La variation mensuelle des températures minimales (Période (1981-2019)).....	48
Fig.4.1. Variation spatiale des précipitations moyennes sur la période (1981-2010)	51
Fig.4.2. Anomalie des précipitations par rapport à la normale de référence (1981-2010) et moyenne mobile sur 05 ans	54
Fig.4.3. Variation mensuelle des précipitations sur la période (1981-2019)	54
Fig.4.4. Variation de l'Indice Standardisé des précipitations moyennes annuelles (SPI).....	57
Fig.4.5. L'oscillation nord-atlantique (NAO) et les précipitations (1981-2019).....	59
Fig.4.6. L'Oscillation Méditerranéen (MO) et les précipitations (1981-2019).....	60

Liste des tableaux

Tableau 1.1. Potentiels de réchauffement global des GES comparé au CO2	18
Tableau 1.2. Les scénarios de projections SRES	24
Tableau 2.1. Liste des stations météorologiques retenues pour cette étude	32
Tableau 2.2. Les coefficients de corrélation des températures moyennes mensuelles entre les différentes stations	35
Tableau 3.1. Différence des températures entre la période (2001-2019) et (1981-2000).....	45
Tableau 4.1. Classement de la sévérité des sécheresses suivant SPI	55
Tableau 4.2. Répartition des valeurs du SPI.....	58

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
ppm	: parties par million
PRG	: Potentiel de Réchauffement Global
SPI	: Standardized Precipitation Index
SRES	: Special Report on Emissions Scenarios

Introduction générale

Introduction générale

Durant cette dernière décennie, la communauté internationale est de plus en plus préoccupée par l'évolution du climat et ses conséquences socio-économiques et environnementales. L'augmentation des stocks atmosphériques de gaz à effet de serre (GES) dont le Dioxyde de carbone (CO₂), le Méthane (CH₄) et le Protoxyde d'azote (également appelé Oxyde nitreux N₂O), dues aux activités humaines ont été liés au changement climatique. Le quatrième rapport d'évaluation du Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC, 2007) souligne qu'il y aura des changements de fréquence et d'intensité de certains phénomènes météorologiques et des événements climatiques extrêmes qui vont probablement remettre en question les systèmes humains et naturels. Il est également très probable que la plupart des régions auront des températures plus élevées, des vagues de chaleur plus fréquentes et de plus fortes précipitations en plus à la sécheresse et l'augmentation du niveau des océans et des mers.

Le GIEC a révélé aussi que les trois dernières décennies ont été successivement plus chaudes à la surface de la Terre que toutes les décennies précédentes depuis 1850. Les années 1983 à 2012 constituent probablement la période de 30 ans la plus chaude qu'ait connue l'hémisphère Nord depuis 1400 ans.

Plus personne n'ignore la problématique du changement climatique, canicule en été, hiver sans neige, dérèglement du climat, des inondations et de terribles sécheresses, le changement climatique se manifeste sous des formes diverses.

Le changement climatique se décline différemment selon la région du globe et les propriétés de surface. Pour cela, il est possible d'analyser plus finement ses déclinaisons par les modélisations ou grâce aux observations.

L'Algérie n'est pas épargnée par l'impact des changements climatiques, elle a connu durant ces dernières années, des périodes de sécheresse intenses et persistantes caractérisées par un déficit pluviométrique important évalué à près de 30% sur l'ensemble du pays (Nedjraoui 2007), avec une série d'années exceptionnellement chaudes et sèches avec une hausse des températures de 1,2°C.

L'objectif de l'étude effectuée dans ce mémoire est de quantifier et d'analyser spatialement et temporellement les variations climatiques en Algérie dans le but de déceler l'influence du changement climatique sur les températures et les précipitations.

Introduction générale

Pour caractériser les changements climatiques en Algérie, une analyse de l'évolution spatio-temporelle des séries de températures et de précipitations a été réalisée.

Travailler à l'échelle régionale nécessite un réseau de stations de mesures important et bien réparti. En Algérie, le réseau de l'Office National de la Météorologie (ONM) comprend un nombre important de stations météorologiques, réparties de façon presque homogène sur l'ensemble du territoire national, mesurant des températures, desquelles sont retenues les minimales et maximales, ainsi que les cumuls de précipitations. Le pas de temps mensuel des séries de données permet d'améliorer l'approche temporelle.

En plus d'une introduction et conclusion générales, ce manuscrit est reparti en quatre chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à la synthèse bibliographique concernant les notions du climat, changement climatique et variabilité climatique. Ainsi les causes de l'évolution du climat, les impacts de ces changements sur les températures et les précipitations à l'échelle mondiale ;
- Le deuxième chapitre consiste à définir les données, les outils et la méthodologie utilisée dans la présente étude. Au premier lieu nous nous intéressons sur la présentation de 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 au sein des séries d'observations ;
- Le troisième chapitre est consacré à l'analyse statistique de données des températures mensuelles et annuelles, permettant ainsi la caractérisation des variations spatio-temporelles des températures ainsi que l'impact des changements climatiques sur elles ;
- Le quatrième chapitre est consacré à l'étude des caractéristiques des pluies et l'analyse de la variabilité climatique, d'analyser les données pluviométriques mensuelles et annuelles et évaluer les indices climatiques à savoir : L'indice de précipitations normalisé (SPI), l'Oscillation Nord-Atlantique (NAO) et l'Oscillation Méditerranéenne (MO).

CHAPITRE I

Climat et changement climatique

I.1. Introduction

Depuis des millénaires, le climat de la Terre varie selon les époques et les lieux. Les changements observés s'étalent généralement sur des longues périodes qui atténuent la perception que l'homme peut en avoir à un moment donné. Au cours des dernières décennies cependant, les changements climatiques semblent s'être accélérés. Dans ces conditions, il n'est pas surprenant que le public s'interroge sur la réalité de ces changements, leurs causes, leur devenir et, plus encore, leurs conséquences immédiates et lointaines sur les modes de vie, la santé, les écosystèmes et l'économie. Sous le nom de climat, on distingue deux notions différentes. La plus classique, celle apprise dans les cours de géographie, résulte d'une approche spatiale : la Terre est découpée en zones climatiques en fonction des conditions météorologiques qui y règnent aux différentes saisons. L'autre acception du mot climat correspond à une approche temporelle globale : on s'intéresse aux modifications des conditions météorologiques intégrées sur l'ensemble du globe et sur le long terme. [5]

Si le climat de notre planète a été suffisamment stable pour entretenir la vie pendant des millions d'années, le climat est dynamique et sujet aux changements.

I.2. Le climat

I.2.1. Définition du climat

Le mot climat provient du grec *klima* qui signifie inclinaison. 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. [26]

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).

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

Chapitre I : Climat et changement climatique

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 : l'atmosphère, l'hydrosphère (océans, rivières, lacs, eaux souterraines.), la cryosphère (neige, glaciers, banquise.), lithosphère (les surfaces continentales) et la biosphère (êtres vivants), et des interactions entre celles-ci.[23] 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]

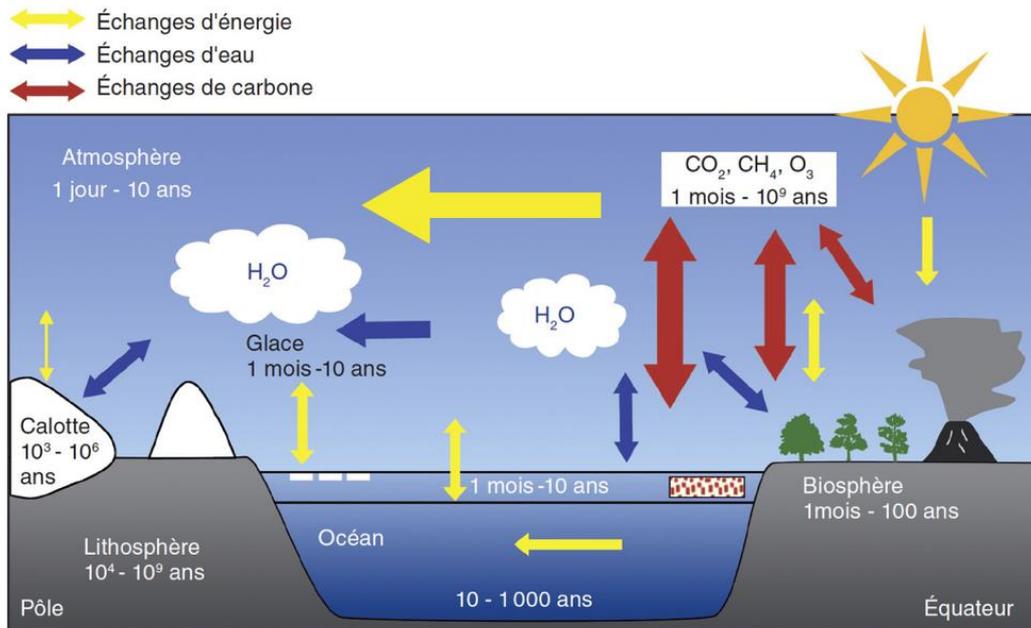


Fig.1.1. Schéma du système climatique, ses composantes et de leurs différentes interactions [16]

I.2.3. Les facteurs du climat

Le climat se définit par l'ensemble des phénomènes qui affectent l'atmosphère à un endroit et à un moment donnés principalement : précipitations, vents, ensoleillement, température, humidité. Deux types de facteurs l'influencent :

I.2.3.1. Les facteurs cosmiques

Ils agissent sur toute l'étendue de la planète terre. Il s'agit de :

- L'atmosphère** : Elle est le siège de tous les phénomènes qui créent le temps et les climats.
- Les mouvements de la terre** (rotation, révolution). Ils entraînent la succession des jours et des nuits, la succession des saisons et provoquent des différences thermiques sur les façades des continents.
- La latitude** : La quantité de chaleur que reçoit la terre dépend de la hauteur du soleil à l'horizon. [24]

Chapitre I : Climat et changement climatique

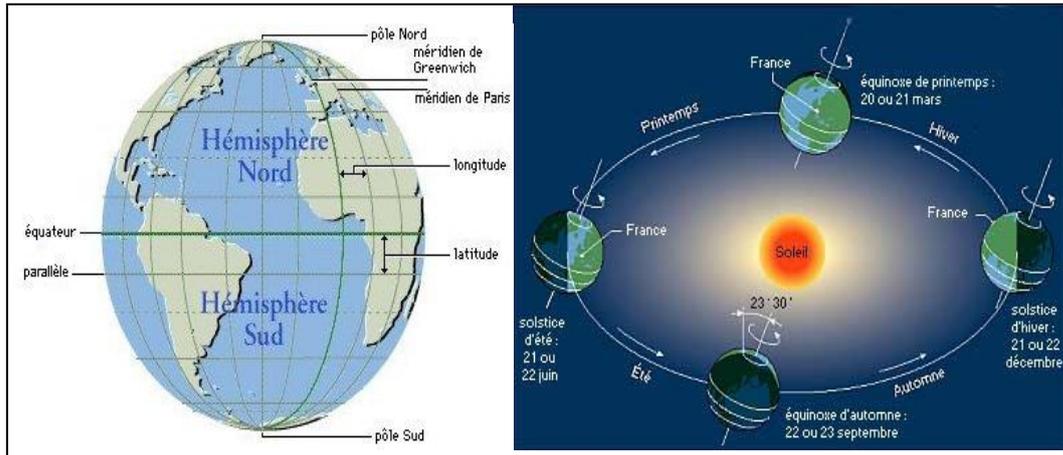


Fig.1.2. Méridiens et parallèles / Révolution de la terre [24]

I.2.3.2. Les facteurs géographiques

Ce sont des facteurs qui modifient le climat.

-Au plan physique : Les éléments naturels comme le relief, les océans, les mers, les lacs et autres étangs d'eau exercent leur influence sur le climat local. Il en est de même des sols et de la végétation qui influencent le climat local.

-Au plan humain : L'homme exerce son influence sur le climat de plusieurs manières. Il apparaît donc comme un important facteur dans le processus climatique. Par exemple, l'urbanisation et son corollaire agit fortement sur le climat local. Avec elle, plusieurs autres activités anthropiques comme l'industrialisation et l'agriculture agissent sur le climat. Elles sont sources de pollution dont l'homme est l'acteur principal. [15]

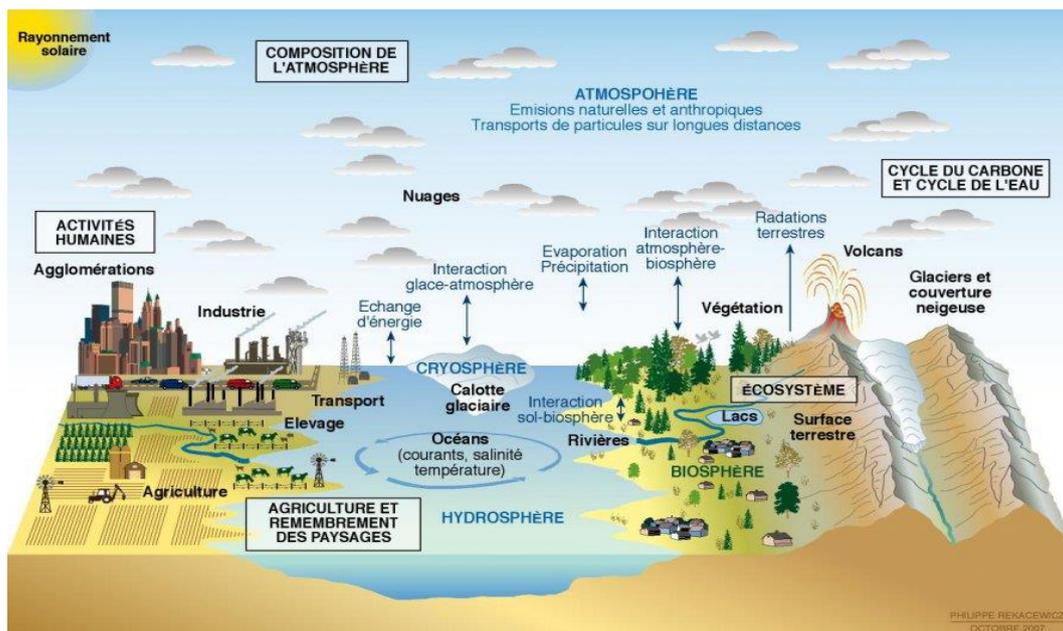


Fig.1.3. Les facteurs du climat [15]

Chapitre I : Climat et changement climatique

I.2.4. Les différents types de climats

Sur la surface du globe, on distingue différents types de climats. Allant des plus chauds (climats subtropicaux) aux plus froids (climats polaires).

Entre ces deux extrêmes, il existe une multitude de nuances, influencées d'abord par la position des latitudes (appelées également parallèles) et donc l'inclinaison par rapport au soleil, mais aussi par différents facteurs tels que le relief, la proximité de la mer, la circulation atmosphérique, etc. [25]

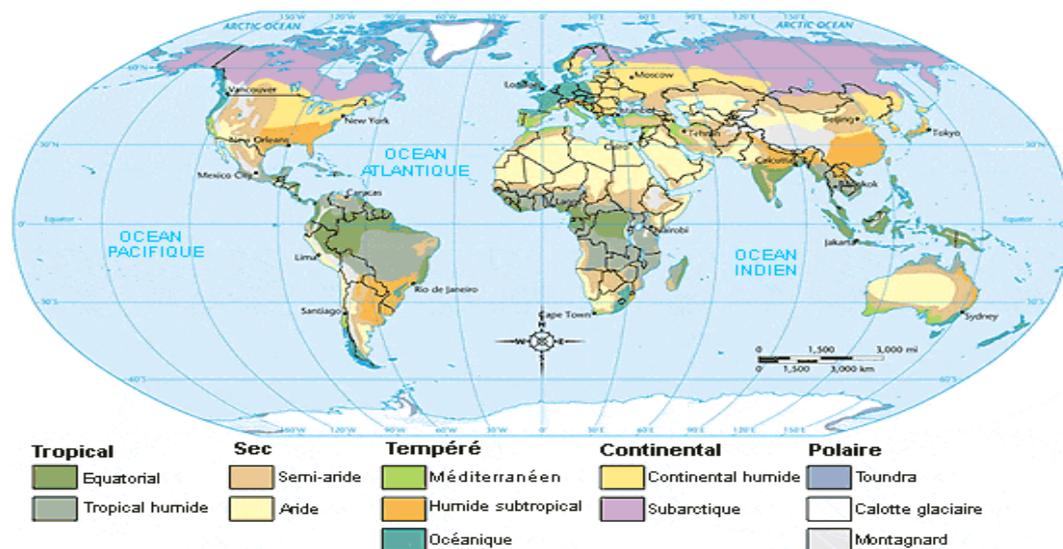


Fig.1.4. Les zones climatiques du globe [25]

I.2.4.1. Les climats tropicaux

I.2.4.1.1. Le climat tropical humide

Le climat tropical humide est caractérisé par des précipitations abondantes sur plusieurs mois consécutifs. Durant cette saison des pluies, les différences de températures diurnes sont faibles. Après la saison plus sèche s'installe plus ou moins selon les zones, et les températures se font aussi un peu plus froides. Les alizés influencent le climat tropical humide. Une grande partie de l'Amérique du Sud, le cœur du continent africain. [25]

I.2.4.1.2. Le climat tropical équatorial

Le climat tropical équatorial est présent dans les régions situées de part et d'autre de l'équateur. La pluviosité est très importante et il n'y a pas de saison sèche. Les forêts absorbent et rejettent des quantités importantes d'humidité provoquant ainsi des précipitations constantes. C'est le cas de pays ou de régions par exemple en

Amazonie, en Colombie, au Brésil, dans le bassin du Congo, les Philippines, et pour quelques îles des caraïbes.

I.2.4.1.3. Le climat tropical désertique (aride)

Le climat tropical désertique est le climat des zones arides qu'elles soient équatoriales ou aux latitudes plus élevées. Les précipitations sont le plus souvent très faibles, voire nulles (Patagonie). Le sol comme dans certaines régions du Sahara ou d'Australie ne peut absorber les pluies torrentielles. L'amplitude thermique est très importante. Les journées sont très chaudes et les nuits assez froides du fait de l'absence de nuages.

I.2.4.2. Les climats subtropicaux

I.2.4.2.1. Le climat subtropical sec : Il est très souvent assimilé au climat méditerranéen et ses caractéristiques sont un ensoleillement assez important et donc une saison chaude assez conséquente, Il est surtout développé sur les façades occidentales des continents (Californie, Chili, pointe sud-ouest de l'Afrique du Sud et de l'Australie). La saison froide est peu pluvieuse et même si les écarts de températures sont notables, les hivers sont généralement assez doux. [25]

I.2.4.2.2. Le climat subtropical humide : Il se rencontre sur les façades orientales des continents (sud-est de la Chine, des États-Unis et de l'Amérique du Sud) qui reçoivent des précipitations assez importantes durant l'année même si elles sont plus prononcées en été. Les hivers sont assez doux, comptant quand même quelques gelées selon les régions et les étés longs, chauds et humides, marqués aussi par quelques tornades. Malgré l'influence des alizés, l'atmosphère humide règne.

I.2.4.3. Le climat méditerranéen : Comme son nom l'indique, le climat méditerranéen se rencontre sur les bords de la mer Méditerranée. Il est influencé par les vents chauds venant des tropiques qui provoquent de fortes chaleurs en été. L'hiver est plutôt doux mais il peut être marqué par des phénomènes brutaux comme de violents orages. [25]

I.2.4.4. Les climats tempérés

I.2.4.4.1. Le climat tempéré océanique : Le climat océanique est un climat assez modéré que l'on rencontre sur la façade ouest des continents. Les quatre saisons distinctes se succèdent, mais les étés sont frais et les hivers doux et humides influencés par l'air marin. Les précipitations sont bien réparties au courant de l'année.

Chapitre I : Climat et changement climatique

Les régions qui connaissent ce climat océanique sont également assez ventées malgré les faibles contrastes thermiques. [25]

I.2.4.4.2. Le climat tempéré continental : Le climat continental est caractérisé par une amplitude thermique forte et une pluviosité importante notamment l'été. C'est le climat qui recouvre les grands espaces de l'Europe de l'est avec des hivers assez rudes au sol gelé et des étés relativement chauds. Les saisons de transitions sont brèves. Les grands vents d'ouest apportent précipitations et orages notamment en été. Les masses d'air glacées contribuent à entretenir des températures extrêmes selon les régions.

I.2.4.5. Le climat subarctique : Le climat subarctique est le climat intermédiaire entre le climat tempéré et le climat polaire. Il connaît des étés courts moins chauds malgré l'ensoleillement. Les hivers sont plus rigoureux, mais i n'approchent pas les températures extrêmes du climat polaire. Cependant, le temps est perturbé toute l'année par le vent qui souffle et les précipitations qui tombent sous forme de neige, laissant une partie de ces zones enneigées en permanence. La partie centrale du Canada, de la Russie et la partie nord-est de la Chine, connaissent ce genre de climat. Le climat subarctique contrairement au climat des régions polaires permet tout de même aux hommes, de vivre dans des conditions moins rigoureuses et à la végétation de se développer.

I.2.4.6. Le climat polaire : Le climat polaire est le climat des régions les plus froides de la planète. Il entoure les pôles dans les deux hémisphères. Les étés sont froids, quasi inexistantes et les hivers glaciaux. Le blizzard souffle, s'accompagnant toujours d'une tempête de neige.

La neige s'accumule ainsi sous forme d'une masse de glace qui ne disparaît jamais et se nomme "l'inlandsis". L'Antarctique et l'Arctique connaissent donc des hivers très froids et un très faible ensoleillement. L'Arctique de par sa position par rapport au soleil connaît des périodes d'obscurité permanente, trop loin des rayons solaires. [25]

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

Chapitre I : Climat et changement climatique

externes, ou encore à des changements anthropiques persistants de la composition de l'atmosphère ou de l'affectation des terres.

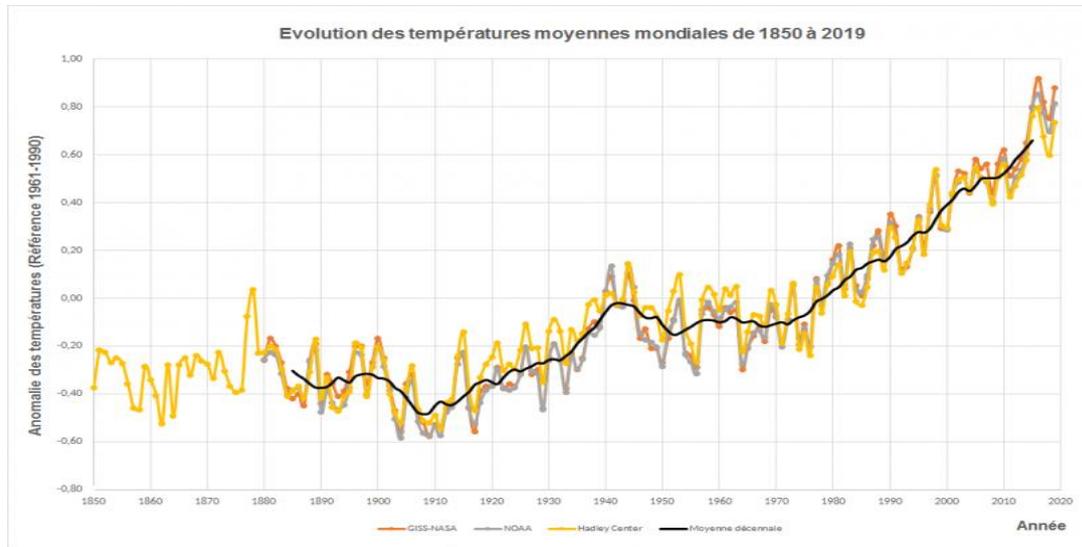


Fig.1.5. Evolution des températures moyennes mondiales [1]

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. ». [21]

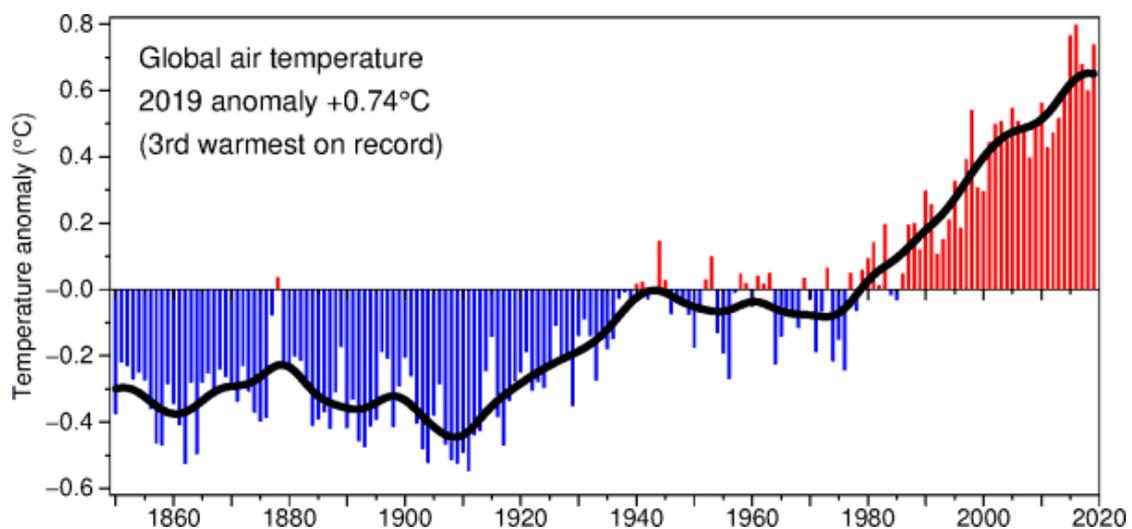


Fig.1.6. Anomalie des températures moyennes mondiales (1850-2019) [1]

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 international chargé d'analyser le réchauffement climatique. Il a été créé en 1988 par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) et le Programme des Nations-Unies pour l'environnement (PNUE). Son objectif est d'apporter aux responsables politiques des évaluations sur le changement du climat, notamment sur ses risques, et les stratégies d'adaptation et d'atténuation possibles. Le GIEC produit, à intervalles réguliers (5 à 7 ans), des rapports d'évaluation de l'état des connaissances relatives au changement climatique. Cinq rapports d'évaluation ont déjà été publiés en 1990, 1995, 2001, 2007 et 2014. [10]

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). [2]

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 l'énergie émise par le soleil était environ les 3/4 de sa valeur actuelle. [2] 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

El Niño 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. [20]

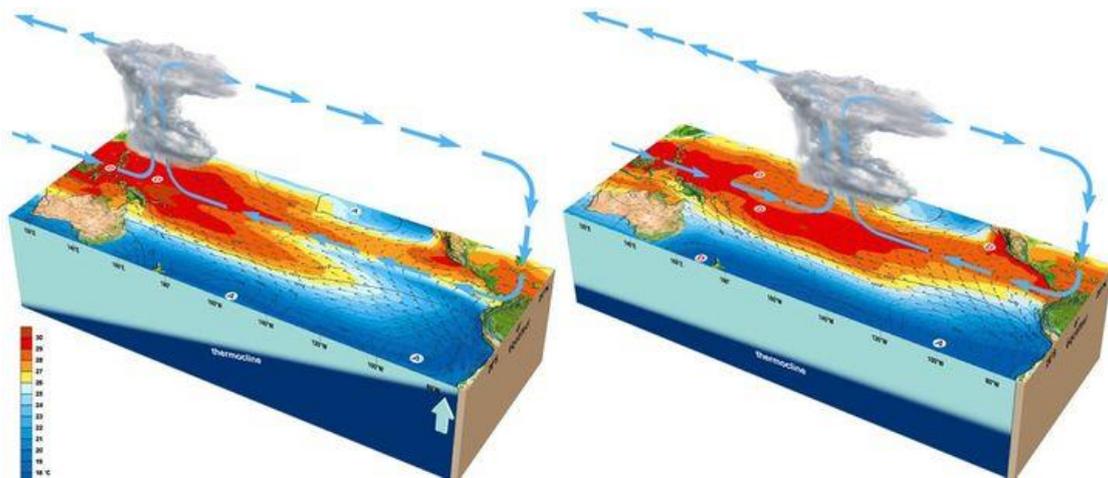


Fig.1.7. Situation normale dans le Pacifique tropical (gauche) et sous El Niño (droite) [23]

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.[22]

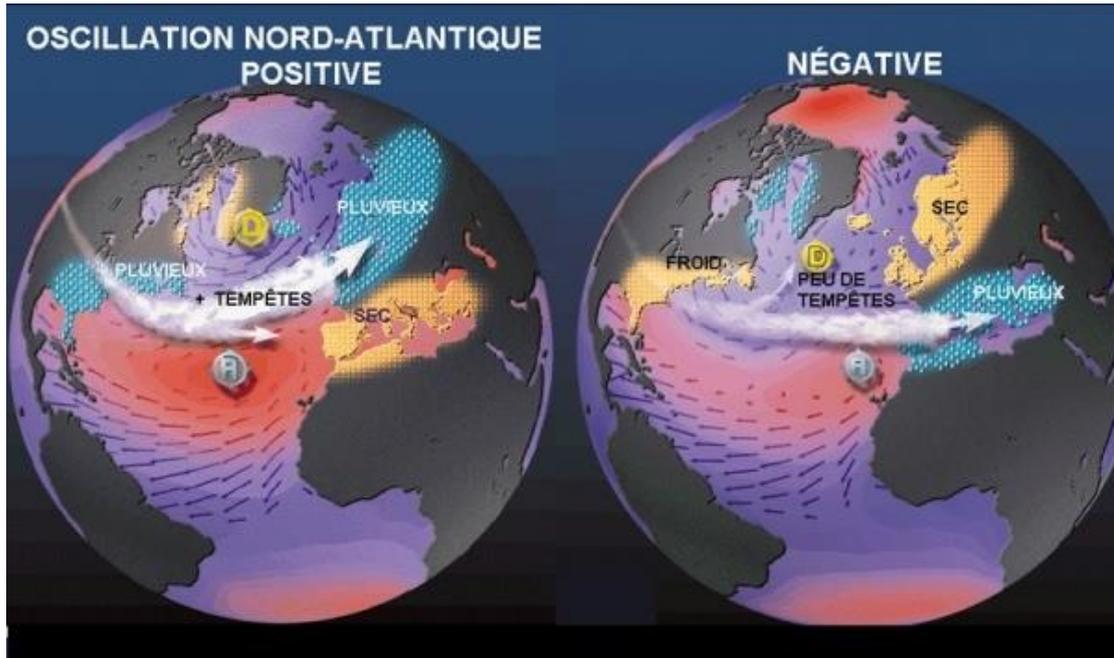


Fig.1.8. Les modes positif et négatif de l'oscillation Nord-Atlantique [22]

Les éruptions volcaniques importantes sont capables d'injecter dans la base stratosphère d'énormes quantités de poussière, de cendre, de pierres et de vapeur d'eau qui peuvent séjourner pendant plusieurs années ; le voile de poussière ainsi formé peut provoquer une décroissance de la température moyenne au sol et une augmentation en altitude. En effet selon plusieurs spécialistes, le climat du quaternaire, ère des glaciers serait expliqué par une épaisse couche d'aérosols et de poussière qui a enveloppé le globe.

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.

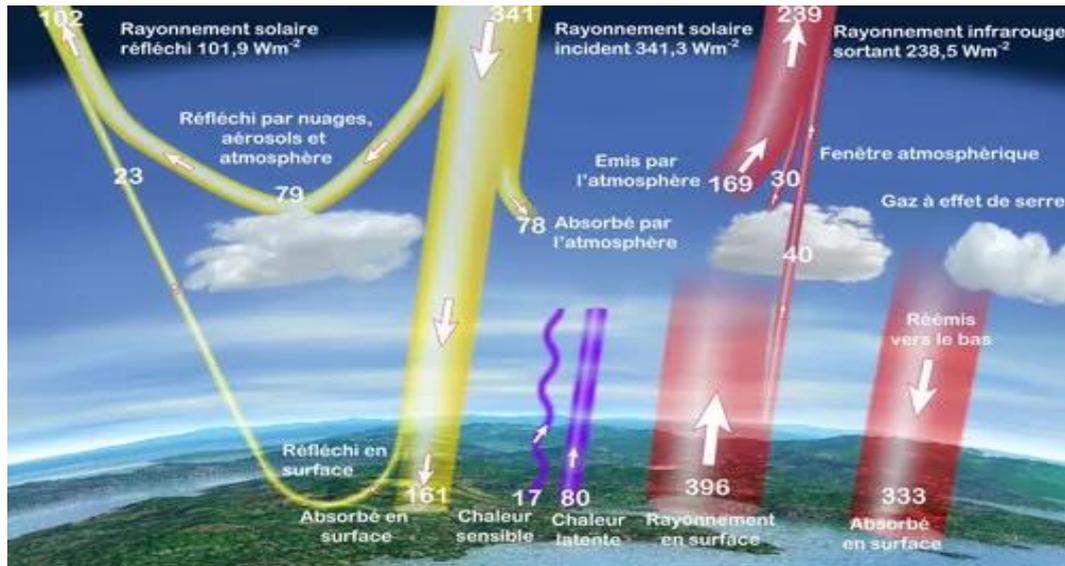


Fig.1.9. Les différentes composantes de l'effet de serre [23]

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 $+15^{\circ}\text{C}$ que nous connaissons. [9]

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 (H₂O)** 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 (CO₂)**, 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 (CH₄)** est un gaz à effet de serre bien plus puissant que le CO₂, 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 (O₃)**, 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 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. [3]

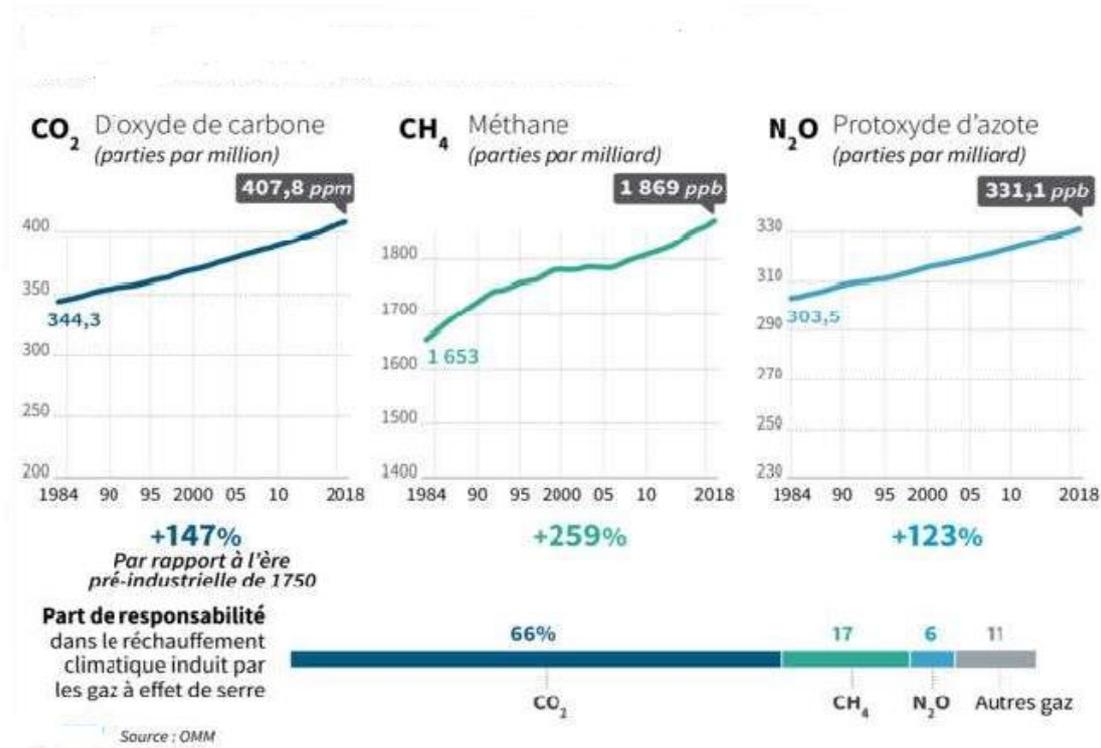


Fig.1.10. Concentration de gaz à effet de serre en 2018 [3]

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. [8]

La définition mathématique du pouvoir de réchauffement global est :

$$\text{PRG} = \frac{\int_0^N A_x C_x(t) dt}{\int_0^N A_{\text{CO}_2} C_{\text{CO}_2}(t) dt} \quad (1.1)$$

Avec

A_x : Efficacité radiative du gaz X

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

A_{CO_2} : Efficacité radiative du CO₂

$C_{\text{CO}_2}(t)$: Concentration du CO₂ à l'instant t en réponse

Chapitre I : Climat et changement climatique

Tableau.1.1. Potentiels de réchauffement global des GES comparé au CO₂ [8]

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	50 000 ans
	HFC	<i>Trifluorométhane</i>	12 400	260 ans
	SF6	<i>Hexafluorure de soufre</i>	23 500	3 200 ans

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.[9]

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 liés aux aérosols sont aussi possibles (en particulier pour les

Chapitre I : Climat et changement climatique

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. [9]

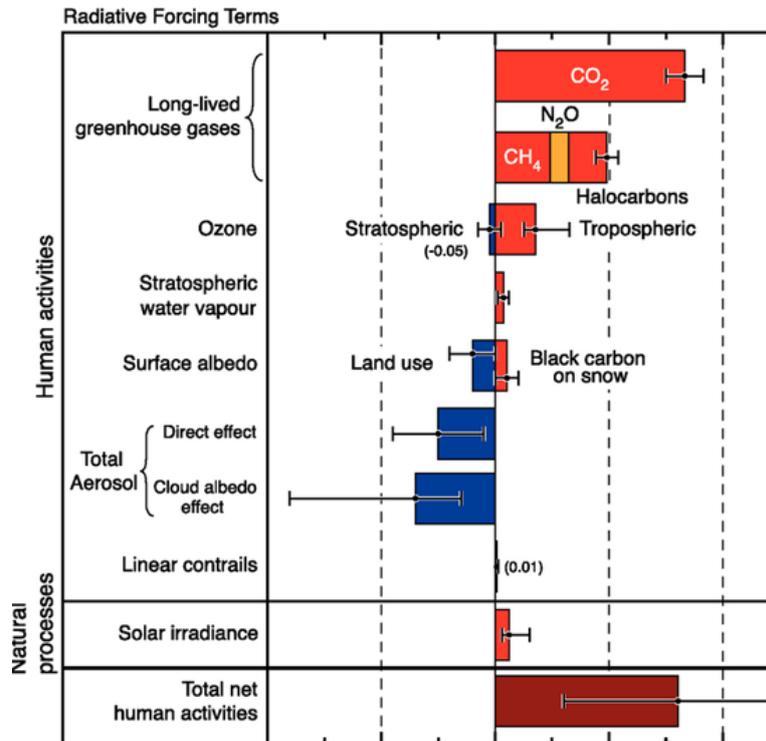


Fig.1.11. Bilan du forçage radiatif des GES et des aérosols [9]

I.3.5. Les indicateurs du changement climatique

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

Elle est de $0,8 \pm 0,2$ °C depuis 1870. Elle reste notablement différente pour les deux hémisphères : plus forte au Nord et plus forte aux hautes latitudes. Une variabilité entre continents est également observée. Les variations climatiques naturelles (El Niño, éruptions volcaniques, Oscillation Nord Atlantique) y sont visibles.

I.3.5.2. La température des océans

Elle est mesurée depuis les années 1950 par les bateaux de commerce ou les navires océanographiques (jusque vers 700 m de profondeur) et plus récemment par le système de bouées, montre une augmentation moyenne globale depuis quelques décennies. (20) Le contenu d'énergie thermique de l'océan a donc aussi augmenté, surtout depuis le début des années 1980. Ce réchauffement n'est pas uniforme. Il

présente une importante variabilité régionale avec d'importantes oscillations pluriannuelles, voire décennales. [14]

I.3.5.3. La réduction de la surface des glaces océaniques arctiques

La banquise, dont la fonte ne contribue pas à l'élévation du niveau des océans, est un autre indicateur fort de l'accélération de l'évolution du climat : de 8,5 millions de km² stable dans la période 1950-1975, la surface des glaces de mer a connu une décroissance très rapide jusqu'à 5,5 millions de km² en 2010.

I.3.5.4. Les calottes polaires de l'Antarctique et du Groenland

Les calottes polaires ont un bilan total de masse négatif depuis une dizaine d'années. Si quelques régions élevées de l'intérieur des calottes, en particulier Antarctique, s'épaississent un peu par suite de précipitations neigeuses accrues, la perte de masse domine. Celle-ci s'effectue dans les zones côtières du Groenland et de l'Antarctique de l'Ouest par écoulement très rapide de certains glaciers vers l'océan et décharge d'icebergs. On pense que le réchauffement des eaux océaniques dans ces régions est la cause majeure des instabilités dynamiques observées. [4]

I.3.5.5. Le niveau moyen des océans

Il est un autre indicateur qui intègre les effets de plusieurs composantes du système climatique (océan, glaces continentales, eaux continentales). Avant 1992, le niveau de la mer était mesuré par des marégraphes le long des côtes continentales et de quelques îles : le niveau des océans, en moyenne annuelle sur toute la planète, s'est élevé à un rythme de 0,7 mm/an entre 1870 et 1930 et d'environ 1,7 mm/an après 1930. Depuis 1992, les mesures sont effectuées par satellites : la hausse du niveau moyen global de la mer est de l'ordre de 3,4 mm/an. À cette élévation moyenne se superposent des oscillations pluriannuelles, liées à la variabilité naturelle du système climatique. Depuis le début des années 1990, les contributions climatiques à cette élévation sont approximativement dues, pour un tiers à la dilatation de l'océan consécutive au réchauffement et, pour les deux autres tiers, aux glaces continentales à parts quasi égales, fonte des calottes polaires du Groenland et de l'Antarctique d'une part, et fonte des glaciers continentaux d'autre part. [4]

I.3.5.6. Les indicateurs biologiques

Tels que les déplacements de populations animales terrestres ou marines et l'évolution des dates d'activités agricoles saisonnières, montrent aussi la survenue

d'un réchauffement climatique. Bien que difficiles à quantifier, ces éléments sont importants et ont des conséquences dans de nombreux domaines d'activités professionnelles où ils sont largement pris en compte.

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 [4].

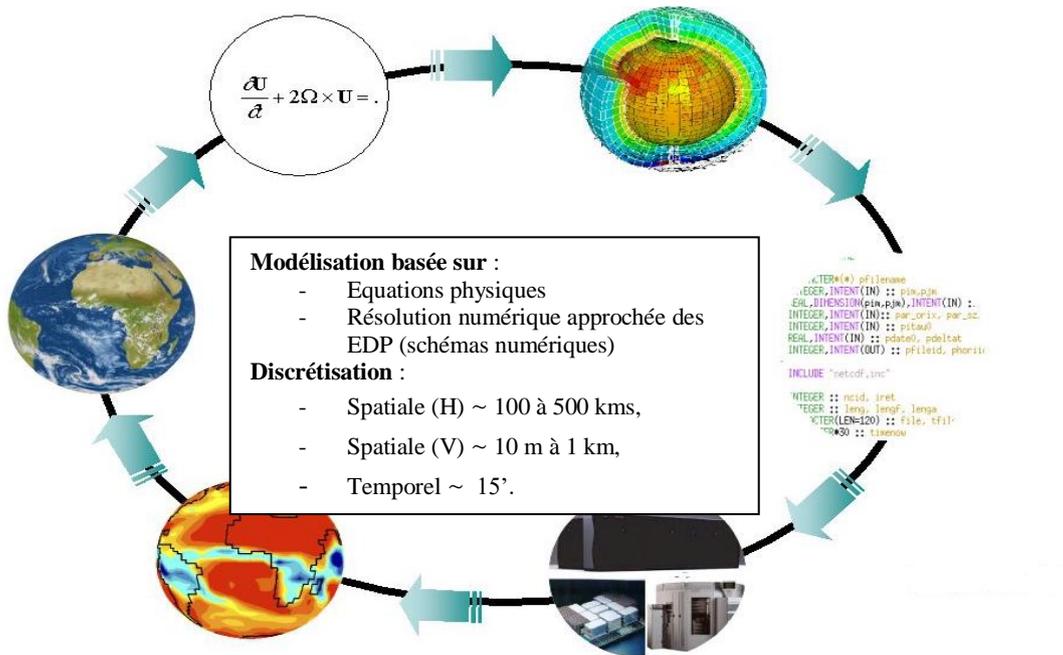


Fig.1.12. La boucle de la modélisation climatique [1]

I.4.2. Les Scénarios climatiques

Généralement, ils sont obtenus à partir de projections qui sont souvent fondés sur des informations complémentaires provenant d'autres sources ; quatre genres de scénarios sont communément utilisés dans l'étude du changement climatique : le scénario climatique, le scénario d'émissions (Fig.1.12), le scénario de forçage radiatif et le scénario du SRES (Special Report on Emissions Scenarios). [3]

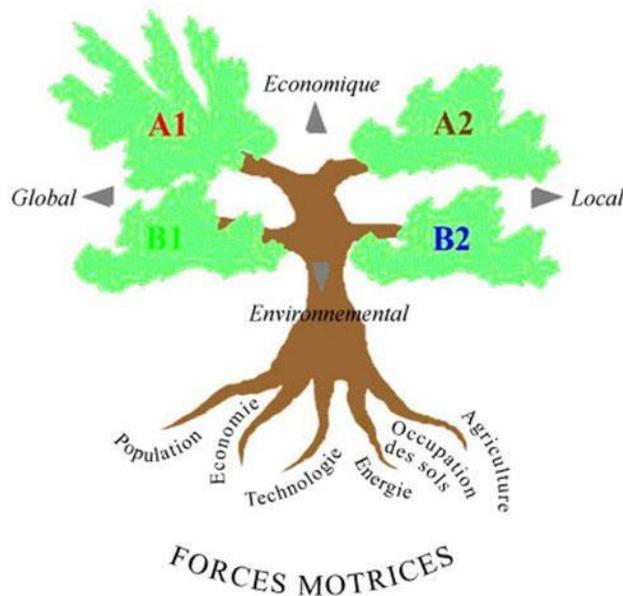


Fig.1.13. Scénarios d'émissions utilisées pour les projections climatiques [1]

Chapitre I : Climat et changement climatique

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.

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. [3]

Chapitre I : Climat et changement climatique

Tableau 1.2. Les scénarios de projections SRES [3]

Forces Scénarios		Technologies Énergétiques	Population mondiale	Environnement	Situation économique
A1	A1F1	Basé sur un usage intensif de combustibles fossiles	Atteint son maximum au milieu du siècle et diminue ensuite	Solutions essentiellement technologiques pour protéger l'environnement	Croissance très rapide Réduction des différences régionale au niveau du revenu
	A1T	Lié à des sources d'énergie autres que fossiles			
	A1B	Etabli sur un équilibre entre toutes les sources d'énergie			
A2		Progrès technologique hétérogène et lent	Augmentation constant	Divergence dans les solutions	Croissance par habitant fragmenté et lent. Développement à orientation régionale
B1		Développement rapides des technologies propres fondées sur l'utilisation efficace des ressources	Atteint son maximum au milieu du siècle et diminue ensuite	Solutions mondiale	Croissance très rapide Economie orienté à la valorisation des services et de l'information
B2		Développement lent, et différenciés selon les régions	Augmentation régulière	Solutions régionales	Niveau intermédiaire de croissance économique, orienté vers les solutions locales

Selon la figure.1.14, le pire scénario serait le scénario **A1F1**, ce dernier induirait à un réchauffement plus conséquent que les autres scénarii avec une augmentation de plus de 3,5 °C en 2100 ; le scénario **B1** quant à lui représente la vision la plus optimiste de ce que serait ce réchauffement avec un peu moins de 2 °C en 2100. [3]

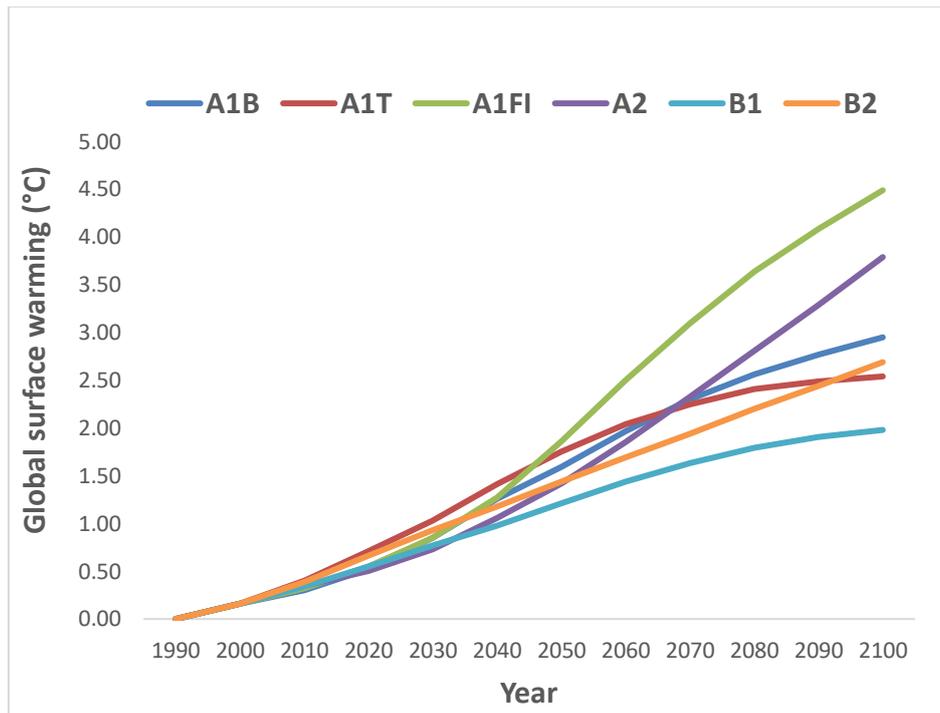


Fig.1.14. Projections des émissions des gaz à effet de serre et de la température de la Terre jusqu'au 2100 [11]

CHAPITRE II

Présentation de la zone d'étude & traitement de données

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

II.1. Introduction

La connaissance des conditions climatiques d'une région nécessite de longues séries de données climatiques sur plusieurs stations météorologiques réparties sur l'ensemble, car elle permet de mieux connaître l'évolution du climat sur cette région et ainsi elle permet aussi de prévoir les changements climatiques futurs.

Avant toute étude mettant en œuvre des données observées, une analyse critique de ces dernières s'impose. Nous allons d'abord analysé l'homogénéité et la tendance des séries d'observations, à l'échelle annuelle en utilisant le test Pettitt et de Mann Kendall respectivement.

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. Position géographique

L'Algérie située à l'extrémité Nord du continent africain et au Sud-Ouest du bassin méditerranéen. Elle se trouve limitée entre les parallèles 19° et 37° Nord et par les longitudes 9° Ouest et 12° Est. Elle occupe une superficie de 2 381 741 km².

Le Nord du pays est bordé par la mer Méditerranée, et ses frontières touchent la Tunisie et la Libye à l'Est, le Niger et le Mali au Sud et la Mauritanie, le Sahara occidental et le Maroc à l'Ouest.



Fig.2.1. Carte frontière Algérie [<https://en.wikipedia.org/wiki/Algeria>]

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

II.2.2. Le climat

L'Algérie fait partie de la zone subtropicale de l'Afrique du Nord. Le climat en Algérie diffère d'une région à une autre. Au Nord, il est de type méditerranéen et englobe principalement le littoral. On définit globalement :

-Une zone tellienne, où se concentre la majorité de la population (zone côtière couvrant 5% du territoire, au climat méditerranéen).

-Une zone steppique, dite des Hauts-Plateaux, plus aride, à végétation basse, représentant près de 360 000 km² (15% du territoire).

-Un zone désertique, qui couvre les 80% de la surface restante, mais dont l'environnement n'en est pas moins riche.

Les précipitations sur l'ensemble du territoire se présentent d'une manière assez diverse, d'une part par leurs causes et d'autre part par les quantités recueillies. Elles diminuent d'Est en Ouest et du Nord au Sud.

Le climat des Hauts-Plateaux est aride avec des précipitations faibles et irrégulières, de 200 à 400mm par an. Le Désert du Sahara est aride avec des précipitations annuelles extrêmement faibles, moins que 100 mm par an. [19]

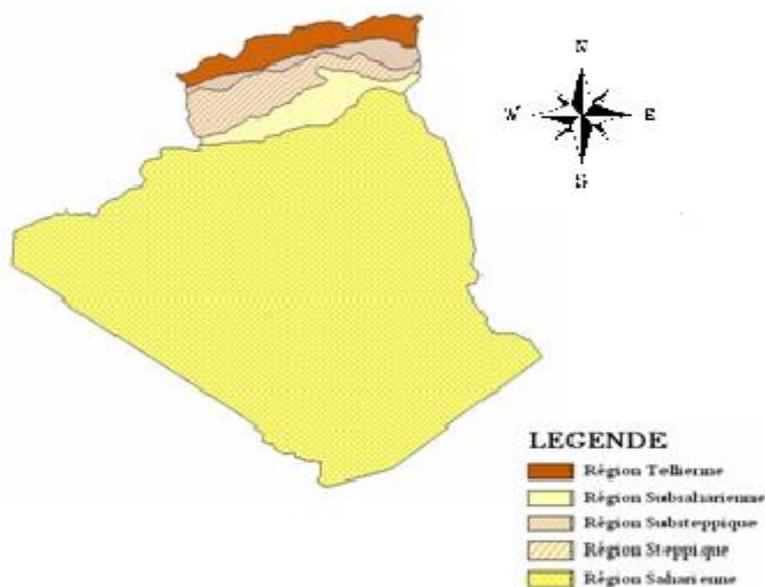


Fig.2.2. Les zones climatiques de l'Algérie [19]

II.3. Présentation des données

II.3.1 Description de la base de données

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

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

possibles de données manquantes pour toutes les stations, il est nécessaire de se baser sur quelques critères pour éliminer les stations défectueuses. Les critères qui ont été adoptés sont :

1. Continuité des séries des stations retenues sur une période suffisamment longue ;
2. Homogénéité des séries à étudier ;
3. La qualité des données (Moins de lacunes et de données manquantes) ;
4. Stations issues de réseaux professionnels ;
5. Représentativité des stations pour toutes les grandes régions géographiques de l'Algérie.

Nous avons tenté d'intégrer le plus grand nombre de stations et qui offrent de longues séries d'observations. Cependant, d'après vérification des stations, la principale difficulté constatée était les données manquantes.

L'acquisition des données s'est faite au niveau 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/>

Dix Huit (18) stations ont été retenues dans cette étude dont les longueurs des enregistrements varient entre 39 et 51 ans (Tableau.2.1).

Les données climatologiques retenues dans cette étude comprennent les observations mensuelles et annuelles de températures maximales et minimales mesurées sous abri ainsi que les précipitations.

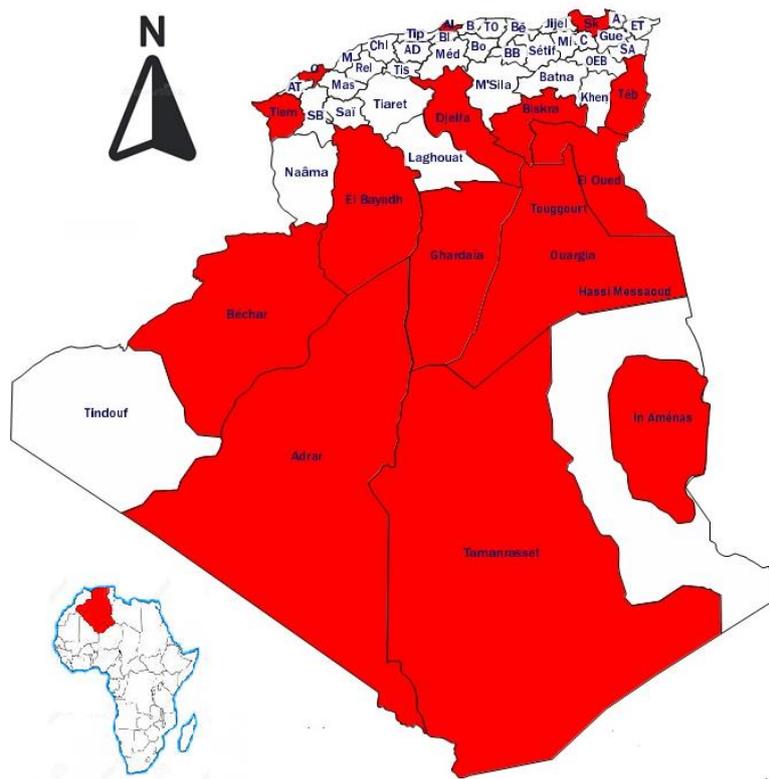


Fig.2.3. Localisation de la zone d'étude

Dans une étape préliminaire, nous avons calculé l'écart entre les données fournies par le Centre National pour l'Information et l'Environnementale (NCEI/NOAA) et celles enregistrées au niveau des stations professionnelles de l'Office National de la Météorologie (ONM) utilisées comme référence.

Nous avons choisi quatre stations à savoir : Ouargla, El Goléa, Béchar et Tamanrasset. La comparaison des courbes mensuelles de température minimale (Fig.2.4a), la température maximale (Fig.2.4b), la température moyenne (Fig.2.4c) et les précipitations (Fig.2.4d) pour l'année 2018 montrent un très faible écart pour les deux réseaux, ainsi que une très bonne corrélation ($R=0,99$). Ceci indique la fiabilité des données du centre NCEI/NOAA.

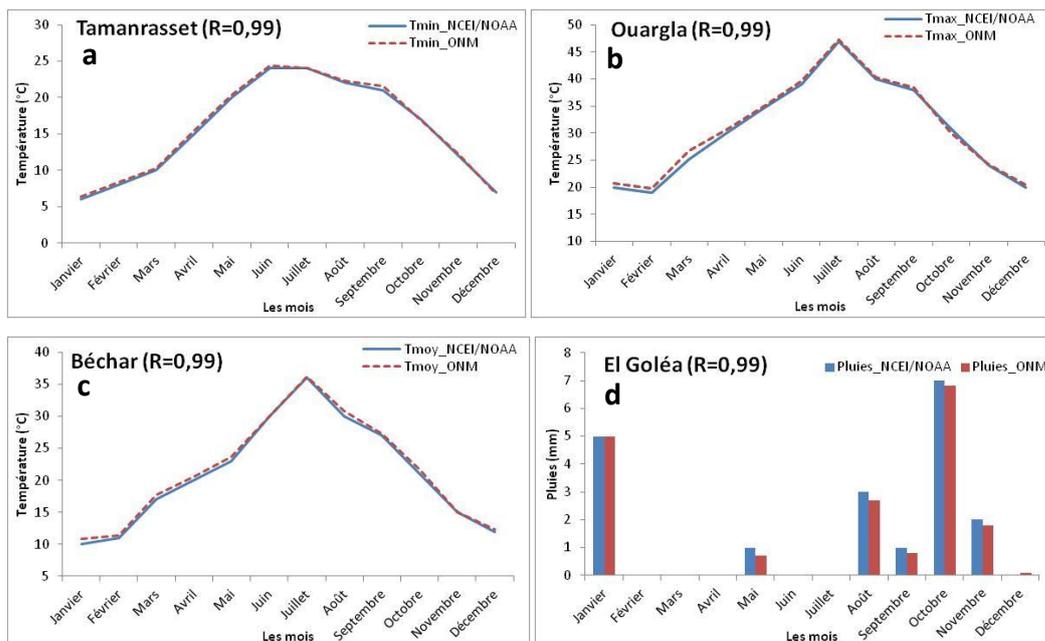


Fig.2.4. Comparaison de données NCEI/NOAA et ONM

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude & traitement 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
Alger	60390	DAAG	36°43'N	03°15'E	25	(1969-2019)
Oran	60490	DAOO	35°38'N	00°36'W	90	(1980-2019)
Tlemcen	60531	DAON	35°01'N	01°28'W	247	(1981-2019)
Tebessa	60475	DABS	35°29'N	08°08'E	813	(1980-2019)
Djelfa	60535	DAFI	33°09'N	03°23'E	1185	(1980-2019)
El Bayadh	60550	DAOY	33°40'N	01°00'E	1341	(1980-2019)
Skikda	60355	DABP	36°53'N	06°54'E	3	(1980-2019)
Tamanrasset	60680	DAAT	22°49'N	05°28'E	1377	(1969-2019)
Biskra	60525	DAUB	34°4'8N	05°44'E	87	(1973-2019)
Adrar	60620	DAUA	27°49'N	00°11'W	283	(1980-2019)
Bechar	60571	DAOR	31°30'N	02°15'W	816	(1971-2019)
El Goléa	60590	DAUE	30°34'N	02°52'E	397	(1971-2019)
Ghardaia	60566	DAUG	32°23'N	03°49'E	450	(1969-2019)
Ouargla	60580	DAUU	31°55'N	05°24'E	141	(1980-2019)
Hassi Messaoud	60581	DAUH	31°40'N	06°09'E	142	(1969-2019)
Tougourt	60555	DAUK	33°04'N	06°05'E	92	(1974-2019)
El Oued	60559	DAUO	33°30'N	06°47'E	69	(1971-2019)
In Aménas	60611	DAUZ	28°03'N	09°38'E	562	(1971-2019)

II.3.2 Traitement des données manquantes

Les données collectées, nous nous les sommes procurées sous forme de 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. [13]

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude & traitement 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. [13]

Exemple pratique

La série d'observation de la station d'Ouargla a été contrôlée à partir de la station de Hassi Messaoud. En effet, les deux stations dont l'altitude est la même présente un coefficient de corrélation très élevé et significatif ($R=0,99$).

Le mois d'Octobre de l'année 1981 présente des lacunes à Ouargla, 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 (1981-2019) à la station de Hassi Messaoud ;

$\bar{X}' = 31,1^{\circ}\text{C}$: La moyenne de la série homogène commune entre les deux stations (1981-2019) à la station de Hassi Messaoud ;

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

$\bar{Y}' = 31,1^{\circ}\text{C}$: La moyenne de la série homogène (1981-2019) à Ouargla ;

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

$R = 0,99$: Le coefficient de corrélation entre les deux stations.

$$Y = 31,1 + \left(0,99 \cdot \frac{9,1}{9,3}\right)(31,8 - 31,1) = 31,8^{\circ}\text{C}$$

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 de données

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

	<i>Alger</i>	<i>Oran</i>	<i>Tlemcen</i>	<i>Djelfa</i>	<i>El Bayadh</i>	<i>Skikda</i>	<i>Tebessa</i>	<i>Tamanrasset</i>	<i>Biskra</i>	<i>Adrar</i>	<i>Béchar</i>	<i>El Goléa</i>	<i>Ghardaia</i>	<i>Ouargla</i>	<i>Hassi Messaoud</i>	<i>Touggourt</i>	<i>El Oued</i>	<i>In Aménas</i>
<i>Alger</i>	1																	
<i>Oran</i>	0,9956	1																
<i>Tlemcen</i>	0,9948	0,9976	1															
<i>Djelfa</i>	0,9620	0,9686	0,9614	1														
<i>El Bayadh</i>	0,9571	0,9626	0,9563	0,9893	1													
<i>Skikda</i>	0,9966	0,9909	0,9896	0,9507	0,9443	1												
<i>Tebessa</i>	0,9525	0,9600	0,9499	0,9938	0,9948	0,9393	1											
<i>Tamanrasset</i>	0,8857	0,9070	0,8869	0,9243	0,9462	0,8777	0,9466	1										
<i>Biskra</i>	0,9454	0,9589	0,9479	0,9903	0,9899	0,9336	0,9971	0,9541	1									
<i>Adrar</i>	0,9428	0,9581	0,9486	0,9823	0,9917	0,9288	0,9926	0,9685	0,9952	1								
<i>Béchar</i>	0,9404	0,9548	0,9439	0,9875	0,9890	0,9227	0,9930	0,9580	0,9938	0,9945	1							
<i>El Goléa</i>	0,9181	0,9397	0,9291	0,9697	0,9731	0,9027	0,9824	0,9475	0,9916	0,9884	0,9844	1						
<i>Ghardaia</i>	0,9466	0,9579	0,9484	0,9949	0,9926	0,9320	0,9968	0,9495	0,9962	0,9932	0,9973	0,9821	1					
<i>Ouargla</i>	0,9388	0,9534	0,9424	0,9843	0,9912	0,9245	0,9949	0,9682	0,9968	0,9985	0,9950	0,9892	0,9951	1				
<i>Hassi Messaoud</i>	0,9338	0,9498	0,9377	0,9804	0,9888	0,9197	0,9931	0,9707	0,9961	0,9980	0,9932	0,9902	0,9927	0,9996	1			
<i>Touggourt</i>	0,9443	0,9574	0,9469	0,9883	0,9933	0,9303	0,9968	0,9642	0,9977	0,9982	0,9964	0,9883	0,9972	0,9996	0,9986	1		
<i>El Oued</i>	0,9494	0,9622	0,9516	0,9884	0,9939	0,9371	0,9968	0,9631	0,9981	0,9977	0,9943	0,9882	0,9958	0,9990	0,9984	0,9993	1	
<i>In Aménas</i>	0,8912	0,9154	0,8998	0,9281	0,9529	0,8768	0,9534	0,9915	0,9625	0,9792	0,9669	0,9662	0,9555	0,9763	0,9791	0,9715	0,9702	1

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.

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 :

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

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 Biskra (Y) à partir de celles de la station d'El Oued (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 0.99 à l'échelle mensuelle.

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

$P_Y = 2047,9$ mm ;

$P_X = 3413,2$ mm ;

Donc : $a = 0,599$

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude & traitement 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. Tests statistiques

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. [13]

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 $(x_i)_{i=1}^t$ et $(x_i)_{i=t+1}^N$ 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.

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. [13]

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

Impact du changement climatique sur les températures

Chapitre III : Impact du changement climatique sur les températures

III.1. Introduction

La température est un paramètre clé dans les études climatiques vue son rôle prédominant dans le rayonnement et le bilan énergétique, d'où son importance capitale dans ces études qui touchent de près ou de loin le domaine du changement climatique. Pour l'étude d'impacts, le pas de temps quotidien est préféré aux moyennes mensuelles et annuelles, entre autres parce qu'il permet une meilleure appréhension des variations des extrêmes de températures. Le nombre de stations ayant mesuré les températures étant important, les deux variables analysées sont les températures minimales (T_n) et les températures maximales (T_x).

Ce chapitre traitera les différents résultats obtenus à partir des séries de données et une analyse détaillée et complète de la variation spatio-temporelle de la température en Algérie. Des calculs de base ont été effectués sur les séries brutes de façon à qualifier et quantifier les variations de paramètre de température au cours du temps et la caractérisation du changement climatique à l'aide des températures. Les résultats de ces calculs sont présentés dans cette partie.

III.2. Variation de la température

Les moyennes annuelles de températures ont été calculées pour chaque station et pour les deux variables étudiées, les T_n et T_x . La tendance globale est la même pour toutes les stations c'est-à-dire que malgré la différence de température absolue entre les stations, leurs variations semblent assez bien corrélées. Pour nous en assurer, la moyenne annuelle globale a été calculée afin de comparer individuellement les moyennes de chaque station à cette moyenne globale. Le grand nombre de stations permet d'effectuer ce type de calcul. Si une ou plusieurs séries varient différemment des autres, elles varieront différemment par rapport à la moyenne globale calculées sur les 18 séries. Cette comparaison a permis de s'assurer de la cohérence d'ensemble, partagée par un grand nombre de stations, du climat et de son évolution en Algérie, le plus faible coefficient de corrélation (r) étant supérieur à 0,80. Les séries, considérées comme cohérentes entre elles, vont pouvoir être comparées entre elles par la suite.

Chapitre III : Impact du changement climatique sur les températures

III.2.1. Variation spatiale de la température

La variation spatiale des températures minimales, maximales et moyennes a été analysée à partir des séries des températures annuelles homogénéisées, sur la période commune de 30 ans (1981-2010).

Le gradient de température est influencé par la latitude et l'altitude. D'après la Figure 3.1, la zone d'étude peut être subdivisée en quatre principales zones avec des températures différentes :

Pour les stations du Nord de pays, la température moyenne de toute la série est respectivement de 18,2, 18,3, 18,2 et 18,8° C pour Alger, Oran, Tlemcen et Skikda.

Dans les hauts plateaux et le centre du pays: on observe les moyennes suivantes : 14,8, 16,2 et 15,4°C respectivement pour les stations de Djelfa, Tébessa, El Bayadh.

Dans le sud de pays, l'évolution des températures moyennes annuelles durant la période 1981-2010 est quasiment identique à Biskra (22,3°C), Touggourt (22,1°C), El Goléa (22,1°C), El Oued (22,3°C) et Tamanrasset (22,2°C) avec des températures de plus en plus marquées à cause de la continentalité et de l'amplitude qui est très forte.

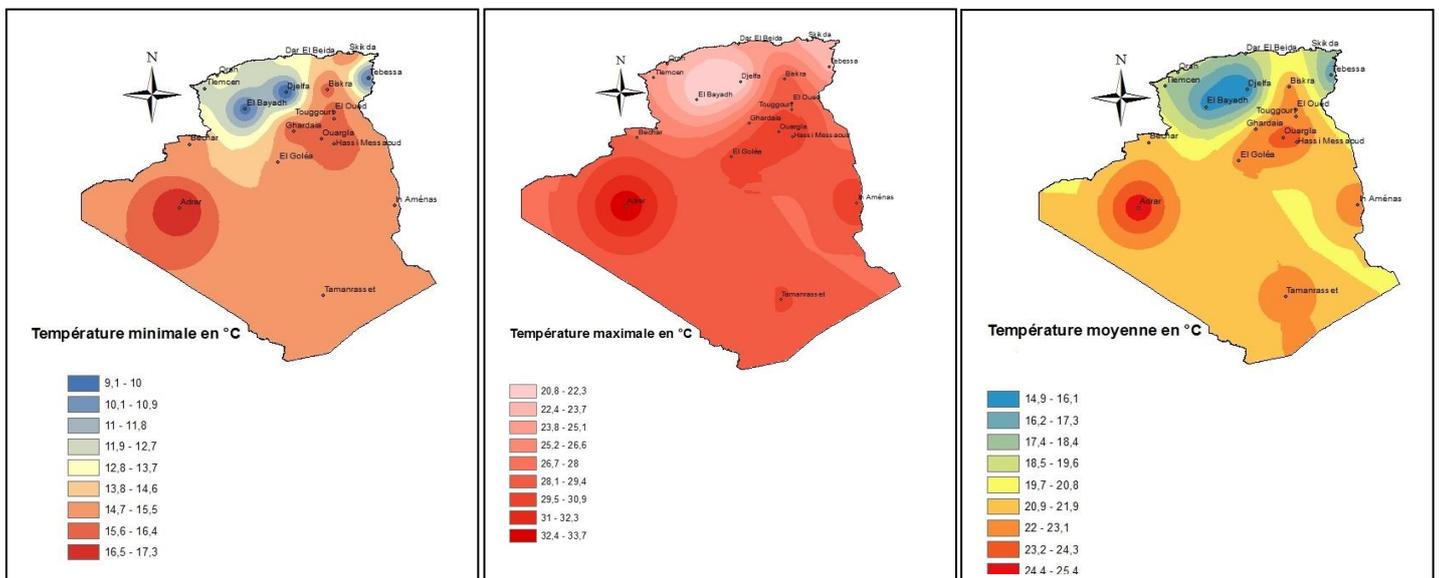


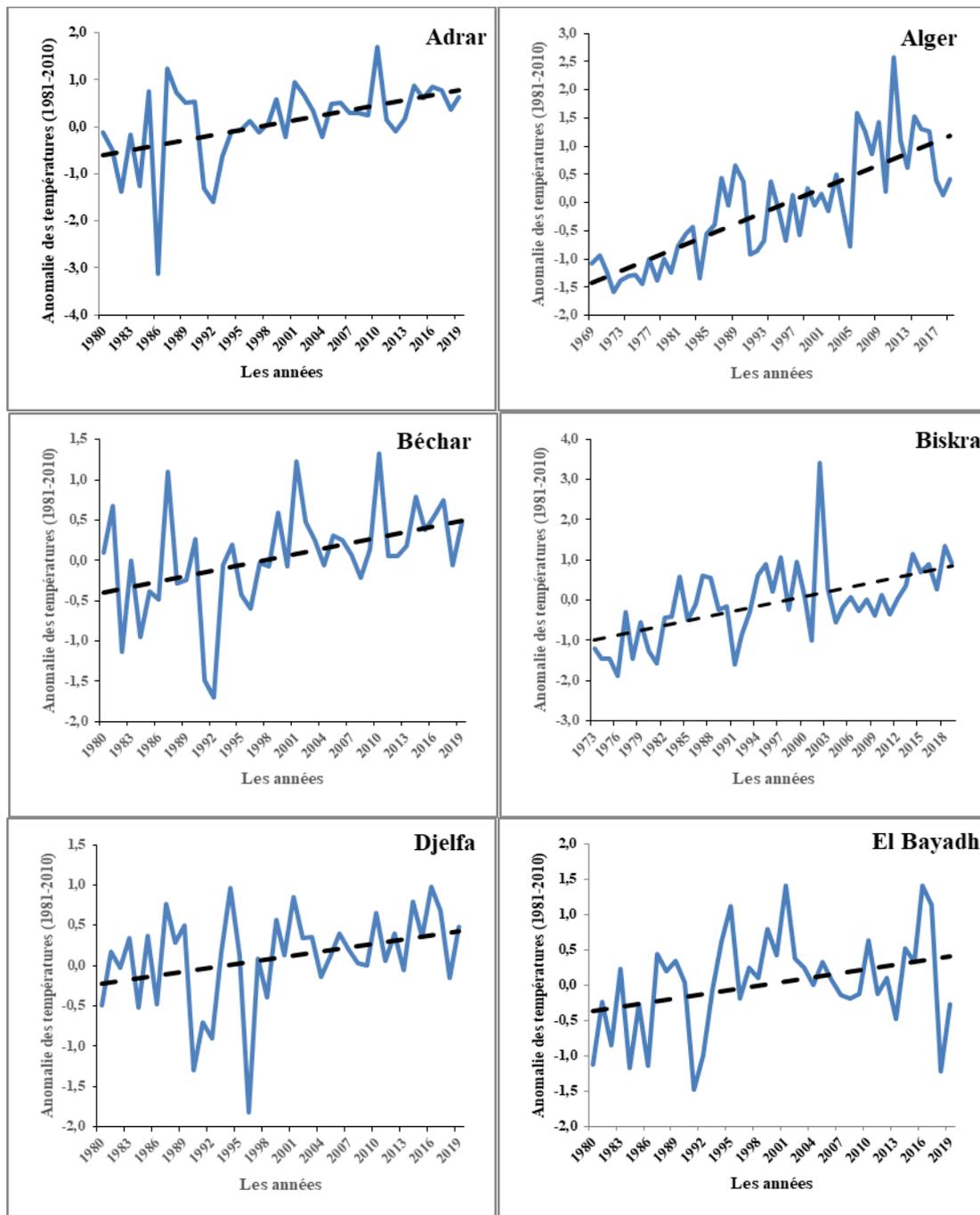
Fig.3.1. Variation spatiale des températures minimales, maximales et moyennes sur la période (1981-2010).

Chapitre III : Impact du changement climatique sur les températures

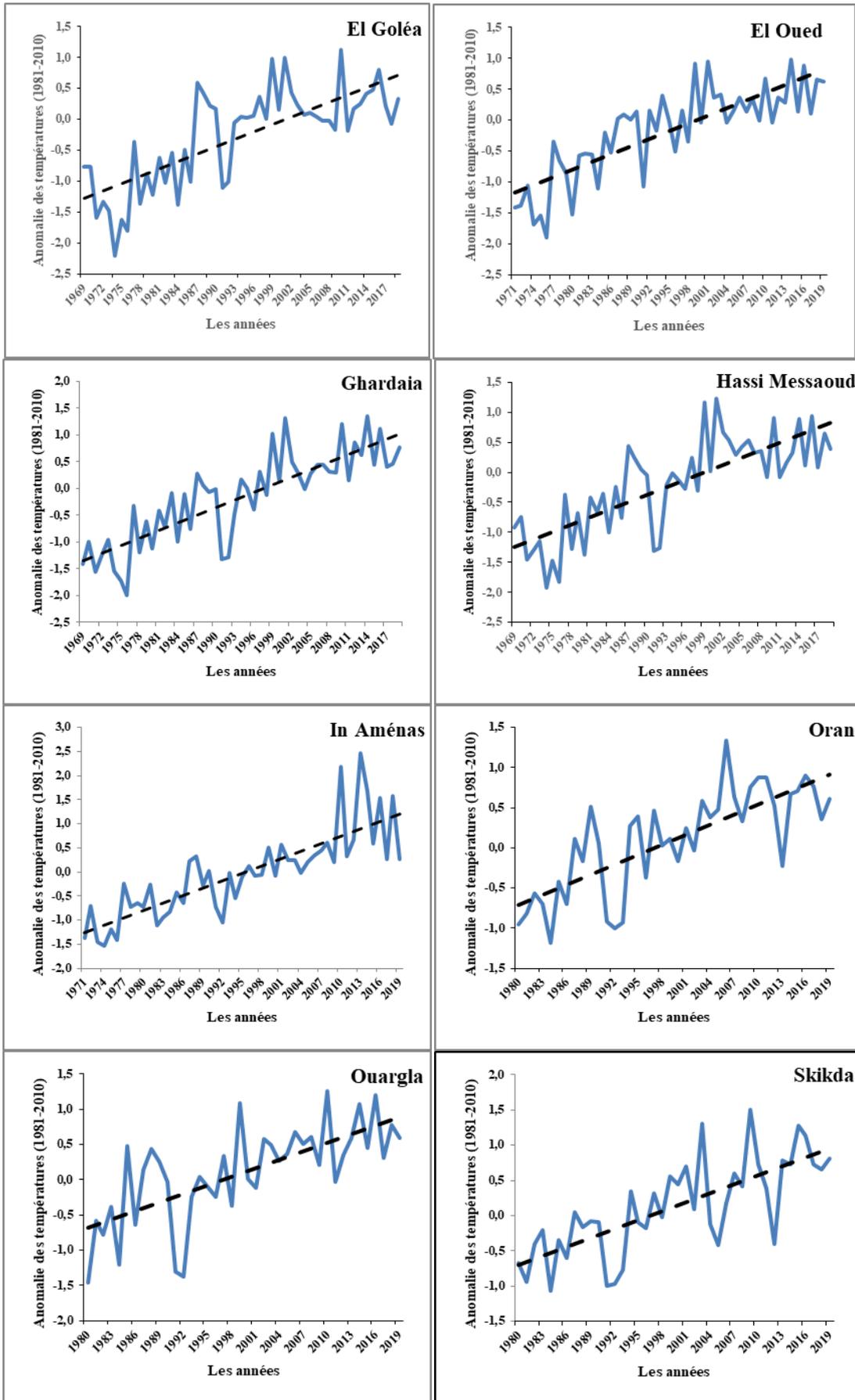
III.2.2. Variation temporelle de la température

III.2.2.1. Variation interannuelle de la température

L'évolution de la température moyenne annuelle (Fig.3.2) est représentée sous forme d'écart à la moyenne sur la période de référence 1981-2010. La tendance à la hausse de la température moyenne est très nette, l'écart est presque systématiquement positif depuis le début des années 2000.



Chapitre III : Impact du changement climatique sur les températures



Chapitre III : Impact du changement climatique sur les températures

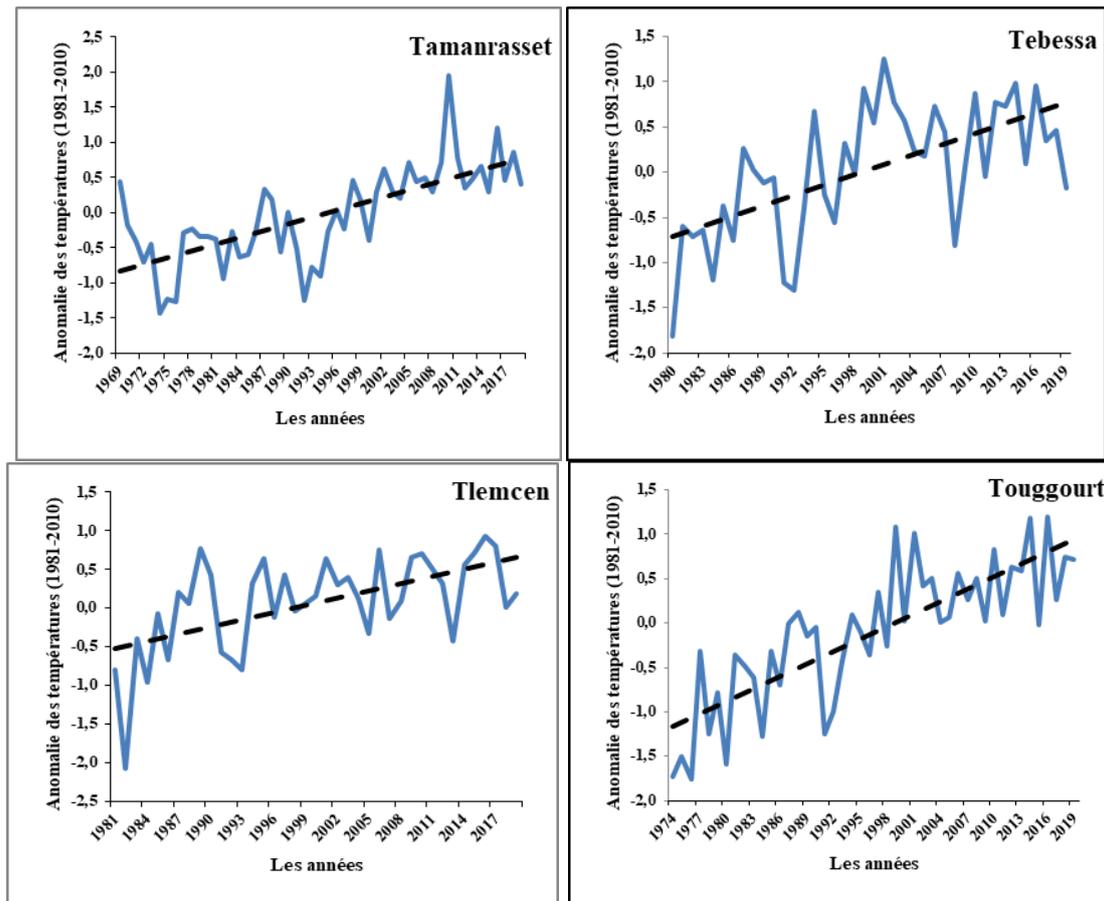


Fig.3.2. Anomalie de la température moyenne annuelle à la normale de référence (1981-2010).

Après avoir divisé notre période d'étude en deux périodes de 20 ans, nous avons procédé à l'analyse de l'évolution des températures entre ces deux séries d'observations. La période 2001-2019 (avec une température supérieure de $0,5^{\circ}\text{C}$ à la normale 1981-2010) a été plus chaude de $0,7^{\circ}\text{C}$ 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 2001/2019 à la zone d'étude, à savoir une hausse de $0,7^{\circ}\text{C}$.

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

Chapitre III : Impact du changement climatique sur les températures

Tableau 3.1. Différence des températures entre la période (2001-2019) et (1981-2000).

Températures Stations	TN(P2*)-TN(P1*)	TX(P2)-TX(P1)	TM(P2)-TM(P1)
Adrar	+0,6	+1,1	+0,8
Alger	+1,2	+0,9	+1,0
Béchar	+0,6	+0,7	+0,6
Biskra	-0,3	+1,2	+0,4
Djelfa	+0,4	+0,3	+0,8
El Goléa	-0,2	+1,2	+0,5
El Oued	+0,3	+0,8	+0,6
El Bayadh	+0,5	+0,1	+0,3
Ghardaia	+0,8	+0,9	+0,8
Hassi Messaoud	+0,4	+0,9	+0,7
In Aménas	+0,8	+1,4	+1,1
Oran	+1,1	+0,6	+0,9
Ouargla	+0,8	+0,8	+0,7
Skikda	+0,5	+1,4	+0,9
Tamanrasset	+0,6	+1,2	+0,9
Tebessa	+0,3	+1,1	+0,7
Tlemcen	+0,4	+0,7	+0,6
Touggourt	+0,5	+1,0	+0,8
Moyenne (°C)	0,5	0,9	0,7

P1* : La période (1981-2000)

P2* : La période (2001-2019)

III.2.2.2. Variation mensuelle de la température

III.2.2.2.1. Températures moyennes mensuelles (\bar{T}_m)

La figure 3.3 montre que les valeurs les plus faibles sont enregistrées aux mois de janvier et décembre au niveau de toutes les stations.

Les valeurs les plus élevées sont enregistrées au mois de juillet pour toutes les stations où la température moyenne fluctue entre 25 °C et 38 °C. Le maxima est enregistré à la station d'Adrar au mois de juillet (37,4 °C). Pendant, ces deux mois, on constate l'aplatissement du sommet de la courbe de toutes les stations sauf celle de Biskra, où la variation de la température moyenne de juillet à août ne dépasse pas en général 1° C.

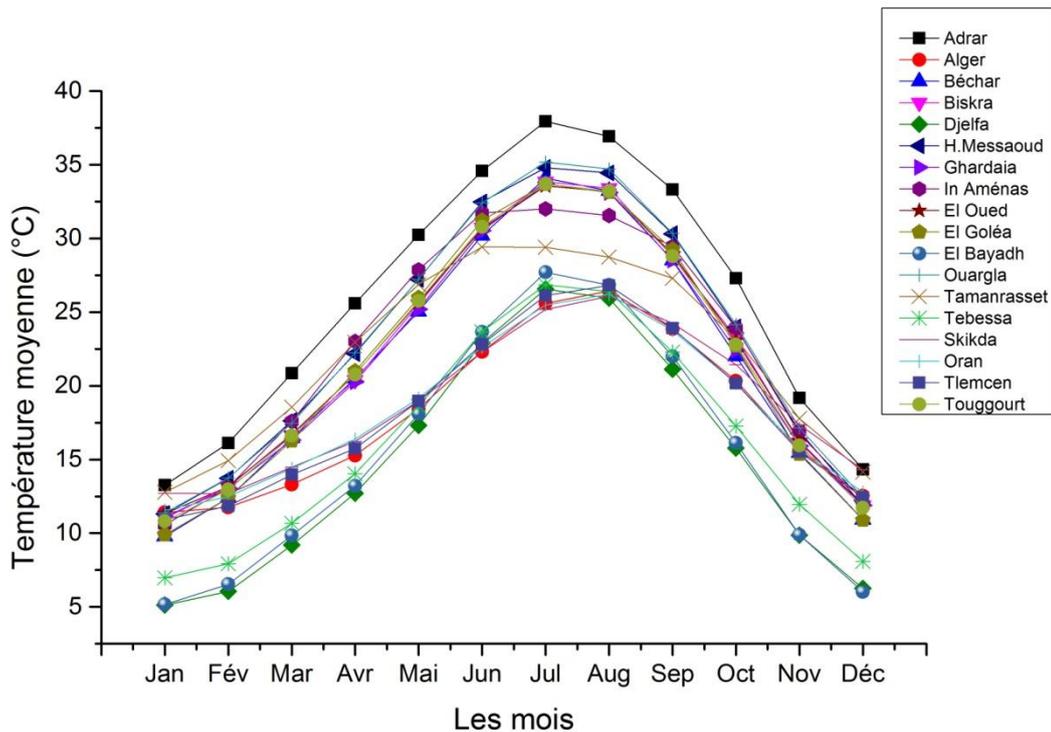


Fig.3.3. La variation mensuelle des températures moyennes (Période (1981-2019)).

III.2.2.2.2. Températures maximales mensuelles (\bar{T}_x)

L'analyse de la figure 3.4 montre les moyennes maximales mensuelles les plus élevées sont observées au mois de juillet pour les stations où les moyennes maximales fluctuent entre 28 °C et 46 °C.

Nous constatons que les stations du littoral enregistrent en général entre le mois de mai et le mois de septembre des valeurs inférieures à celles des stations de l'intérieur et du Sud et inversement pendant les autres mois. La station d'Adrar présente les valeurs les plus élevées le long de l'année.

Les écarts des températures maximales moyennes par rapport à la normale des mois de juillet calculés sur la période 1981-2010 étaient importants, globalement, ils ont varié de +0.2°C à +3.7°C.

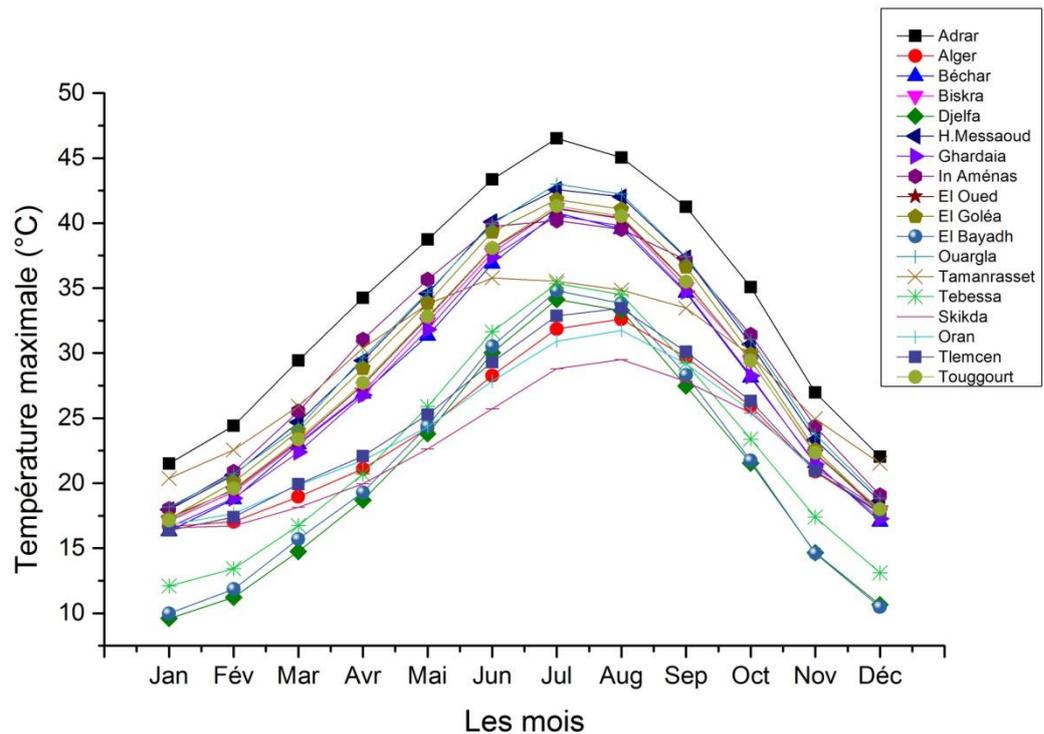


Fig.3.4. La variation mensuelle des températures maximales (Période (1981-2019)).

III.2.2.2.3. Température minimales mensuelles (\bar{T}_n)

L'analyse de la figure 3.5 montre que les moyennes minimales mensuelles les plus basses sont enregistrées aux mois de décembre et janvier pour la totalité des stations, où elles fluctuent entre 0,5 °C et 10 °C.

La région des hauts plateaux jouit d'un climat continental avec des hivers froids où les températures minimales sont au voisinage de 0°C (0,4°C à El Bayadh et 0,6°C à Djelfa).

Nous constatons une augmentation nette de la température moyenne minimale par rapport à la normale (1981-2010) surtout dans les dix dernières années. Cette augmentation est due forcément à l'impact du changement climatique.

Chapitre III : Impact du changement climatique sur les températures

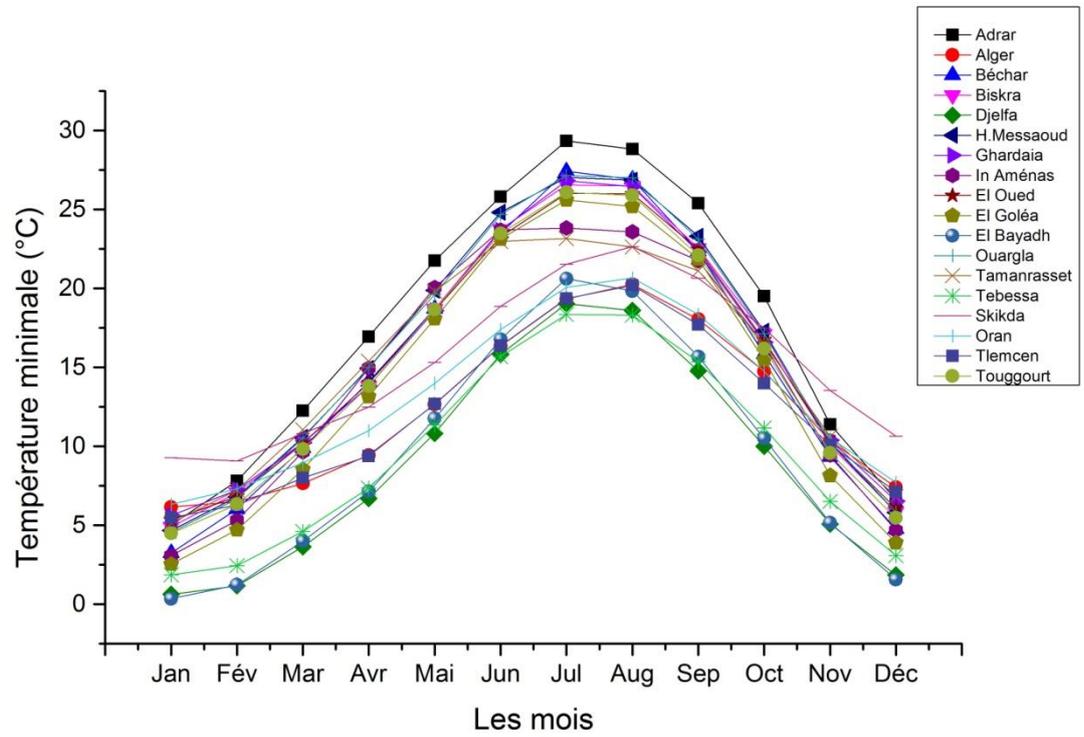


Fig.3.5. La variation mensuelle des températures minimales (Période (1981-2019)).

CHAPITRE IV

Impact du changement climatique sur les précipitations

Chapitre IV : Impact du changement climatique sur les précipitations

IV.1. Introduction

Les précipitations sont considérées comme le paramètre climatique le plus variable, car la variabilité et les tendances des précipitations au cours des dernières décennies préoccupent tous les chercheurs, des tendances spécifiques étant identifiées pour chaque région étudiée.

Afin de mettre en évidence l'évolution et les fluctuations temporelles des précipitations en Algérie, nous avons opté pour calculer et suivre l'évolution de quelque indice climatique. Ces derniers sont une combinaison d'au moins deux variables décrivant l'état de l'atmosphère pour caractériser le climat d'un lieu. Parmi ces indices, nous avons choisis l'indice de précipitations standardisé (SPI). Ce dernier a pour but de mettre en évidence les fluctuations des régimes pluviométriques en relevant les périodes humides et sèches.

Enfin nous étudierons la corrélation existant entre les précipitations et les indices d'Oscillation Nord-Atlantique (NAO) et d'Oscillation Méditerranéenne (MO) pour explorer l'influence du forçage atmosphérique à grande échelle sur la variabilité pluviométrique au Nord d'Algérie.

IV.2. Variation des précipitations

IV.2.1. Variation spatiale des précipitations

La variation spatiale des précipitations a été analysée à partir des séries des pluies annuelles homogénéisées. Les précipitations annuelles moyennes sur la période commune de 30 ans (1981-2010) ont été calculées et analysées.

On remarque que les hauteurs moyennes interannuelles de la majorité des stations sont rapprochées, de l'ordre de 400 à 800 mm, ces stations sont situées dans le Nord du pays, c.à.d. plus proche de la mer ou à des altitudes moyennes. Les stations qui ont une forte pluviométrie sont Skikda (807,6 mm), Alger (573,7 mm) et Tlemcen (390,6 mm), tandis que celles présentant la plus faible pluviométrie observée sur la zone d'étude sont situées dans la partie Sud avec des hauteurs moyennes inférieures à 200 mm (Fig.4.1).

D'une manière générale, nous pouvons dire que la répartition spatiale des pluies dans en Algérie est influencée par l'altitude, la longitude et l'éloignement de la mer. Ce résultat vient confirmer les constatations faites par plusieurs chercheurs qui ont travaillé sur les précipitations en l'Algérie en occurrence : Gausson 1948 et Seltzer 1946.

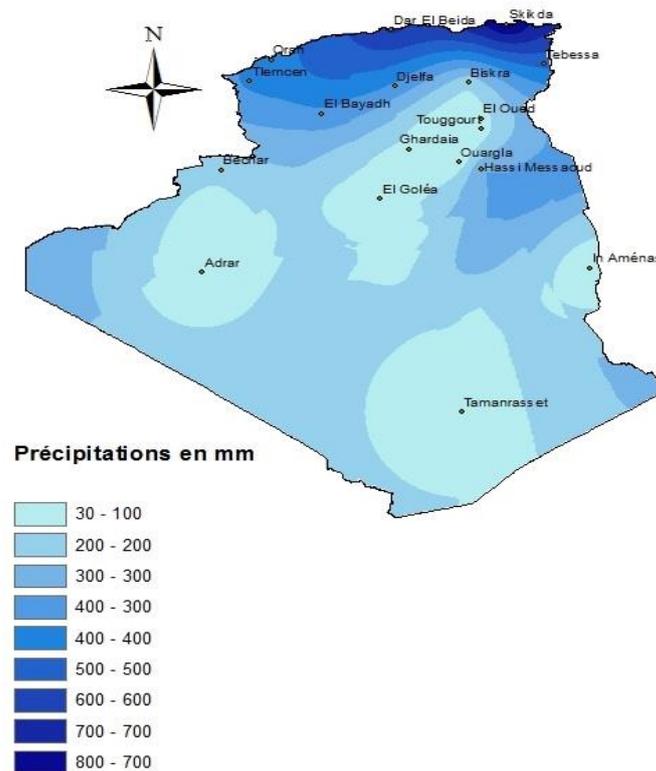


Fig.4.1. Variation spatiale des précipitations moyennes annuelles sur la période (1981-2010)

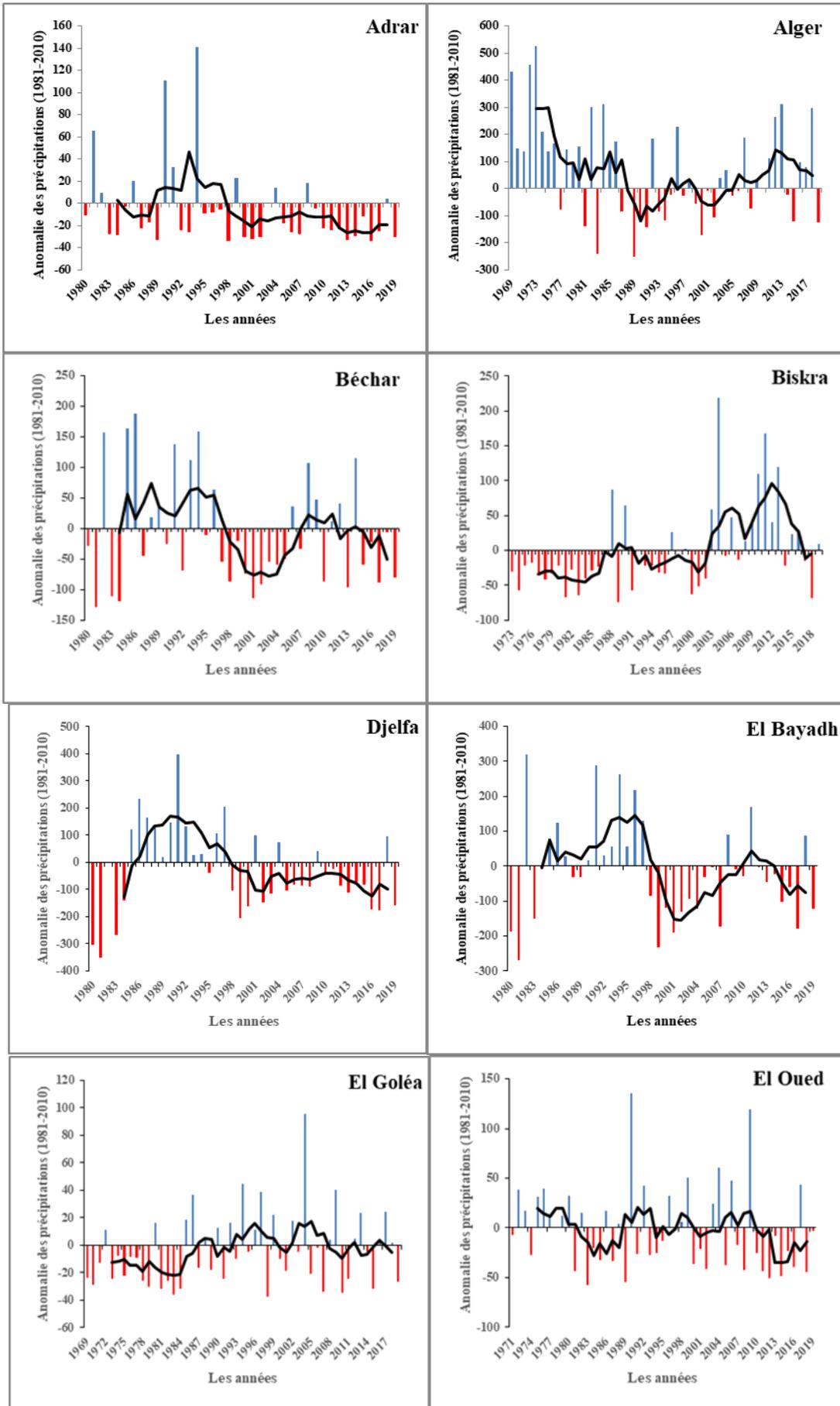
IV.2.2. Variation temporelles des précipitations

IV.2.2.1. Variation interannuelle des précipitations

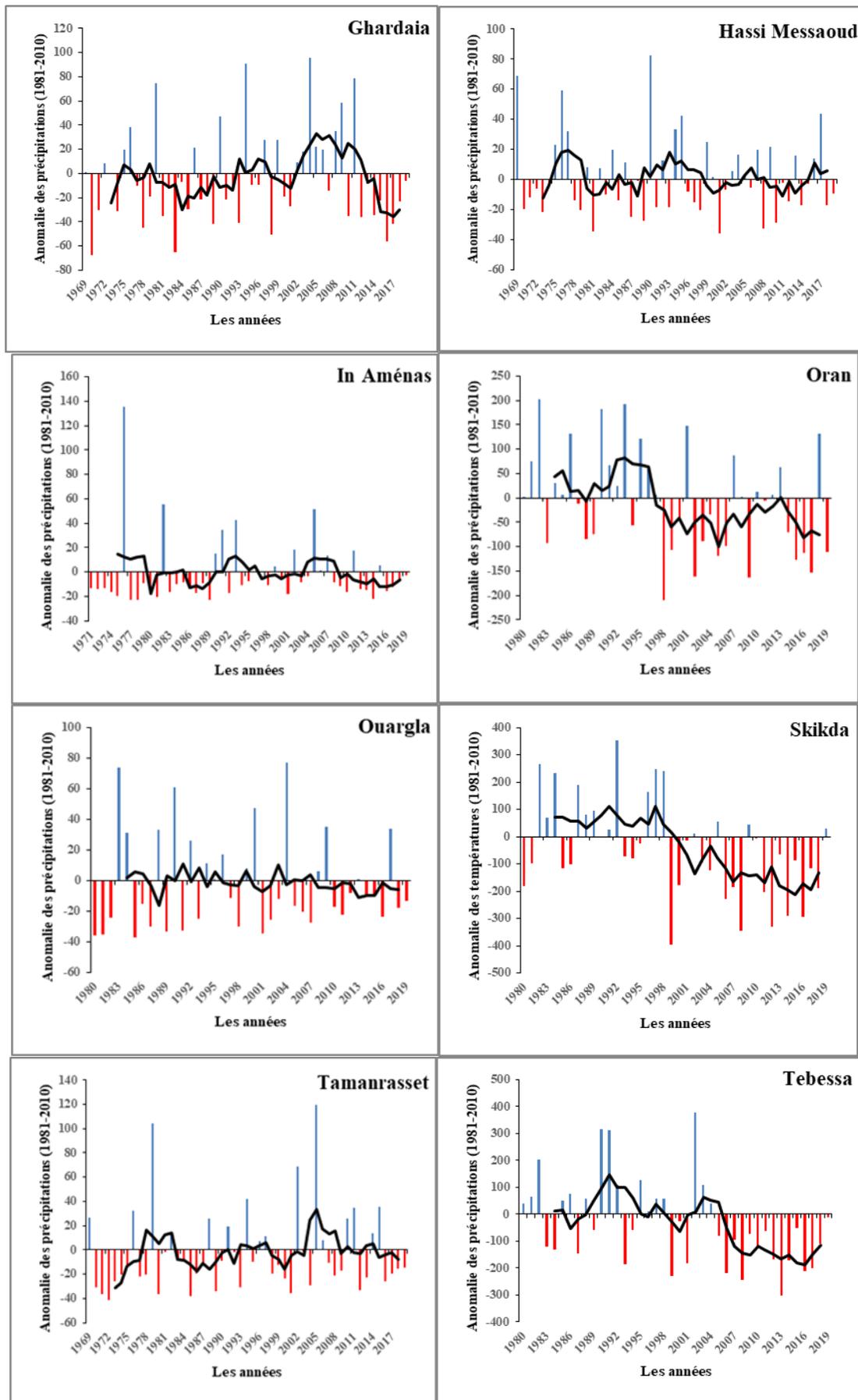
On peut facilement voir que les précipitations sont très variables d'année en année (Fig.4.2). L'analyse de séries pluviométriques de la région d'étude montre une irrégularité dans les régimes de précipitations annuelles. La variabilité interannuelle de la pluviométrie est caractérisée par une période sèche identifiée à partir de 1991 à 2000, précédé par quelques années humides. Cette période sèche est plus courte de région à région, finalement une succession d'années sèches reprend jusqu'à la fin de la série d'étude.

Les modifications observées sont une conséquence des changements climatiques, Il y a lieu de noter que ces tendances sont conformes à celle observées au niveau mondial. Ils traduisent une manifestation au niveau du territoire algérien du réchauffement global qui a démarré depuis des années ainsi que les perturbations dans le cycle des précipitations observée un peu partout dans le monde.

Chapitre IV : Impact du changement climatique sur les précipitations



Chapitre IV : Impact du changement climatique sur les précipitations



Chapitre IV : Impact du changement climatique sur les précipitations

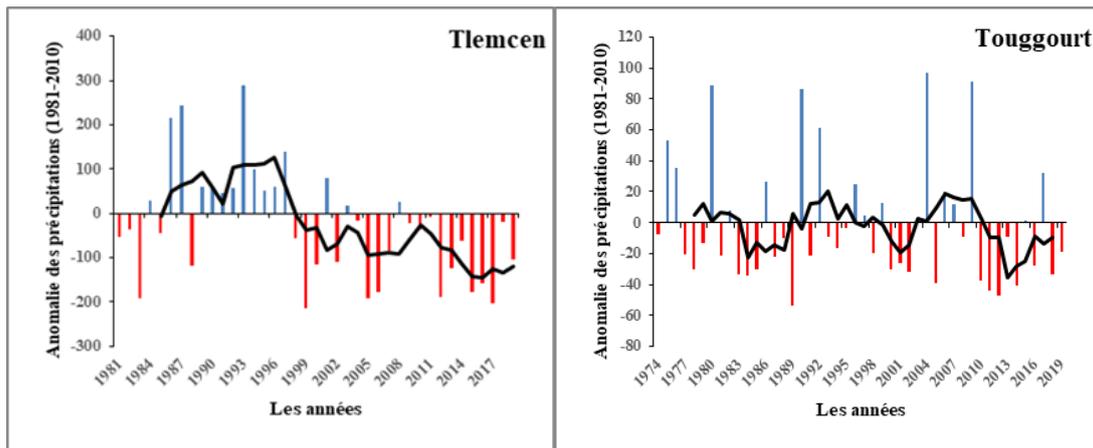


Fig.4.2. Anomalie des précipitations par rapport à la normale de référence (1981-2010) et moyenne mobile sur 05 ans

IV.2.2.2. Variation mensuelle des précipitations

D'après la figure 4.3, nous constatons que la répartition mensuelle des précipitations est caractérisée par une grande variabilité durant les douze mois de l'année. La période marquée de sécheresse reste bien définie dans le temps, elle se raréfie entre juin et août pour l'ensemble des stations.

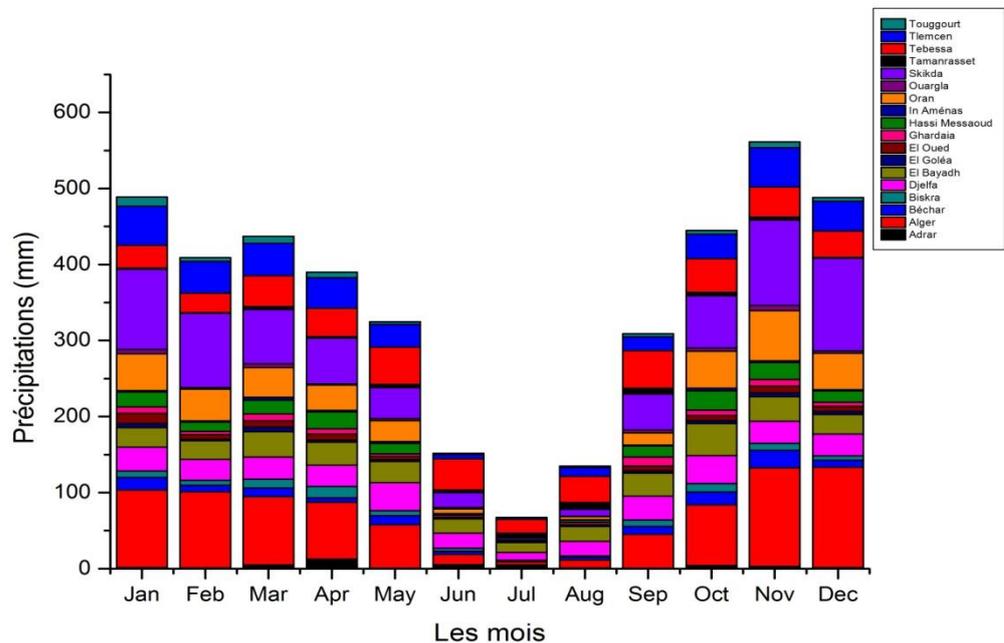


Fig.4.3. Variation mensuelle des précipitations sur la période (1981-2019)

L'évolution des précipitations moyennes mensuelles montre que le mois de Novembre est le plus humide avec 31,18 mm et le mois de Juillet est le plus sec avec 3,75 mm. Toutefois les mois de Janvier, décembre et Octobre présentent un maxima pluviométriques secondaires avec 27,16, 27,12 et 24,70 mm.

Chapitre IV : Impact du changement climatique sur les précipitations

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 [17].

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 :

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

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.

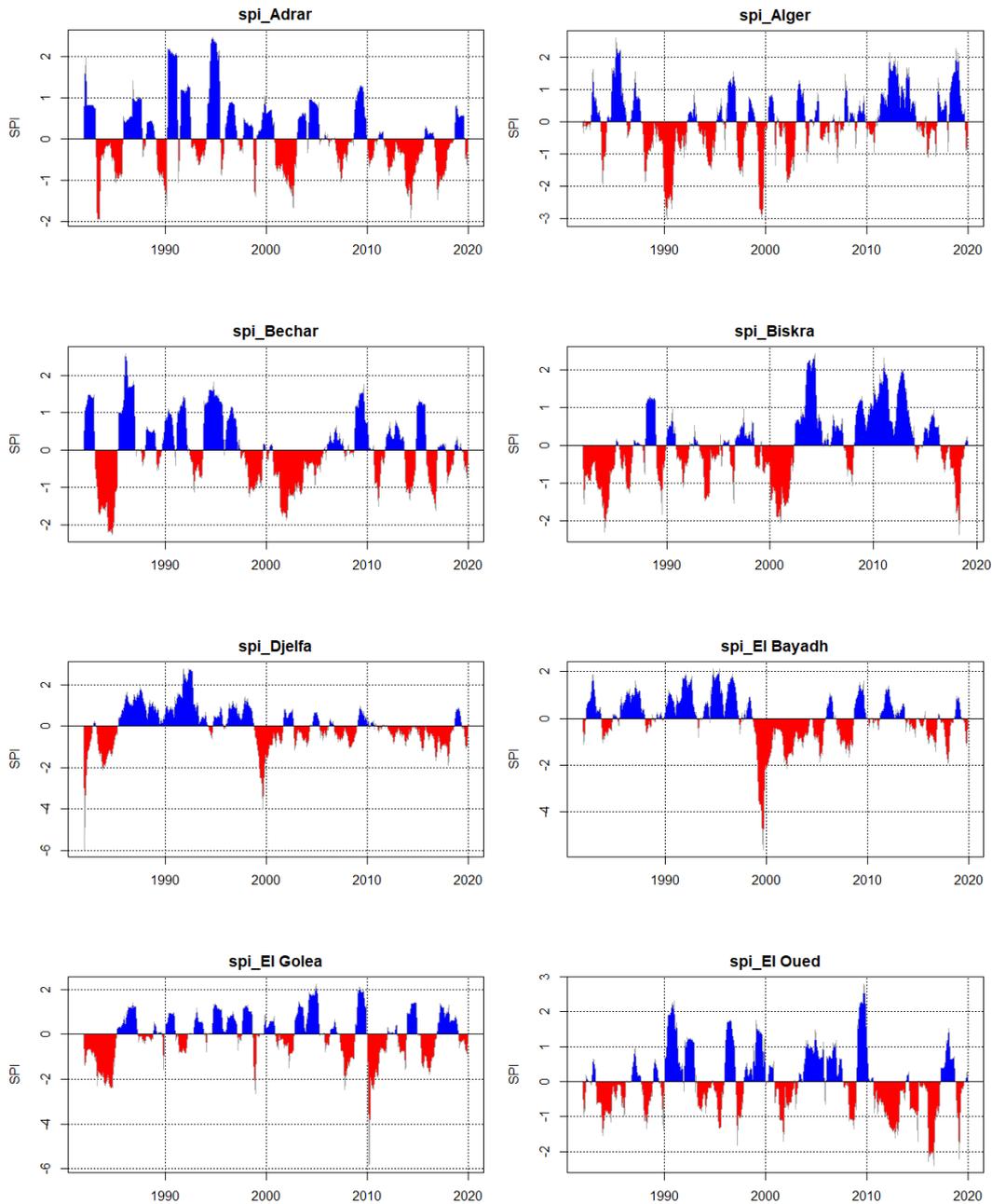
Tableau 4.1. Classement de la sévérité des sécheresses suivant SPI (McKee et al 1993)

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

Chapitre IV : Impact du changement climatique sur les précipitations

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.

Les résultats sont résumés dans les courbes ci-dessous :



Chapitre IV : Impact du changement climatique sur les précipitations

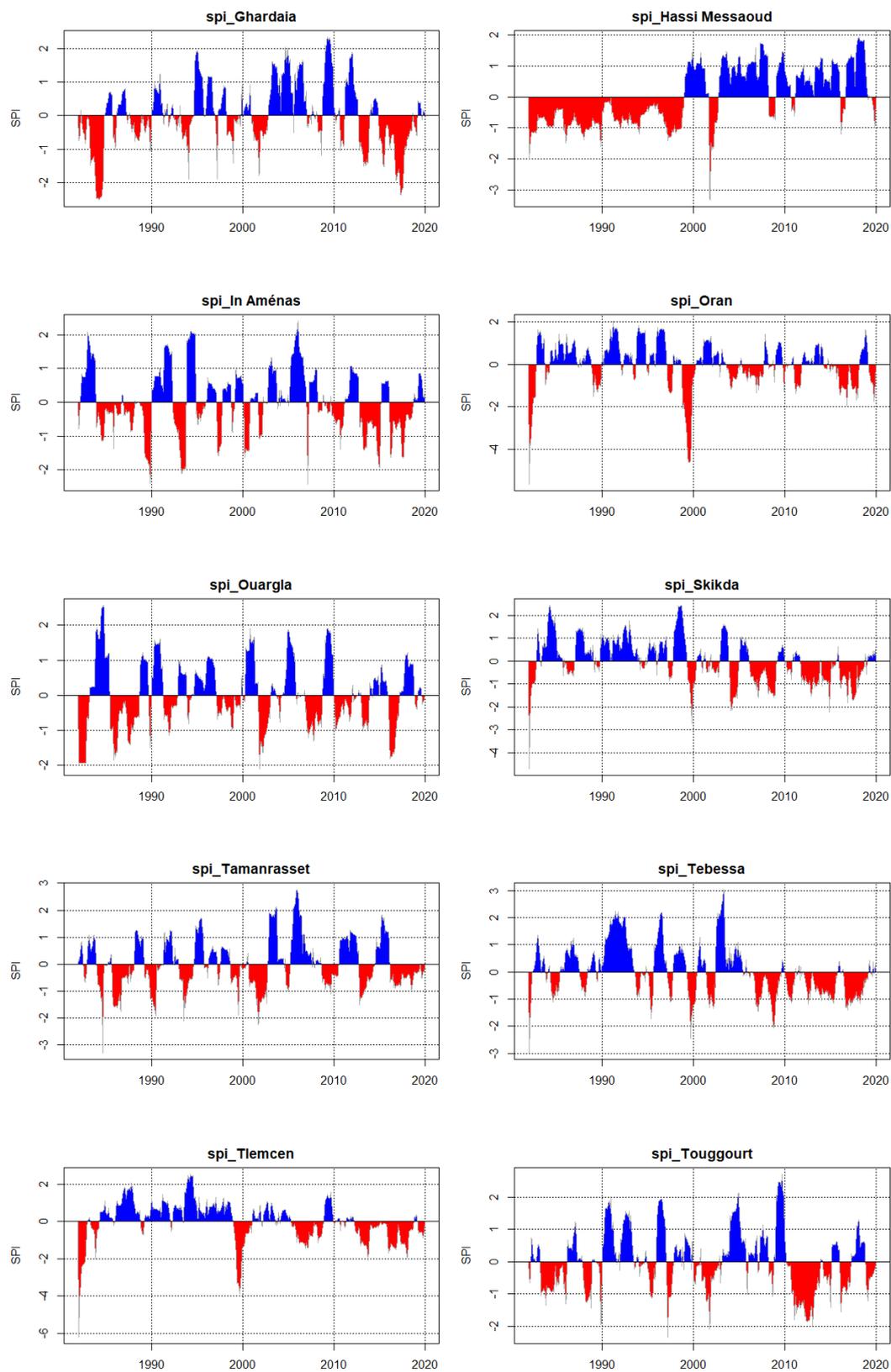


Fig.4.4. Variation de l'Indice Standardisé des précipitations moyennes annuelles (SPI)

Chapitre IV : Impact du changement climatique sur les précipitations

L'interprétation des courbes repose sur la classification des SPI (Fig.4.4). Un tableau récapitulatif du nombre d'années de chaque type de sécheresse est établi pour les différentes stations

Tableau 4.2. Répartition des valeurs du SPI

SPI Stations	Fréquence (Nombre d'années)						
	Extrêmement humide	Très humide	Modérément humide	Proche de la normale	Modérément sec	Très sec	Extrêmement sec
	2,0 et plus	de 1,5 à 1,99	de 1,0 à 1,49	de -0,99 à 0,99	de -1,0 à -1,49	de -1,5 à -1,99	-2,0 et moins
Adrar	2	1	2	29	2	3	0
Alger	0	4	4	25	4	0	2
Béchar	0	1	7	26	2	2	1
Biskra	1	2	2	27	3	3	1
Djelfa	1	1	5	25	5	2	0
El Bayadh	0	3	2	28	3	1	2
El Goléa	1	0	4	27	3	3	1
El Oued	2	0	5	26	4	2	0
Ghardaia	1	2	3	27	4	1	1
H Messaoud	0	2	6	24	5	2	0
In Aménas	2	2	3	28	1	1	2
Oran	0	0	2	36	0	0	1
Ouargla	0	4	4	24	5	2	0
Skikda	0	0	3	35	0	0	1
Tamanrasset	2	0	5	26	4	2	0
Tebessa	0	3	1	31	3	0	1
Tlemcen	1	2	2	25	7	2	0
Touggourt	3	1	1	28	4	1	1

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).

Chapitre IV : Impact du changement climatique sur les précipitations

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 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 : Alger, Oran, Skikda et Tlemcen, 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 associée à des épisodes dominés par une NAO négative (Fig.4.5)

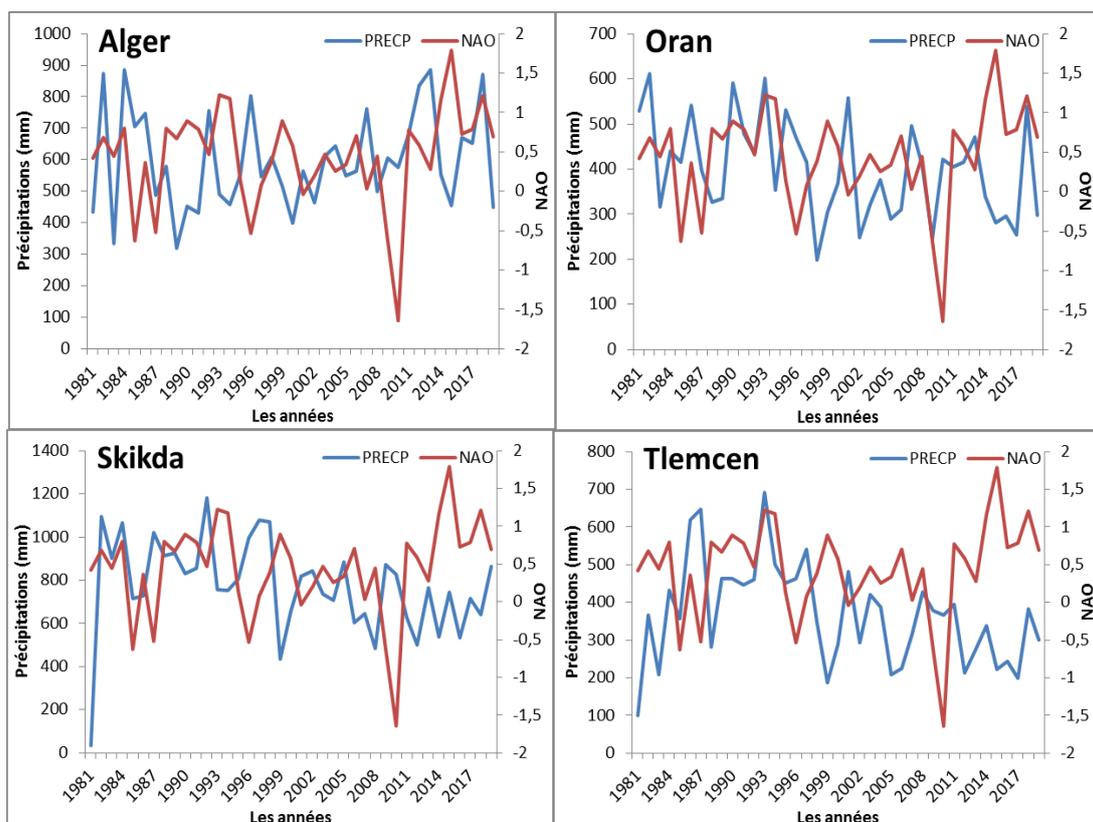


Fig.4.5. L'oscillation nord-atlantique (NAO) et les précipitations (1981-2018)

Chapitre IV : Impact du changement climatique sur les précipitations

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]

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/>

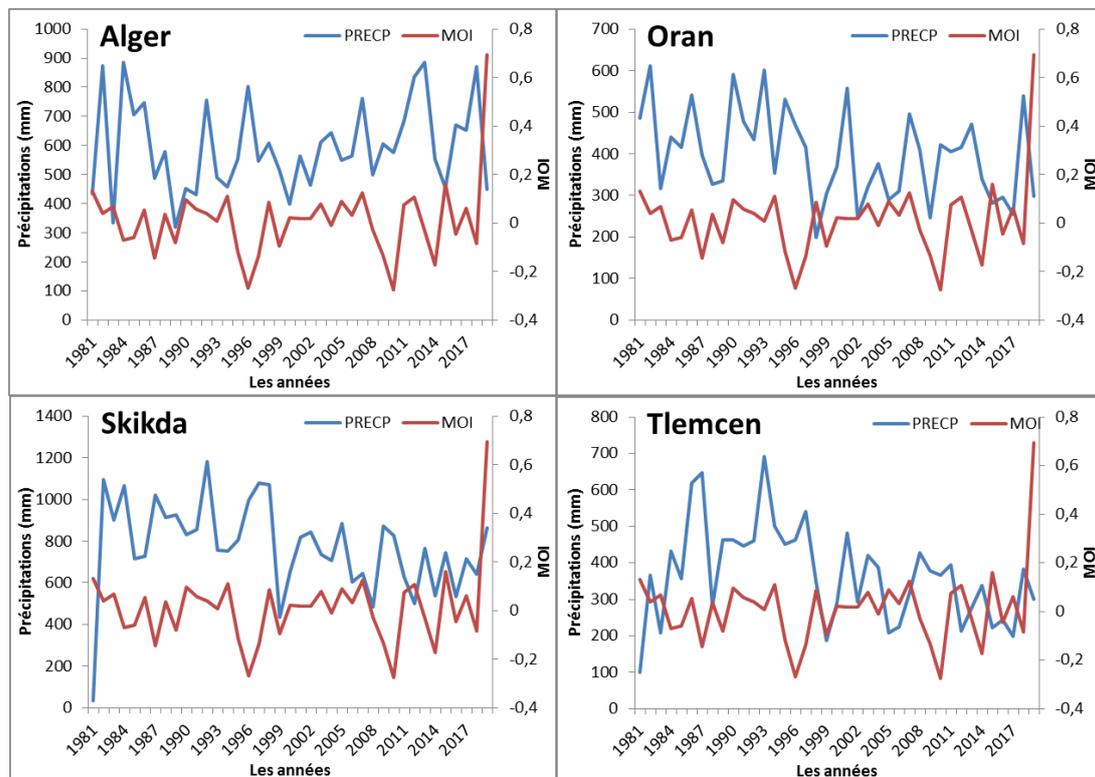


Fig.4.6. L'Oscillation Méditerranéenne (MO) et les précipitations (1981-2018)

L'Oscillation Méditerranéenne (MO) présente des corrélations négatives significatives avec les précipitations au niveau de quatre stations à savoir : Alger, Oran, Skikda et Tlemcen. Les valeurs de coefficient de corrélation sont de l'ordre de -0.72 à -0,86.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce modeste travail, nous avons fait un appel aux méthodes statistiques pour mettre en évidence l'impact du changement climatique en Algérie. Avant de commencer l'étude nous avons jugé qu'il est nécessaire de définir certain concept clé en relation avec le climat et le changement climatique. Selon le GIEC, qui est la principale source d'information de qualité sur l'évolution du climat, le changement climatique est défini comme étant une variation statistiquement significative de l'état moyen du climat. Cette variation du climat peut être due à processus internes naturelles ou des forçages externes (effet de serre, la variation des paramètres astronomique et l'activité volcanique) ou encore à des causes anthropiques liées à l'activité humaine qui se traduise par le rejet des GES.

La tendance à la diminution des précipitations et à l'augmentation de la température, font partie des extrêmes climatiques les plus préoccupants au regard de la vulnérabilité de nos sociétés et de l'évolution attendue de leur fréquence et leur intensité au 21^{ème} siècle [Rapport du GIEC, 2013]. Au cours des dernières années, ces évènements se sont multipliés dans les différentes régions du monde et leur lien avec le réchauffement climatique global a été démontré.

L'augmentation de la température de l'air est un des signes les plus visibles du changement climatique, en particulier durant ces dernières décennies. Il existe maintenant de nombreuses preuves que les émissions de gaz à effets de serre d'origine anthropique sont responsables de l'élévation rapide de la température moyenne au cours des dernières décennies.

Pour aller plus loin des observations et des données ont été recueilli sur des phénomènes naturels qui commençaient à présenter des risques majeurs pour la société et l'humanité. Si on parle de sécheresse et des inondations, de la fonte accélérée des neiges ceci permet de se mettre d'accord sur l'existence du changement climatique.

Les problèmes d'homogénéité et de données mensuelles manquantes ont été traités au moyen de méthodes statistiques spécifiques aux séries utilisées dans l'étude des changements climatiques.

Nous avons d'abord analysé l'homogénéité et la tendance des séries d'observations, à l'échelle annuelle en utilisant le test Pettitt et de Mann-Kendall respectivement.

Conclusion générale

Les moyennes annuelles de températures ont été calculées pour chaque station et pour les deux variables étudiées, les Tn et Tx. La tendance globale est la même pour toutes les stations c'est-à-dire que malgré la différence de température absolue entre les stations, leurs variations semblent assez bien corrélées. Le plus faible coefficient de corrélation étant supérieur à 0,80. Les séries considérées comme cohérentes entre elles, vont pouvoir être comparées entre elles par la suite. En termes de valeur absolue la différence de températures entre les stations est très importante. Ceci est dû au fait que des stations sont situées dans le Nord, d'autres dans le Sud. Malgré tout, leurs variations sont sensiblement les mêmes. Par exemple, une année chaude dans le Nord sera chaude aussi pour le Sud.

L'indice de précipitation standardisé (SPI) a mis en évidence les fluctuations des régimes pluviométriques en relevant les périodes humides et sèches.

Dans une dernière étape nous avons étudié la corrélation existant entre les précipitations au Nord d'Algérie et les indices d'Oscillation Nord-Atlantique (NAO) et d'Oscillation Méditerranéenne (MO) pour explorer l'influence du forçage atmosphérique à grande échelle sur la variabilité pluviométrique au Nord d'Algérie.

Nous avons trouvé une corrélation meilleure avec la MO qu'avec la NAO. Les résultats ont montré 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 et vice versa.

Enfin on peut conclure que les résultats de cette étude ont indiqué la présence d'une significativité (au sens statistique du terme) d'une tendance à la hausse de la température avec une augmentation de 0,7°C, et ont également apprécié l'ampleur des changements climatiques survenus au cours de la période récente (2001-2019). La variabilité des précipitations et leurs irrégularités indiquent l'absence de cycles pluvieux. L'indice standardisé des précipitations (SPI) montre que toutes les stations de la zone d'étude ont une tendance à s'aridifier.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] **A.I.GRAUX**, 2011 « Modélisation des impacts du changement climatique sur les écosystèmes prairiaux » Thèse Doctorat spécialité : Ecologie.
- [2] **A. KHALDI**, 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.
- [3] **A.K.FARAH**, 2014 « Changement climatique ou variabilité climatique dans l'Est algérien » Thèse Magistère en écologie et environnement, Université Constantine 1
- [4] Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), 2020
- [5] Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (cea), 2013, Le climat, collection 15.
- [6] **Conte, M., Giuffrida, A., and Tedesco, S.**, 1989. "The Mediterranean Oscillation. Impact on precipitation and hydrology in Italy " Climate Water. Publications of the Academy of Finland, Helsinki.
- [7] **Gausse H.** (1948). Carte des précipitations de l'Algérie (moyenne 1918-47), I.G.N., Paris.
- [8] Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, GIEC ,1990, 1^{er} Rapport. FAR (First Assessment Report).
- [9] Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, GIEC, 2007, 4^{ième} Rapport. AR4 (4th Assessment Report).
- [10] Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2013 Rapport d'évaluation du climat.
- [11] Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2020 Rapport d'évaluation du climat.
- [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] **M.A. BENYETTOU et A. BOUKLIKHA**, 2017 « Variations et tendances des températures et des précipitations journalières en Algérie » Thèse Master en Hydraulique, Université Aboubeker BELKAID Tlemcen.
- [14] **M.Claussen, V.Brovkin, A.Ganopolski**, 2003. « Climate change in northern Africa: The past is not the future". Climatic Change 57 (1-2), 99-118.)

Références bibliographiques

- [15] **Morgane Colombert**, 2008 « Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville » Thèse doctorat Spécialité : Génie urbain, de l'université Paris-Est.
- [16] **M. PLAZZOTTA**, 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] Organisation Météorologique Mondiale, OMM, 2012 « Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé », OMM-N° 1090.
- [18] **Seltzer P.** (1946). Le climat de l'Algérie. Travaux de l'Institut de Météorologie et de Physique du Globe de l'Algérie (IMPGA).
- [19] **S TABET**, 2008 « Le changement climatique en Algérie orientale et ses conséquences sur la végétation forestière » Thèse Magistère en Ecologie végétale Université MENTOURI Constantine.
- [20] Synthèse des liens, N° 2, Décembre 2016, Changement climatique & Environnement, Le phénomène El Niño et ses impacts associés
- [21] **UNESCO et PNUE**, 2015 « Guide sur le changement climatique et les modes de vie » Paris, France.
- [22] **Z. NOUACEUR, B. LAIGNEL et I. TURKI**, 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

Sites web :

- [23] <http://www.meteofrance.fr/>, dernière consultation, le 28/03/2020.
- [24] <http://www.universalis.fr/encyclopedie/climats-notions-de-base/>, dernière consultation, le 04/04/2020.
- [25] www.climats.com, dernière consultation, le 05/04/2020.
- [26] <https://www.climat.be/fr-be/changements-climatiques/en-quelques-mots/le-climat>, dernière consultation, le 10/04/2020.
- [27] <https://www.ncdc.noaa.gov/>, dernière consultation, le 02/05/2020.
- [28] <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/nao/>, dernière consultation, le 12/06/2020.
- [29] <https://ncceh.ca/documents/practice-scenario/carbon-dioxide-indoor-air>, dernière consultation, le 15/05/2020.



ANNEXES

Annexe I

Normales climatiques 1981-2010 en Algérie

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	Ouargla	15,92	30,14	23,11	40,42
02	Touggourt	15,28	28,82	22,05	65,00
03	Hassi Messaoud	16,35	30,27	23,31	163,26
04	El Oued	15,75	28,82	22,29	73,40
05	Ghardaia	15,95	28,07	22,01	75,86
06	El Goléa	14,49	29,62	22,05	38,83
07	In Aménas	14,82	30,12	22,47	23,29
08	Alger	12,50	23,84	18,17	573,68
09	Oran	13,00	23,57	18,29	393,38
10	El Bayadh	9,52	21,33	15,42	337,76
11	Skikda	15,08	22,31	18,69	807,61
12	Tamanrasset	15,21	29,09	22,18	51,47
13	Biskra	15,89	28,58	22,24	85,31
14	Adrar	17,17	33,39	25,28	34,25
15	Béchar	15,12	27,79	21,45	129,36
16	Tebessa	9,76	22,57	16,16	469,93
17	Telemcen	12,19	24,15	18,17	390,62
18	Djelfa	8,91	20,81	14,84	353,15

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	Ouargla	0.002	0.005	0.380	0.003	0.001	0.363
02	Touggourt	0.004	0.001	0.394	0.009	0.001	0.288
03	Hassi Messaoud	0.002	0.001	0.002	0.005	0.003	0.004
04	El Oued	0.009	0.004	0.440	0.001	0.002	0.114
05	Ghardaia	0.009	0.003	0.642	0.006	0.002	0.745
06	El Goléa	0.003	0.001	0.068	0.009	0.003	0.164
07	In Aménas	0.004	0.008	0.475	0.003	0.006	0.199
08	Alger	0.007	0.129	0.036	0.006	0.035	0.162
09	Oran	0.002	0.004	0.269	0.002	0.001	0.278
10	El Bayadh	0.025	0.235	0.063	0.027	0.435	0.345
11	Skikda	0.004	0.001	0.019	0.008	0.001	0.027
12	Tamanrasset	0.004	0.008	0.475	0.003	0.006	0.199
13	Biskra	0.001	0.008	0.007	0.013	0.001	0.002
14	Adrar	0.292	0.018	0.192	0.029	0.043	0.063
15	Béchar	0.121	0.002	0.416	0.100	0.009	0.462
16	Tebessa	0.011	0.001	0.066	0.069	0.001	0.126
17	Telemcen	0.070	0.011	0.019	0.028	0.002	0.026
18	Djelfa	0.055	0.436	0.073	0.003	0.363	0.165

Annexe III

Les données mensuelles de la NAO (Oscillation du Nord Atlantique) sur la période (1981-2018)

	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

Annexe IV

Les données mensuelles de la MO (Oscillation méditerranéenne) sur la période (1981-2018)

	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

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تسليط الضوء على تأثير التغيرات المناخية على درجات الحرارة والأمطار ، والذي يتجلى بشكل رئيسي في زيادة درجة حرارة الهواء وتقلبات في كميات الأمطار المتساقطة وعدم انتظامها على مستوى منطقة الدراسة. للوصول إلى هذا الهدف ، استخدمنا بيانات مناخية مختلفة مسجلة على مستوى 18 محطة موزعة على انحاء الوطن والتي تمتد حتى 51 عامًا (1969-2019).

قمنا أولاً بتحليل التجانس واتجاه سلسلة المعطيات ، باستخدام اختبار بوتتي (Pettitt) و اختبار مان كندل (Kendall Mann). أشارت نتائج هذه الدراسة إلى وجود أهمية (بالمعنى الإحصائي للمصطلح) لاتجاه صعودي في درجة الحرارة بزيادة قدرها 0.7 درجة مئوية ، كما تم تقدير مدى التغيرات المناخية التي حدثت خلال الفترة الأخيرة (2001 - 2019). تشير تقلبات كمية الأمطار وعدم انتظامها إلى عدم وجود دورات ممطرة. يوضح المؤشر القياسي للأمطار (SPI) أن جميع المحطات في منطقة الدراسة تميل إلى الجفاف.

الكلمات المفتاحية : التغيرات المناخية - درجات الحرارة - الأمطار - المؤشر القياسي للأمطار (SPI).

Résumé

Cette étude vise à mettre en évidence l'impact du changement climatique sur les températures et les précipitations, et qui se manifeste principalement par une augmentation de la température de l'air et une variabilité dans la quantité des précipitations et leurs irrégularités au niveau de la zone étudiée. Pour atteindre cet objectif, nous avons employé diverses données climatiques relevées au niveau de 18 stations météorologiques réparties sur le territoire national et qui s'étendent jusqu'à 51 ans (1969-2019). Nous avons d'abord analysé l'homogénéité et la tendance des séries d'observations, en utilisant le test de Pettitt et le test de Mann-Kendall respectivement.

Les résultats de cette étude ont indiqué la présente une significativité (au sens statistique du terme) d'une tendance à la hausse de la température avec une augmentation de 0,7°C, et ont également apprécié l'ampleur des changements climatiques survenus au cours de la période récente (2001-2019). La variabilité des précipitations et leurs irrégularités indiquent l'absence de cycles pluvieux. L'indice standardisé des précipitations (SPI) montre que toutes les stations de la zone d'étude ont une tendance à s'aridifier.

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

Abstract

This study aims to highlight the impact of climate change on temperatures and precipitation, and which manifests mainly by an increase in air temperature and variability in the amount of precipitation and its irregularities in the level of the study area. To reach this aim, we used various climatic data recorded at the level of 18 weather stations distributed on the national territory and which extends up to 51 years (1969-2019).

We first analyzed the homogeneity and the trend of the series of observations, using the Pettitt test and the Mann-Kendall test respectively.

The results of this study indicated presence significance (in the statistical sense of the term) of an upward trend in temperature with an increase of 0.7 ° C, and also appreciated the magnitude of the climate changes that have occurred during the recent period (2001-2019). The variability of precipitation and its irregularities indicate the absence of rainy cycles. The Standardized Precipitation Index (SPI) shows that all the stations in the study area tend to dry up.

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