

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE
DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université d'Oran 2

Faculté des Sciences de la Terre et de L'univers

Département de Géographie et Aménagement du Territoire

Spécialité : Hydrologie Climatologie et Territoire

**LE RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE EN ALGERIE.
SON IMPACT, CAUSES ET CONSEQUENCES SUR LA REGION D'ORAN**

Présentée par :

Ghizlaine Ryham Khadidja SAFA

Devant le jury composé de :

Dr Sayah **MENHOUDJ**

Université Oran 2,

Président

Dr Amel **BAKHTI**,

Université Oran 2

Examineur

Pr Aissa **SAFA**,

Université Oran 2

Encadrant

Année 2022 -2023

PREAMBULE

Les variations climatiques sont des éléments clés dans l'histoire de la Terre depuis sa formation. L'évolution des espèces et l'extinction de certaines ont été en partie guidées par l'équilibre et les déséquilibres que le système climatique a pu subir. Ce système consiste en un ensemble de composantes interagissant entre elles : l'atmosphère, l'hydrosphère, la cryosphère, la biosphère et la lithosphère. Le rayonnement solaire en est la source d'énergie. À tout moment, la quantité de rayonnement qu'elle reçoit, absorbé et renvoyé est contrôlée par plusieurs facteurs perturbant son équilibre énergétique et définissant les changements du climat, comme la composition atmosphérique ou l'état de la surface terrestre. Ces derniers temps, on accorde plus d'attention au changement climatique ainsi que son impact sur les aspects socioéconomiques et environnementaux. Les causes anthropiques de l'augmentation de la concentration atmosphérique du gaz à effet de serre [le Dioxyde de carbone (CO₂), le Méthane (CH₄), le Protoxyde d'azote (N₂O)], sont liées au changement climatique. Les scientifiques de tout bord ont prouvé que la fréquence et l'intensité de certains phénomènes et événements météorologiques extrêmes changeront d'ici 2050. Avec les sécheresses et de l'élévation du niveau de la mer, la plupart des régions vont connaître des températures plus élevées, des vagues de chaleur plus fréquentes et des précipitations plus importantes. Les extrêmes chauds de température vont très probablement se multiplier par rapport à la distribution de la température actuelle (*GIEC, 2012*).

Le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC), est un organe des Nations Unies chargé d'évaluer les travaux scientifiques consacrés aux changements climatiques. Créé en 1988 par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) pour permettre aux décideurs des évaluations régulières du fondement scientifique de l'évolution du climat, des incidences et des risques associés et des possibilités d'adaptation et d'atténuation.

Le GIEC n'est pas un organisme recherches, il détermine les éléments sur lesquels la communauté scientifique s'accorde, ceux à propos desquels les opinions divergent et ceux qui nécessitent de plus amples recherches. C'est une source crédible pour les décideurs (il s'agit d'un partenariat entre scientifiques et décideurs).

CHAPITRE I : L'EVOLUTION DU CLIMAT ET SES CONSEQUENCES

Le GIEC établit ses évaluations en conformité aux principes d'objectivité, de clarté et de transparence. Les rapports du GIEC facilitent l'élaboration des politiques sans pour autant préconiser des mesures précises. Depuis sa création, le GIEC a établi plusieurs rapports d'évaluation exhaustifs, ainsi que des rapports méthodologiques, regroupant des directives pratiques pour aider les Parties à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) à établir les inventaires requis sur les gaz à effet de serre [IPCC, 2013 Rapport d'évaluation du climat].

A l'exemple de tous les pays d'Afrique, les conséquences d'un temps extrême ou qui n'est pas de saison touchent aussi l'Algérie. De par son climat aride et semi-aride, la région est concernée par les changements climatiques. Lors de ces dernières années, un accroissement d'événements dus au temps extrême a été observé. Parmi ces phénomènes enregistrés et confirmés par des études climatologiques de la météorologie nationale témoignent de ce changement, on relève un accroissement de la fréquence des pluies torrentielles, qui ont entraîné des inondations à l'exemple de Ghardaïa 2008 (65 mm en 12 heures). Dans un avenir très proche, au sud du pays : les chutes de pluie quotidiennes dépasseront sans doute la moyenne annuelle normale. Autres phénomènes extrêmes qui se sont produits : cyclogenèse, sécheresse, vague de chaleur et tempêtes de sable.

Dans ce mémoire, l'objectif de l'étude est de quantifier et d'analyser les variations climatiques en Algérie (région d'Oran) pour essayer d'expliquer la problématique liée aux phénomènes météorologiques extrêmes (sécheresse, vagues de chaleurs, inondations...).

Pour caractériser l'évolution des phénomènes météorologiques, quatre variables climatiques sont prises en compte : la température minimale, maximale, moyenne et les précipitations. Les données proviennent de stations météorologiques, réparties d'une façon homogène sur l'ensemble du territoire national. Le pas de temps mensuel des séries de données permet d'améliorer l'approche temporelle.

La planète est constituée par l'océan, l'atmosphère, les glaciers, la biosphère et la température qui interagissent entre eux à travers des processus physiques et chimiques variés. Le climat dépend des conditions moyennes de température, de vent et de précipitations existantes à un moment donné. Le climat terrestre a, de tout temps, été sujet à des variations naturelles. Ainsi, les deux derniers millions d'années ont vu plusieurs glaciations. Mais l'homme, depuis quelques décennies, modifie cet équilibre fragile en provoquant un réchauffement planétaire rapide sans précédent. Ce chapitre va permettre de mieux comprendre l'impact de ce réel bouleversement, et de tenter d'expliquer les phénomènes qui définissent les climats, les facteurs qui les guident ainsi que leur répartition à la surface du globe.

I. Le climat

Le terme climat vient du mot grec « klima » qui signifie inclinaison : on constate que la chaleur dépend de l'inclinaison des rayons solaires par rapport au sol. Ce qui explique 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 [[http : //algerian embassy.com.tr/EN,22/presentation-of-algeria.html](http://algerianembassy.com.tr/EN,22/presentation-of-algeria.html)].

Selon le GIEC, le climat désigne généralement le "temps moyen" ; c'est une description statistique du temps en termes de moyennes et la variabilité de cette grandeur sur des périodes de plusieurs années (plus de 30 ans en principe, d'après l'Organisation météorologique mondiale (OMM)). Le climat est influencé par beaucoup de paramètres : la circulation atmosphérique, la circulation océanique, le relief et l'énergie solaire reçue par la surface terrestre.

1.2. Le système climatique

Le système climatique est formé de cinq composantes principales [UNESCO et PNUE, 2015].

- a/. L'atmosphère ;
- b/. L'hydrosphère (océans, rivières, lacs, eaux souterraines.) ;
- c/. La cryosphère (neige, glaciers, banquise.) ;
- d/. Lithosphère (les surfaces continentales) ;
- e/. La biosphère (êtres vivants).

par des processus internes naturels, des forçages externes, des changements anthropiques persistants de la composition de l'atmosphère.

Augmentation des phénomènes climatiques extrêmes (tempêtes, sécheresses, précipitations abondantes...). Instabilité des saisons, ce qui a, entre autres, des conséquences sur l'agriculture, la faune et la flore et engendre des risques pour la santé publique.

T° moyenne mondiale
(Moyenne sur 60 mois)

Augmentation de la T° depuis
la révolution industrielle

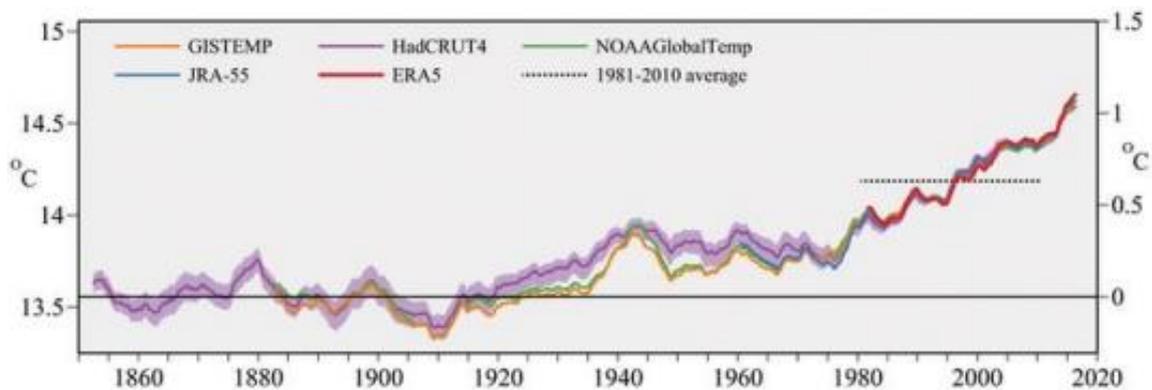


Figure 2 : Évolution des températures moyennes mondiales

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. [UNESCO et PNUE, 2015].

1.3.1. Les causes du changement climatique à l'échelle du globe

Les éruptions volcaniques qui sont des phénomènes naturels 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) [KHALDI. A, 2005, Université d'Oran].

Les effets du changement climatique ? Les principales conséquences sont la diminution de la disponibilité en eau et des rendements des cultures, l'augmentation

des risques de sécheresses et de perte de biodiversité, les incendies de forêt et les vagues de chaleur.

1.3.1.1. Les causes naturelles

Une cause directe de variation climatique, s'explique par la variabilité de l'émission solaire. Au moment où naissait le système planétaire (il y'a quatre milliards d'années et demi), l'énergie émise par le soleil était environ les 3/4 de sa valeur [KHALDI. A, 2005, *Université d'Oran*]. En plus de ce facteur astronomique précité, le climat d'un lieu, 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 Nina (ENSO), et l'Oscillation Nord-Atlantique (NAO).

El Niño / ENSO

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

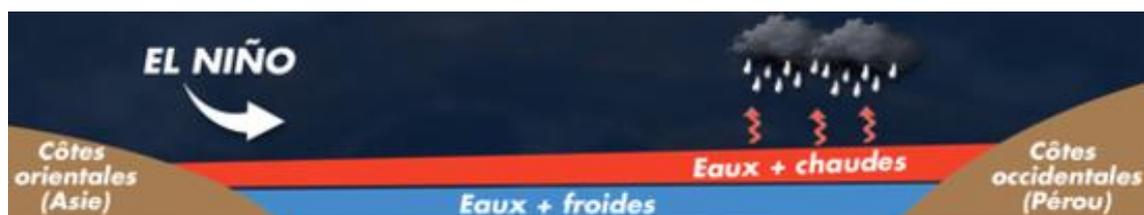


Figure 3 : Schéma explicatif du phénomène d'El Nino



Figure 4 : Schéma explicatif du phénomène la Niña

Oscillation Nord-Atlantique (NAO)

L'oscillation nord-atlantique (North Atlantic Oscillation en anglais), 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 [NOUACEUR. Z, LAIGNEL. B et TURKI. I, 2013, *Géophysique et environnement Vol 7 p 307-323*].

Les modes positifs et négatifs de l'Oscillation nord-atlantique (NAO) :

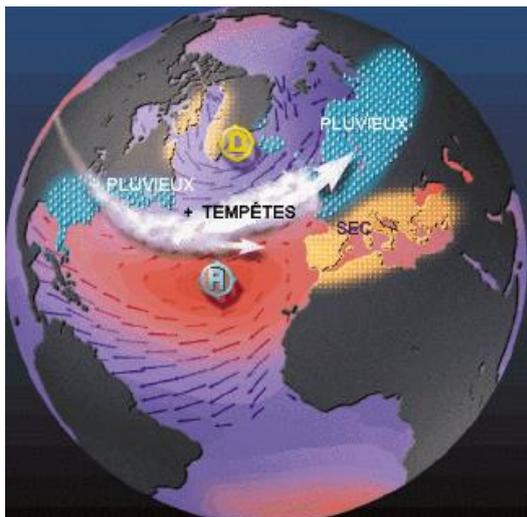


Figure 5 : Oscillation nord-atlantique négative

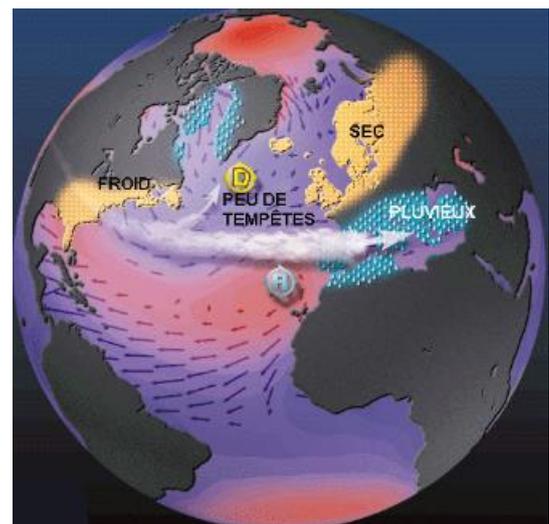


Figure 6: Oscillation nord-atlantique positive

La circulation thermohaline

La circulation thermohaline : c'est la circulation permanente et à grande échelle de l'eau des océans, engendrée par des écarts de température et de salinité des masses d'eau. La salinité et la température ont en effet un impact sur la densité de l'eau de mer. Les eaux refroidies et salées plongent au niveau des hautes latitudes et descendent vers le sud, à des profondeurs comprises entre 1 et 3 km. Elles sont alors réchauffées sous les tropiques, et remontent à la surface, où elles se refroidissent à nouveau, et ainsi de suite. [<https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/rechauffementclimatique-changement-climatique-modifie-t-il-circulation-oceanique-1106/>].

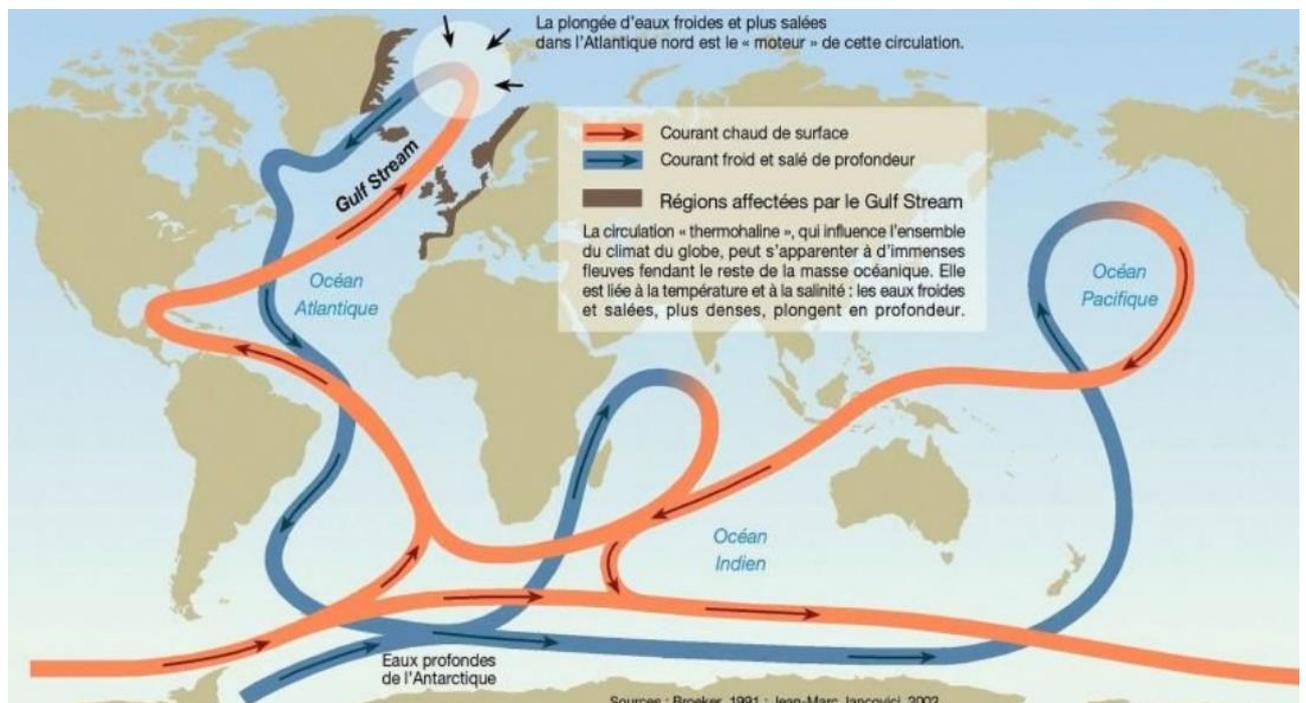


Figure 7 : Carte de la circulation thermohaline

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

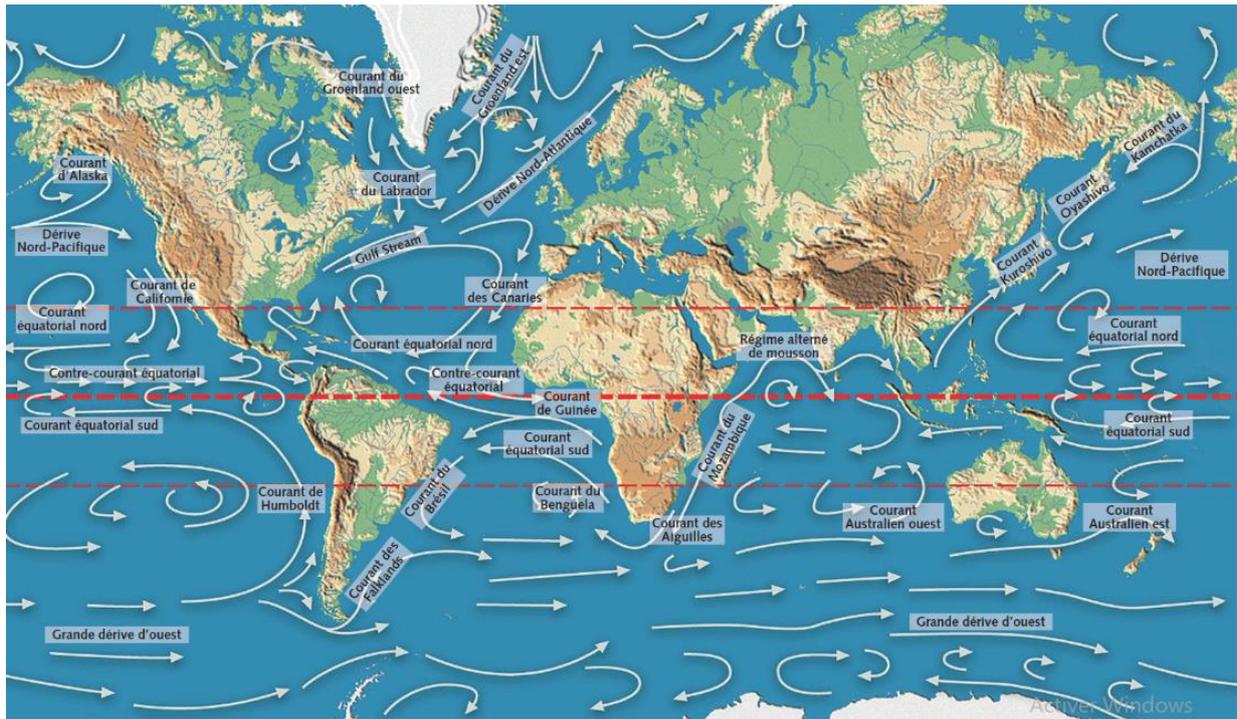


Figure 8 : Diversité des courants océaniques répertoriés autour de la circulation thermohaline

Les éruptions volcaniques

Les éruptions volcaniques les plus importantes ont été suivies d'un refroidissement de quelques années. Ceci est dû à la grande quantité de dioxyde de soufre (SO_2) et de cendre éjectés par ces éruptions volcaniques. Une bonne partie de la poussière et des particules montent jusqu'à la stratosphère, à 20 km d'altitude et même parfois à plus de 50 km. A ces altitudes, les vents sont forts et le gaz peut faire souvent plusieurs fois le tour de la planète. Comme la stratosphère est stable et les mouvements verticaux réduits, les gaz éjectés peuvent y rester pendant plusieurs années. En effet selon plusieurs spécialistes, le climat à l'ère quaternaire des glaciers serait expliqué par une épaisse couche d'aérosols et de poussière qui a enveloppé le globe. *[<http://la.climatologie.free.fr/volcan/effetvolcan.htm>, dernière consultation, le 13/06/2021].*

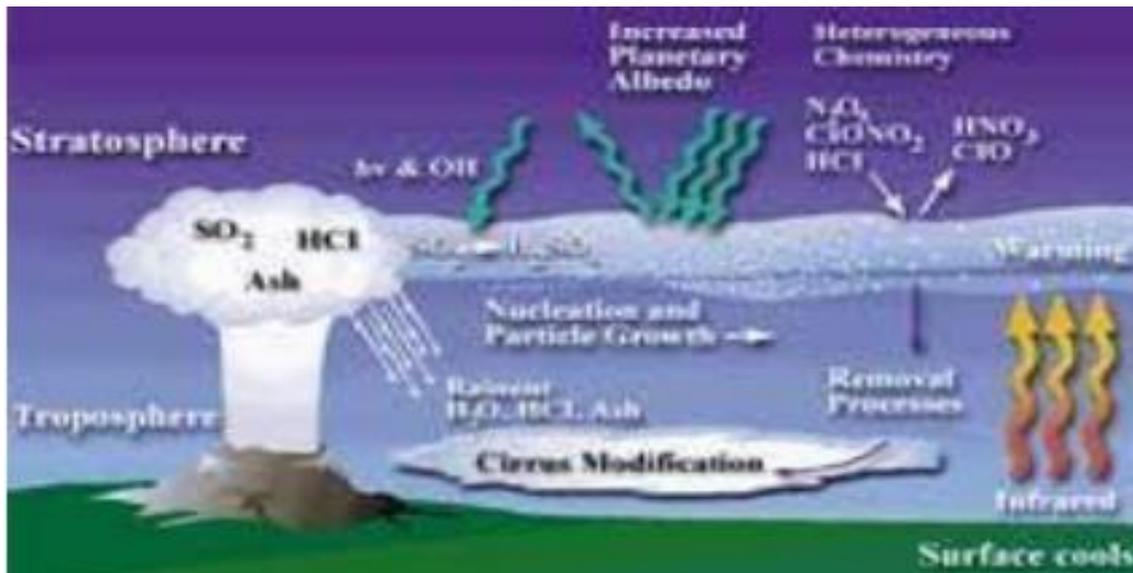


Figure 9 : L'effet des éruptions volcaniques
[\[http://la.climatologie.free.fr/volcan/effetvolcan.htm\]](http://la.climatologie.free.fr/volcan/effetvolcan.htm).

I.3.1.2. Les causes anthropiques

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 [PLAZZOTTA. M, 2018 Université de Toulouse].

I. 4. L'effet de serre

Une partie de l'énergie en provenance du soleil est absorbée par l'atmosphère, les sols et l'océan représentant les 2/3 ; Une autre partie est directement réfléchiée vers l'espace par les nuages, les aérosols, l'atmosphère et la surface terrestre qui représente le 1/3. L'atmosphère et la 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 la particularité d'être pratiquement transparents au rayonnement solaire et opaque au rayonnement infrarouge émis par la terre : l'énergie est piégée. Ce phénomène est appelé : effet de serre par analogie avec la serre utilisée en agriculture. 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 [GIEC, 2007, 4^{ème} Rapport. AR4 (4th Assessment Report)].



Figure 10 : L'effet de serre naturel

[<https://kidiscience.cafe-sciences.org/articles/le-rechauffement-climatique-cestquoi/>]



Figure 11 : Sans effet de serre

[<https://kidiscience.cafe-sciences.org/articles/le-rechauffement-climatique-cestquoi/>]

C'est un phénomène naturel causé par les échanges d'énergie entre le soleil et la Terre permettant de retenir, dans l'atmosphère de la Terre, une partie de la chaleur émise par le Soleil. En retenant la chaleur dans l'atmosphère, l'effet de serre réduit les écarts de température entre le jour et la nuit, de sorte que la température moyenne à la surface de la Terre est d'environ 15°C . Sans cet effet naturel, la température moyenne à la surface de la Terre serait de -18°C . Dans ces conditions, l'eau serait majoritairement sous forme solide, ce qui la rendrait difficilement accessible et ce qui empêcherait le développement de la vie sur Terre.

Le rayonnement infrarouge émis par le soleil est absorbé par l'atmosphère, et en particulier par les gaz à effet de serre qui y sont présents : vapeur d'eau, dioxyde de carbone, méthane, etc. Cette réserve de chaleur, permet de maintenir des températures propices à la vie sur Terre.

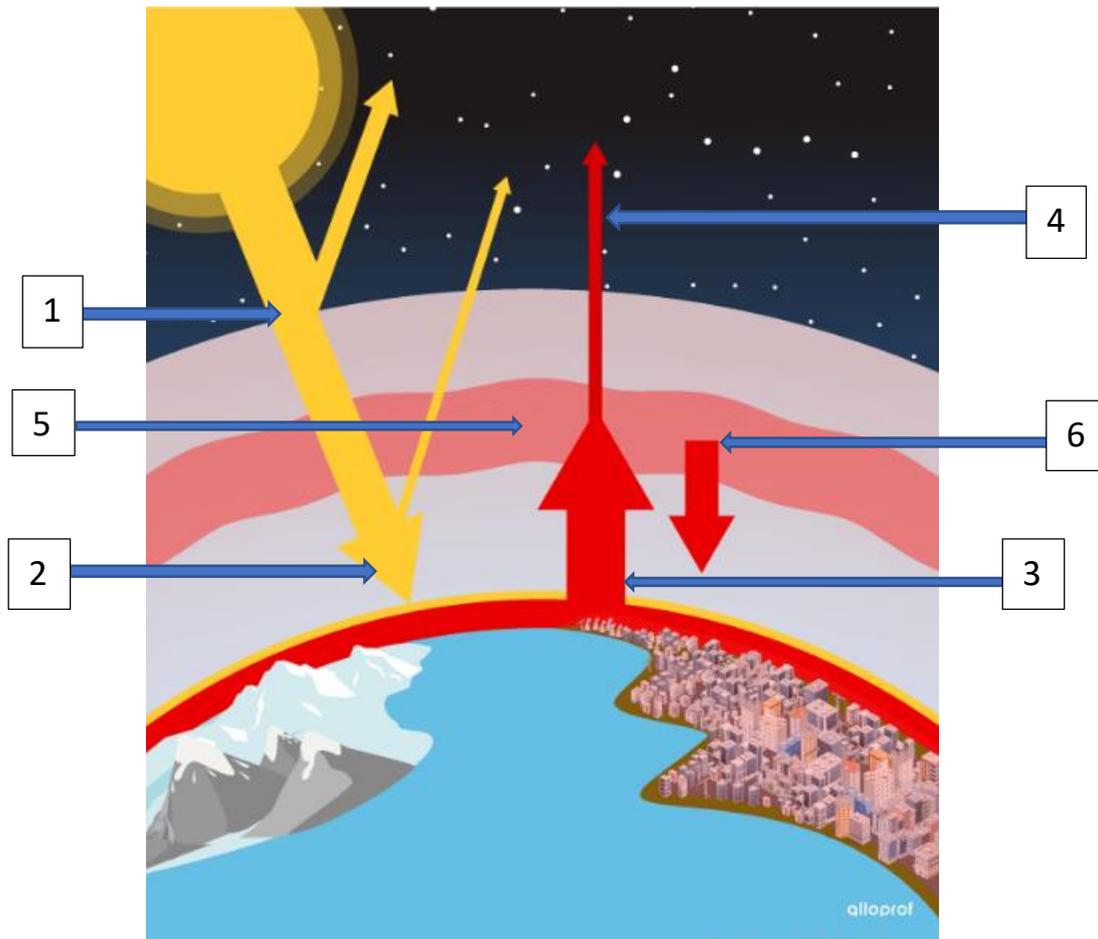


Figure 12 : L'effet de serre

1 = le rayonnement solaire dont une part est réfléchi par l'atmosphère vers l'espace et, une part qui rentre dans l'atmosphère

2 = la part du rayonnement qui entre dans l'atmosphère atteint la surface de la terre qui absorbe son énergie (la température du sol et de l'océan augmente)

3 = une part de l'énergie absorbée par le sol est transformée en chaleur et, réémise sous forme de rayonnement infra-rouge vers l'atmosphère

4 = une part du rayonnement infra-rouge émis par le sol est absorbée par les GES, ce qui augmente la température de l'atmosphère

6 = une part de l'énergie absorbée par les GES est réémise sous forme de rayonnement infra-rouge en direction de la surface de la terre qui est à l'origine du phénomène du réchauffement climatique

L'**effet de serre renforcé** est l'intensification du phénomène d'effet de serre dû aux GES produits par l'activité humaine. Depuis l'industrialisation, les activités humaines ont fait augmenter la concentration des gaz à effet de serre (GES). Ainsi, une plus grande quantité de chaleur est retenue dans l'atmosphère, ce qui augmente la température moyenne à la surface de la Terre. C'est ce qu'on appelle le *réchauffement climatique*.

Gaz à effet de serre	Augmentation en (%)	Sources
Dioxyde de carbone (CO ₂) (CO ₂)	149 %	-Combustion de combustibles fossiles -Production de ciment -Déforestation
Méthane (CH ₄) (CH ₄)	262 %	-Agriculture -Combustion du bois -Production de pétrole et de gaz naturel
Oxyde de diazote (N ₂ O) (N ₂ O)	124 %	-Agriculture (engrais) -Combustion de combustibles fossiles -Procédés industriels (ex. production de nylon)

Tab.1 : Sources des GES depuis la révolution industrielle

Les activités humaines sont à l'origine de l'effet de serre additionnel. Ses conséquences, dont le réchauffement climatique, compromettent les conditions de vie sur Terre. C'est pourquoi il est essentiel de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) anthropiques.

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 [[http : //www.aquaportail.com/definition-2411-effet-de-serre.html](http://www.aquaportail.com/definition-2411-effet-de-serre.html)].

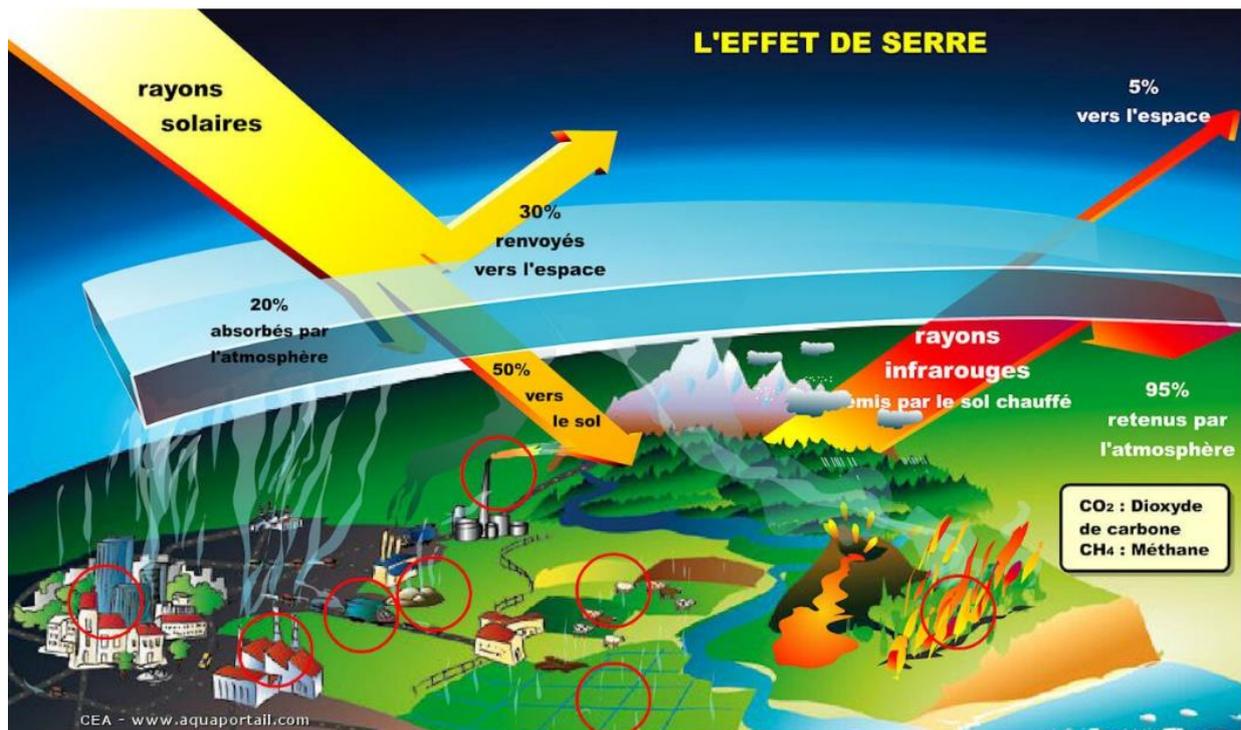


Figure 13 : Schéma du rôle des GES
 [https://www.aquaportail.com/definition-2411-effet-de-serre.html]

Dans l'effet de serre, par définition de chaque gaz à effet de serre, leur rôle est indiqué sur ce schéma et donne un aperçu du rôle de l'effet ensermant et de la contribution des gaz dont quelques sources sont illustrées/entourées en rouge.

Fonctionnement de l'effet de serre :

1. Le soleil émet de l'énergie sous forme de rayonnement visible et invisible (rayonnements infrarouge et ultraviolet).
2. Le rayonnement infrarouge du soleil traverse l'espace et l'atmosphère terrestre. Il est absorbé à 70% par la surface de la Terre, réchauffant naturellement les sols et les océans, qui émettent à leur tour un rayonnement infrarouge.
3. Le reste est réfléchi vers l'atmosphère sous l'effet de la réverbération.
4. Dans l'atmosphère, une partie du rayonnement provenant de la surface terrestre s'échappe vers l'espace.
5. L'autre partie reste piégée dans l'atmosphère par les gaz à effet de serre. Ces gaz absorbent le rayonnement et le renvoient vers la surface terrestre.

L'effet de serre est un phénomène qui s'applique à **toute planète dotée d'une atmosphère** comme la Terre ou Vénus.

I.4.2. Les principaux gaz à effet de serre (GES)

On a 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 concentration dans l'atmosphère et de leur durée de vie et leur capacité à absorber et émettre du rayonnement infrarouge.

- La vapeur d'eau (H_2O) est responsable de la majorité de l'effet de serre naturel. Elle a un effet de rétroaction sur le changement climatique : lorsque la température augmente, l'évaporation augmente ainsi que la quantité de vapeur d'eau relâchée dans l'atmosphère qui a pour effet d'accélérer le réchauffement.

- la concentration du dioxyde de carbone (CO_2), qui augmente du fait de processus naturels tel que les éruptions volcaniques, les feux de forêts ou de brousse.

Ce sont les activités humaines qui utilisent le carbone fossile (charbon, gaz naturel, pétrole, notamment pour l'industrie, le chauffage et les transports), ou les changements d'occupation des sols, la fabrication du ciment qui sont responsables de l'augmentation de la concentration du dioxyde de carbone depuis l'avènement de la révolution industrielle (1750).

- Le méthane (CH_4) est un gaz à effet de serre plus puissant que le CO_2 , mais moins concentré. Il est souvent lié aux processus de fermentation (digestion des ruminants, marécages, décharges...). A noter que l'agriculture intensive est le 1er responsable de l'augmentation des concentrations de méthane dans l'atmosphère.

- L'ozone (O_3), produit dans les basses couches de l'atmosphère à partir de composés organiques volatiles rejetés par les activités industrielles, et divers polluants émis dans l'air émis principalement par le trafic routier. (Ne pas confondre avec l'ozone stratosphérique, qui lui, protège le globe terrestre du rayonnement solaire ultraviolet).

- Le gaz hilarant ou protoxyde d'azote (N_2O), est émis naturellement par les sols et provient notamment de l'utilisation d'engrais azotés [FARAH. A. K 2014, Université Constantine1].

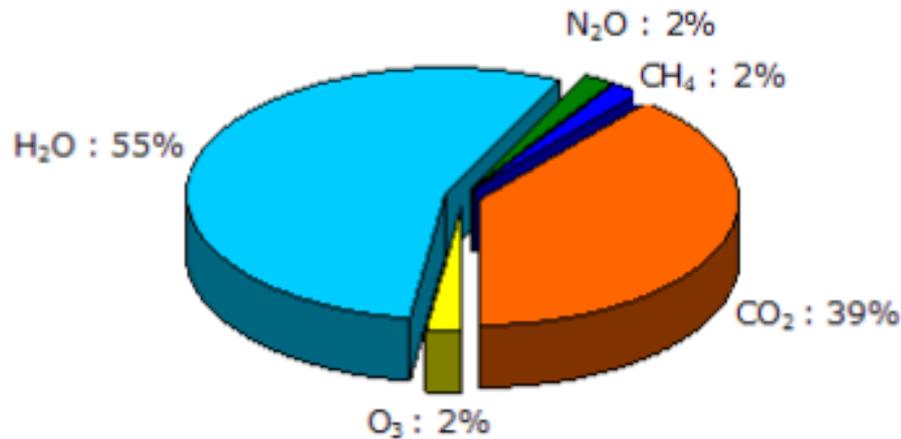


Figure 14 : Contribution à l'effet de serre naturel des différents gaz présents dans l'atmosphère
 [<https://sites.google.com/site/tpesursoleil/ii/2-2-effet-de-serre>].

Quels sont les 3 principaux gaz à effet de serre ?

Les Gaz à Effet de Serre (GES) sont des gaz naturellement présents dans l'atmosphère. Ils absorbent une partie du rayonnement solaire et le renvoient ensuite vers la surface terrestre. Ils sont donc responsables de l'effet de serre.

En temps normal, la concentration de GES dans l'atmosphère est maintenue quasi-constante par les échanges de matière et de gaz entre l'atmosphère, la biosphère et les océans. Par exemple, le cycle de l'eau et la respiration des végétaux contribuent au maintien d'un équilibre entre gaz émis et absorbés. La concentration croissante de GES dans l'atmosphère, due aux activités humaines, est à l'origine du réchauffement climatique.

Les gaz responsables de l'effet de serre sont les suivants :

1. La vapeur d'eau (H₂O) ;
2. Le dioxyde de carbone (CO₂) ;
3. Le méthane (CH₄) ;
4. Le protoxyde d'azote (N₂O) ;
5. L'ozone (O₃).

I.5. Le Potentiel de réchauffement global (PRG)

Le PRG (Potentiel de Réchauffement Global) est 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 [GIEC, 1990, 1er Rapport. (First Assessment Report)].

La définition mathématique du pouvoir de réchauffement global est :

$$PRG = \int_0^N A_x C_x(t) dt - \int_0^N A_{CO_2} C_{CO_2}(t) dt$$

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

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 CO_2

$C_{CO_2}(t)$: Concentration du CO_2 à l'instant t en réponse

Gaz	PRG100	Temps de résidence par an
Dioxyde de carbone (CO_2)	1	Persistance longue 40 _{0/0} ≥ 5.000 ans Dissolution océans 30 _{0/0} en 20 ans
Méthane (CH_4)	28	12
Protoxyde d'azote (N_2O)	298	114
Gaz fluoré :		
PF4 (Tetrafluoro-carbone)	7.390	50.000
HFC (Trifluorométhane)	12.400	260
SF6 (Hexafluorure de soufre)	23.500	3.200

Tableau 2 : Potentiel de réchauffement global des GES comparé au CO_2
[Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat,
GIEC, 1990, 1er Rapport. FAR (First Assessment Report)].

Les causes du réchauffement climatique

Les carburants fossiles tels que le pétrole, le charbon ou le gaz naturel sont le fruit de processus d'enfouissement de végétaux sur des millions d'années. La combustion de ces ressources riches en carbone provoque le rejet instantané de grandes quantités de CO_2 dans l'atmosphère. Cette combustion à lieu très rapidement comparé aux millions d'années de stockage représentées. Cela provoque un large déséquilibre par rapport aux capacités d'absorption de la planète, d'où une augmentation de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

L'effet de serre additionnel peut ainsi être majoritairement imputé à l'utilisation de ressources fossiles comme sources d'énergie.

C'est pourquoi la transition énergétique constitue un enjeu majeur dans la lutte du réchauffement climatique.

En raison de la durée de vie des gaz dans l'atmosphère, l'effet de serre additionnel et donc le réchauffement climatique perdureraient plusieurs décennies après l'arrêt des émissions anthropiques.

Type de gaz	Durée de vie (an)
Gaz carbonique (CO ₂)	100
Méthane (CH ₄)	12
Protoxyde d'azote (N ₂ O)	120
Halocarbures	≥ 50.000
Vapeur d'eau (H ₂ O)	Quelques jours

Tableau 3 : Durée de vie approximative des gaz à effet de serre dans l'atmosphère

Le CO₂ est le gaz le plus émis par les activités humaines et représente deux tiers de l'effet de serre. L'émission de CO₂ se répartit de la manière suivante :

- 80% des émissions proviennent des hydrocarbures (charbon, pétrole, gaz) ;
- 20% des émissions proviennent de la destruction des forêts pour brûler le bois et cultiver les terres.

En 2020, la baisse de la consommation d'énergie et une baisse de la déforestation ont entraîné un recul exceptionnel du jour du dépassement au 22 août 2020. En 2021, le Jour du Dépassement était le 29 juillet ; en 2022, le jour du dépassement a été encore avancé au 28 juillet.

Les conséquences de l'effet de serre renforcé

L'effet de serre renforcé a pour effet d'augmenter la température moyenne à la surface de la Terre, ce qui cause, entre autres, la fonte des glaciers et des banquises, et la fonte du pergélisol. Ces conséquences ont, à leur tour, plusieurs répercussions sur l'environnement.

La fonte des glaciers et des banquises tend à diminuer l'effet d'albédo. La disparition progressive de la neige et de la glace réduit la quantité de rayons solaires réfléchis par la surface de la Terre. Celle-ci absorbe alors encore plus d'énergie, ce qui contribue à faire augmenter la température davantage. De plus, la fonte des glaciers provoque l'augmentation du niveau de la mer, ce qui diminue la salinité des océans et perturbe la circulation thermohaline. En augmentant le niveau de la mer, la fonte des glaciers tend également à augmenter l'érosion des berges et les risques d'inondation.

La fonte du pergélisol provoque des glissements de terrains et libère des quantités importantes de méthane (CH₄)(CH₄), ce qui augmente sa concentration dans l'atmosphère et renforce l'effet de serre.

I.6. 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 des études, le taux de CO₂ dans l'atmosphère qui était de 280 parties par million (ppm) au début de l'ère industrielle dépasse aujourd'hui les 412 ppm. Ce surplus 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 halo carbures n'existant pas à l'état naturel : on les retrouve entre autres dans les systèmes de climatisation ou les bombes aérosols [*Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, GIEC, 2007, 4ième Rapport. AR4 (4th Assessment Report)*].

L'effet de serre additionnel désigne l'amplification de l'effet de serre provoquée par l'activité humaine. En effet, les activités humaines rejettent des GES plus rapidement que la planète ne peut les absorber. Face à ce déséquilibre, la concentration atmosphérique en GES augmente, et le phénomène d'effet de serre devient plus intense. Davantage de chaleur est donc absorbée et réfléchiée vers la Terre : c'est la cause principale du réchauffement climatique.

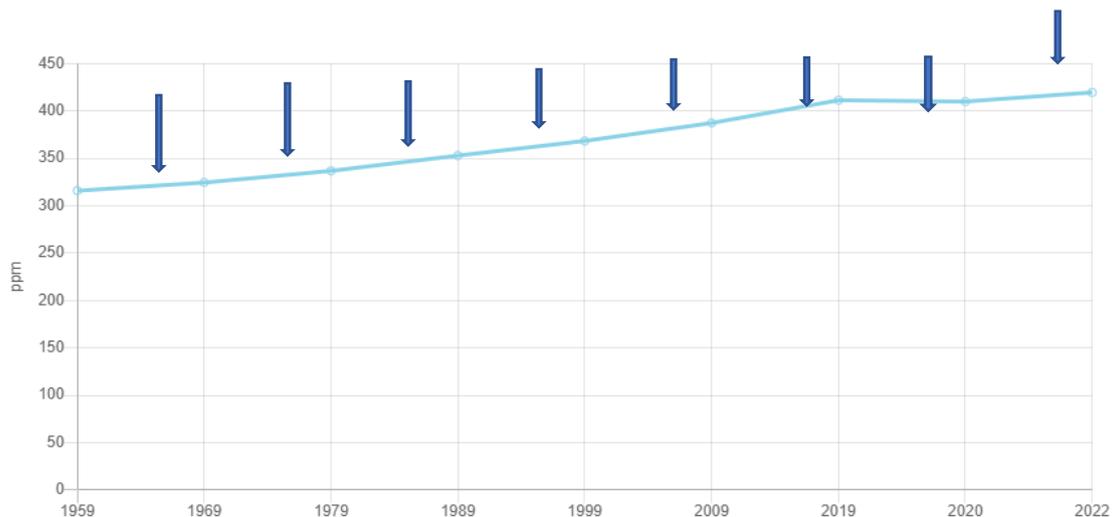


Figure 15 : Accumulation du CO₂ dans l'atmosphère (1959/2022) en ppm (partie par million) pour exprimer le taux de pollution dans l'air (Source=Earth System Research Laboratories)

Les 3 principaux gaz à effet de serre qui contribuent à l'effet de serre supplémentaire sont :

1. Le dioxyde de carbone (CO₂), responsable à lui seul de 65% de l'effet de serre dû à l'Homme,
2. Le méthane (CH₄) qui engendre 15% de l'effet de serre additionnel,
3. En troisième position arrivent à égalité l'ozone (O₃) troposphérique et les Halocarbures (utilisés principalement comme gaz réfrigérants.)

I.6.1. 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 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.

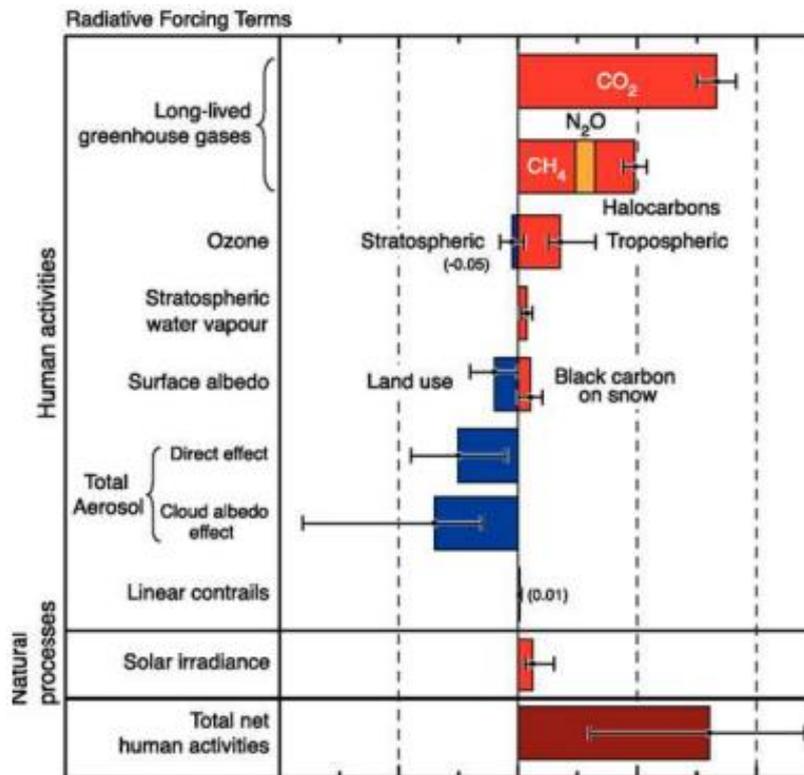


Figure 16 : Bilan du forçage radiatif des GES et des aérosols

[AUER., Peter., et CAZES., Sandrine I. *Style and social identities: Alternative approaches to linguistic heterogeneity*, p. 1-24.]

L'effet de serre, lié aux activités humaines, a déjà provoqué une augmentation de la température de 1,1°C environ par rapport à l'ère précédente la révolution industrielle (avant 1850). Les changements climatiques sont déjà visibles : inondations, vagues de chaleur, et températures extrêmes sont de plus en plus intenses et fréquents. Le GIEC préconise d'agir très vite et réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Plus le changement climatique sera important, plus l'équilibre de nos écosystèmes sera menacé. Ainsi, l'augmentation de la température moyenne de plus de 1,5°C entraînerait des phénomènes climatiques extrêmes et l'accélération des phénomènes de la fonte des glaces, qui contribue à l'élévation du niveau de la mer et menace l'existence de certaines populations en zones côtières.

En 2022, le GIEC a établi un rapport spécial décrivant en détail les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5°C :

- Augmentation de la température moyenne ;
- Sécheresses intenses ;
- Fortes précipitations...

I.7. Effets et conséquences du changement climatique

- Les effets du changement climatique :

Les principales conséquences sont la diminution de la disponibilité en eau et des rendements des cultures, l'augmentation des risques de sécheresses et de perte de biodiversité, les incendies de forêt et les vagues de chaleur

- Les conséquences du changement climatique :

a) L'augmentation de la température de surface de la Terre

Depuis 1850, on constate une tendance claire au réchauffement climatique, et même une accélération de celui-ci. Au 20^{ème} siècle, la température moyenne du globe a augmenté d'environ 1 °C. La décennie 2010-2019 est la période de 10 années consécutives la plus chaude au moins depuis le début des mesures instrumentales, en 1850. En raison d'une forte variabilité naturelle, la température moyenne du globe peut, certaines années, être plus élevée ou plus basse que celle des années précédentes. Mais cette variabilité interannuelle ne doit pas être confondue avec l'évolution de fond : une tendance générale à la hausse marquée depuis plus d'un siècle. Près de la surface terrestre, le réchauffement s'est accentué. Depuis le milieu des années 1970, il a atteint une moyenne de 0,17 °C par décennie [*JANCOVICI. J.M, 2019, Le réchauffement climatique (le changement climatique) : réponse à quelques questions élémentaires*].

b) La fonte des glaces

90% des glaces terrestres sont constituées par l'Antarctique et le Groenland. De par le monde, les glaciers reculent. Ceux des Alpes (Europe), particulièrement étudiés (au cours du siècle dernier ont perdu 50% de leur volume), la banquise et les surfaces enneigées auraient déjà subi les premiers effets du réchauffement climatique ; la partie enneigée de la Terre aurait vu sa superficie diminuer de 10% depuis 1960, de même que celle de la banquise arctique permanente qui a perdu 1/3 de son épaisseur à 40%, en une trentaine d'années est passée de 3,1 à 1, 8 m en moyenne. Le déficit en glace de la calotte groenlandaise a, semble-t-il, plus que doublé entre 1996 et 2005. Le comportement des calottes glaciaires est crucial dans l'estimation de la hausse du niveau des océans. Mais, les données seraient insuffisantes. C'est sans doute pour cette raison que le GIEC a ignoré ce paramètre pourtant primordial dans son dernier rapport [*SAHABI ABED. S, 2012, Étude du climat d'Oran et ses simulations futures sous le scénario A1B du GIEC, Mémoire de Master en Sciences et Technologies de l'Espace*].

c) L'élévation du niveau des mers

La montée des eaux océaniques a pour conséquence le réchauffement climatique qui provoquerait leur dilatation thermique ; car, l'eau chaude occupe un volume plus important que l'eau froide. D'après les données des marégraphes et des satellites altimétriques son élévation se situe entre 10 et 20 cm au 20^{ème} siècle. La fonte de la banquise ne joue pas sur le niveau des mers, car, l'eau qui fond occupe exactement le même volume d'eau de mer que la glace immergée [*Bourque. A, 2000, Les changements climatiques et leurs impacts, Open Edition Journal, Numéro Spécial : Changements climatiques*].

d) Les menaces sur une biosphère

La troisième cause de perte de biodiversité derrière l'exploitation des milieux naturels par l'homme et les prélèvements directs (alimentation, santé, matières premières) c'est le changement climatique. D'ici le siècle prochain il pourrait devenir la première cause de perte de biodiversité. Le changement climatique a modifié les rythmes biologiques et les aires de répartition des espèces, le fonctionnement des écosystèmes, les chaînes trophiques, les cycles biogéochimiques, et les services éco systémiques. Les projections de l'évolution future de la biosphère montrent une amplification des phénomènes observés depuis cinquante ans. Les moyens d'adaptation du vivant sont très limités étant donné la vitesse à laquelle se produit le changement climatique. C'est pourquoi, il est nécessaire, au-delà de la réduction des émissions de gaz à effet de serre, de réduire également les autres pressions anthropiques sur la biosphère [*Chuine. I, 2020, Changement climatique et biosphère, Comptes Rendus. Géoscience, Tome 352 (2020) no. 4-5, pp. 339-354*].

I.8. Les prévisions climatiques

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 [BENMEBAREK. F et BOUADJADJA. W, 2020, Université KASDI Merbah Ouargla].

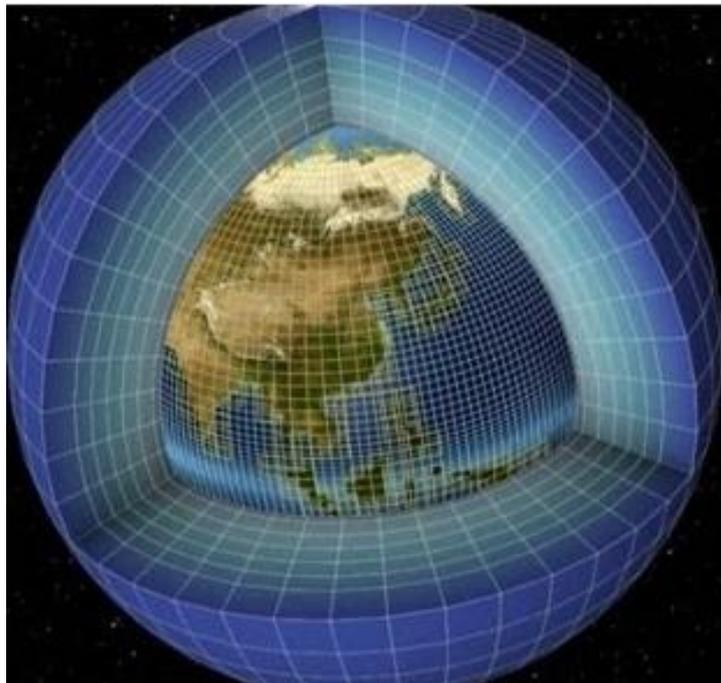


Figure 17 : La modélisation climatique
[GRAUX. A.I, 2011 « Modélisation des impacts du changement climatique sur les écosystèmes prairiaux » Thèse Doctorat spécialité : Ecologie.

Les Scénarios climatiques

Le GIEC a développé quatre scénarios socioéconomiques du monde futur décrivant l'évolution des sociétés humaines pour les décennies à venir. Ils prennent en compte, entre autres, l'évolution démographique, le développement économique, l'utilisation de nouvelles technologies et l'application de politiques de protection de l'environnement. Les scénarios sont nécessaires pour évaluer l'incidence des changements climatiques et permettront alors de prendre des mesures d'adaptation adéquates. D'après le Rapport Spécial sur les Scénarios d'Emissions (SRES, IPCC, 2000), chaque famille de scénarios (désignée par un sigle (A1, A2, B1, B2), représente une situation différente dans l'évolution sur plusieurs plans : économique, démographique, technologique

social, et environnemental [SAHABI ABED. S, 2012, *Etude du climat d'Oran et ses simulations futures sous le scénario A1B du GIEC, Mémoire de Master en Sciences et Technologies de l'Espace*].

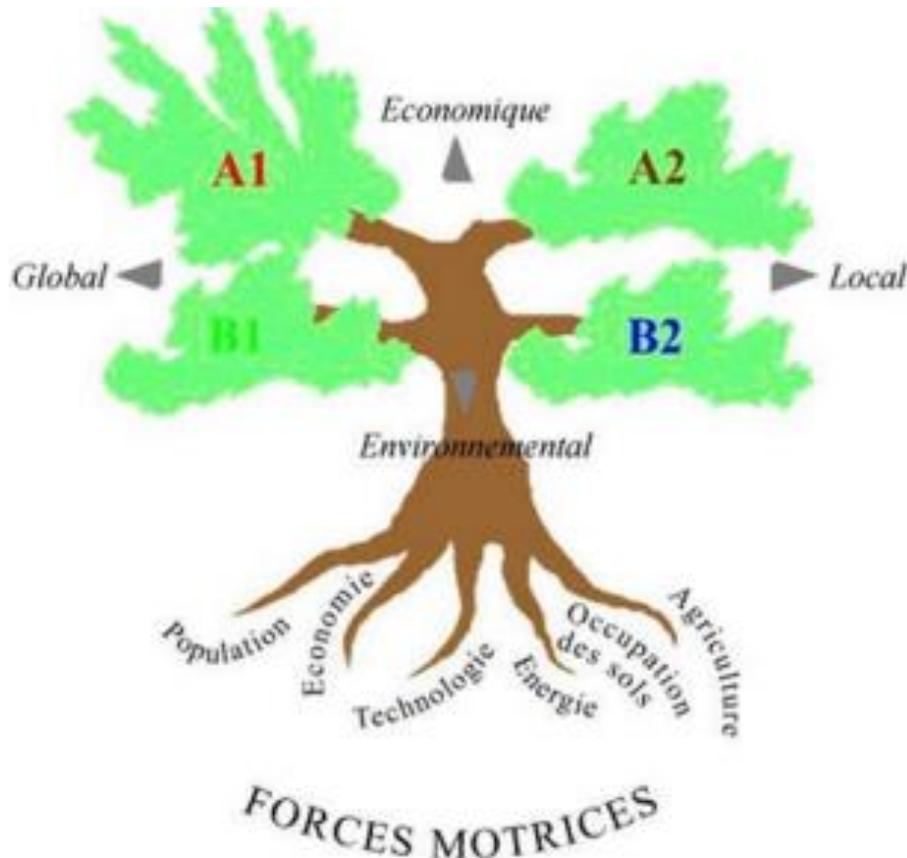


Figure 18 : Scénario d'émissions utilisées pour les projections climatiques [GRAUX. A.I, 2011 « Modélisation des impacts du changement climatique sur les écosystèmes prairiaux » Thèse Doctorat spécialité : Écologie.

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 [*Abdelali S., Mohammed H., FOUGRACH H., et Wadi B., 2012. AIC 2012. Grenoble. pp.709-714*].

L'objectif de ce travail est d'étudier le climat observé sur Oran à travers quelques paramètres météorologiques, plus particulièrement au moyen de quelques indices climatiques et de comprendre les mécanismes affectant ce climat. Le second objectif assigné est l'analyse des simulations futures du climat de la région d'Oran issues des différents modèles climatiques du projet CIRCE et ce, sous le scénario A1B du GIEC et ensuite procéder à quelques cas d'études d'impacts du climat futur sur quelques secteurs socio-économiques.

Connaître les conditions climatiques d'une région nécessite des données climatiques à long terme provenant de plusieurs stations météorologiques dans toute la région, car cela permet de mieux comprendre le changement climatique dans la région et peut donc également prédire les changements climatiques futurs. Avant d'utiliser les données observées pour toute recherche, ces dernières doivent être rigoureusement analysées. Nous utiliserons d'abord les tests de Pettitt et Mann Kendall pour analyser l'homogénéité et la tendance d'une série d'observations dans l'intervalle annuel. Dans ce chapitre nous présentons le domaine d'étude, ainsi que les données climatiques utilisées puis nous nous intéresseront au contrôle de leur qualité et fiabilité

II.2. Présentation de la zone d'étude

II.1. Situation géographique

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



Figure 19 : Carte de l'Algérie

Pour la région d'Oran Les extrêmes thermiques et pluviométriques ont été analysées au moyen des indices climatiques élaborés par l'équipe d'Experts sur la Détection du Changement Climatique et les Indices (ETCCDI), et ce, durant la période 1950-2010. Ces indices incluent en plus des valeurs percentiles des paramètres météorologiques, d'autres variables liées à des phénomènes de durée tels que les vagues de chaleur et de froids et le nombre de jours consécutifs secs ou humides... Les tendances générales des phénomènes extrêmes s'avèrent globalement en hausse significative. Il existe une relation directe entre le Sahel et la Méditerranée grâce aux processus atmosphériques conduits par l'oscillation multi-décennale de l'Atlantique (AMO). Les conditions climatiques exceptionnelles enregistrées à Oran sont principalement attribuées à la circulation atmosphérique régionale.

Une analyse montre que la région d'Oran a observé un réchauffement des températures extrêmes entre 1950 et 2010 (de 0.13°C à 0.15°C) par décennie, et une réduction de 5% par décennie sur les quantités annuelles des précipitations.

Un volet a été consacré au climat futur simulé sur la région d'Oran par des modèles climatiques régionaux de haute résolution sous le scénario A1B d'émissions des gaz à effets de serre du GIEC, ciblant la zone de la Méditerranée et incluant les observations de la mer méditerranéenne.

Ces simulations élaborées entrent dans le cadre du projet CIRCE de l'Union Européenne (FP6: Sixth Framework Programme) où les changements sont présentés à l'échelle annuelle et saisonnière de ces mêmes indices climatiques entre la période 2021-2050 relativement à la période 1961-1990. Les modèles utilisés projettent des augmentations des températures moyennes et extrêmes (variant entre 1.6°C et 1.8°C) entre 2021 et 2050 relativement à la période 1961-1990 qui confirment les résultats des études menées sur la région méditerranéenne. Comme ils projettent une réduction de 13% sur les quantités annuelles des précipitations.

Les projections futures montrent que ce réchauffement va se poursuivre au 21ème siècle, accentuant ainsi l'occurrence des vagues de chaleur et le nombre des jours secs consécutifs.

La région d'Oran se trouve à la limite du Sahara au Sud et la mer Méditerranée au Nord, qui reste une région semi-aride vulnérable à la désertification.

L'extension urbaine de la région d'Oran durant les dernières décennies aura des conséquences sur le climat urbain de la ville d'Oran en particulier et la région en général. Cette extension aura sans doute des répercussions sur le climat local, l'environnement et le développement socioéconomique de la ainsi que l'écosystème. Les surfaces urbanisées extensives modifient les processus de l'énergie et du bilan hydrique ainsi que la dynamique du mouvement de l'air atmosphérique (Oke, 1987). L'utilisation du sol et l'extension urbaine rapide enregistrée au profit d'une végétation fragile et éparse pourraient avoir des conséquences sur l'énergie en surface, l'eau et le carbone dans le proche avenir (Bounoua et al, 2009).

Contexte général : L'économie d'un pays devient de plus en plus sensible au temps et au climat. Les dernières années ont été marquées par une mobilisation de la communauté internationale eu-égard aux conséquences dramatiques liées à l'évolution du climat et à ses impacts socio-économiques et environnementales. Les extrêmes climatiques de type vagues de chaleurs, les sécheresses persistantes, les catastrophes naturelles, se manifestent de plus en plus sur la région Méditerranéenne, au Nord de l'Afrique et en Algérie et montrent la nécessité de coordonner les efforts afin de réduire les effets négatifs de tels impacts. Dans ce sens, et dans le contexte de cette étude, il est plus qu'indispensable d'étudier la variabilité climatique régionale et ses impacts sur différents secteurs clés de développement. En plus, il est nécessaire

d'étudier l'impact des sources de pollution d'origine anthropique sur les écosystèmes marins de la région. L'interrelation entre les indicateurs climatiques, physiques et biologiques doit être comprise pour réaliser un potentiel économique et environnemental (tourisme, pêche...) sachant que la zone renferme trois principaux ports (Oran, Arzew et Mostaganem). Dans le dernier rapport du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC ou IPCC en anglais) des modèles climatiques ont prévu des situations sèches sur la majeure partie de la Méditerranée. Dans le contexte du changement climatique, il est important également d'analyser à l'échelle régionale (celle de l'Oranie pour notre cas) les projections faites par les différents modèles climatiques émanant des grands centres spécialisés. Depuis quelques décennies, on a pu mettre en exergue un certain nombre d'indicateurs montrant que le climat se réchauffe à l'échelle du globe. Le quatrième rapport (2007) du GIEC confirme le fait que le réchauffement du système climatique est sans équivoque, car il est maintenant évident dans les observations, que l'on est en phase de l'accroissement des températures moyennes mondiales de l'atmosphère et ainsi que celle de l'océan, provoquant ainsi la fonte généralisée de la neige et de la glace et conduisant à l'élévation du niveau moyen de la mer. Dans ce même contexte, le golfe d'Oran qui s'étend sur le littoral méditerranéen bénéficie des mêmes caractéristiques climatiques du climat de la Méditerranée avec des hivers froids et pluvieux et des étés chauds et secs. Aussi complexe qu'elle ne parait, l'étude de la variabilité climatique dans cette zone nécessite le concours des composantes du climat ainsi que des interactions et rétroactions au sein de l'atmosphère.

Sur ce, les modèles de circulation générale (MCG) demeurent des outils indispensables dans la compréhension des conditions climatiques passées, actuelles et tentent de prévoir les états futurs. Les MCG sont fréquemment fondés sur des scénarios d'émissions prévus par le Rapport spécial du GIEC-(RSSE) (*Senouci et al. , 2008*). En ce qui concerne notre cas d'étude côtier d'Oran, des modèles climatiques régionaux couplés et non couplés pour la méditerranée ont été conçus dans le cadre du projet CIRCE (*changements climatiques et recherche d'impacts en Méditerranée, www.circeprojet.eu*).

Le CIRCE est un projet qui explique comment va changer le climat dans la zone méditerranéenne avec un scénario d'émission des Gaz à effet de serre et d'aérosol (scénario A1B voir définition plus loin). Ce projet étudie comment les climats globaux

et méditerranéens interagissent et comment les propriétés du rayonnement atmosphérique et des flux du rayonnement varient également. Ce projet tente également d'évaluer les interactions entre la nébulosité et les aérosols ainsi que les modifications dans le cycle de l'eau. Aussi la comparaison entre les récentes modifications observées sur les variables climatiques et les tendances détectées.

Le CIRCE évalue les impacts des changements climatiques en Méditerranée à l'horizon 2050. Il a pour objectifs principaux de prédire et mesurer les impacts physiques du changement climatique et d'estimer les conséquences de ce changement pour la société et l'économie des populations pour développer une approche intégrée et comprendre les effets combinés du changement climatique.

II.2. Synthèse climatique

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

On distingue successivement :

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

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



Figure 20 : Ensembles géographiques de l'Algérie

II.3. Présentation des données climatiques

Les études des changements climatiques nécessitent la création de bases de données complètes avec lesquelles on pourra analyser de manière adéquate le signal climatique, suivre son évolution dans le temps et prévoir les changements futurs avec une incertitude minimale. Ce qui nécessite de longues séries de données climatiques fiables ou on pourra analyser de manière adéquate le signal climatique.

Pour choisir la période la plus longue, dépourvue de données manquantes au niveau des stations (éliminer les stations défectueuses), on se base sur quatre critères :

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

CHAPITRE II TRAITEMENT STATISTIQUE DE DONNEES & PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE

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

Le tableau 1 présente un ensemble de vingt stations utilisées pour cette étude où les données existent sur une période comprise entre 40 et 52 ans. Ces données climatologiques concernent les observations mensuelles et annuelles des températures minimales, températures maximales et la température moyenne ainsi que les précipitations.

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

Tab.4 : Liste des principales stations météorologiques

II.4. Traitement des données manquantes

Les périodes d'étude présentent des lacunes d'ordre mensuel. Dans ce contexte a été utilisée pour les précipitations la méthode des rapports, et pour les températures la méthode de la régression linéaire simple.

II.4.1. 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 :
 $Y = aX + b$

X : La valeur estimée ; Y : La valeur à estimer ; a : La pente de la droite ;
et b : Une constante.

En pratique on utilise l'équation suivante :

$$Y = Y' + (R \cdot \frac{\delta_y}{\delta_x})(X - X')$$
 ou :

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. [BENMEBAREK. F et BOUADJADJA. W, 2020, Université KARDI Merbah Ouargla].

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 [BENMEBAREK. F et BOUADJADJA. W, 2020, Université KARDI Merbah Ouargla].

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

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

X= 31,8°C : La moyenne de la température des mois d'Octobre pour toute la période (1981-2020) à la station de Tébessa ;

X'= 31,1°C : La moyenne de la série homogène commune entre les deux stations (1981-2020) à la station de Tébessa ;

CHAPITRE II TRAITEMENT STATISTIQUE DE DONNEES & PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE

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

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

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

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

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

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.

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

Tab.5 : Les coefficients de corrélation des T° moyennes mensuelles entre les différentes stations qui couvrent le territoire

II.4.2. 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

[BENMEBAREK. F et BOUADJADJA. W, 2020 Université KARDI Merbah Ouargla].

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) ; [BENMEBAREK. F et BOUADJADJA. W, 2020, Université KARDI Merbah Ouargla] son application se fait selon l'équation suivante :

$$Y = aX \text{ avec :}$$

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

$$a = \frac{P_Y}{P_X}$$

Pour les stations concernées il a été tenu compte des conditions précitées climatiques et géographiques, du degré de corrélation statistique entre les séries déterminant l'efficacité de l'ajustement.

Pour appliquer cette méthode on a l'exemple d'ajustement des données de la station de Ghardaïa (Y) à partir de celles de la station d'El Goléa (X) pour le mois de décembre 1973.

Ces deux stations se trouvent dans un même contexte climatique et géographique et leur coefficient de corrélation s'élève à 0.87 à l'échelle mensuelle. Le total des précipitations du mois considéré pendant la même série est égal à :

$$P_Y = 2047,9 \text{ mm ; } P_X = 3413,2 \text{ mm ; Donc : } a = 0,599$$

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 de :

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

II.4.3. Méthodes statistiques utilisées

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

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

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 [BENYETTOU. M.A et A. BOUKLIKHA. A, 2017, Université Aboubeker BELKAID Tlemcen].

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 $(x_i)_{i=1 \text{ à } t}$ et $t+1 \text{ à } N$ appartiennent à la même population.

La variable à tester est le maximum en valeur absolue de la variable $U_{t,N}$ définie par :

$$= \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij}$$
$$(X_i + X_j) = \begin{cases} 1 & \text{si } (X_i + X_j) > 0 \\ 0 & \text{si } (X_i + X_j) = 0 \\ -1 & \text{si } (X_i + X_j) < 0 \end{cases}$$

Le cas de la station d'Alger est 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.

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 [BENYETTOU. M.A et A. BOUKLIKHA. A, 2017, Université Aboubeker BELKAID Tlemcen].

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 :

CHAPITRE II TRAITEMENT STATISTIQUE DE DONNEES & PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE

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.

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

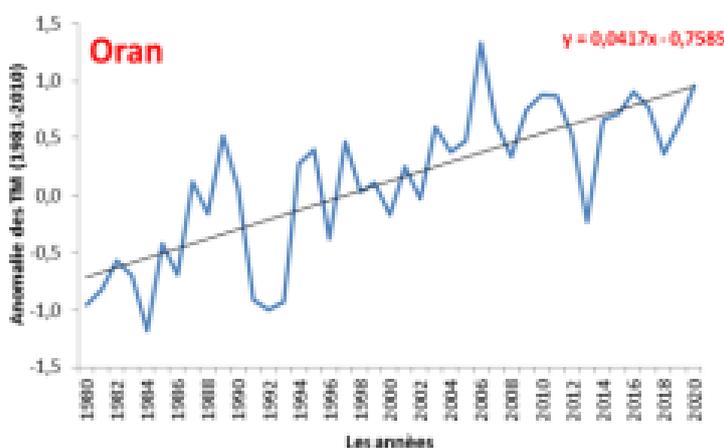
Ce chapitre est consacré à l'étude du régime des températures (régime annuel et régime saisonnier), en se basant sur les données météorologiques des stations retenues pour cette étude. Des calculs de base ont été effectués sur les séries brutes de façon à qualifier et quantifier les variations des températures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

III.1. Variation de la température

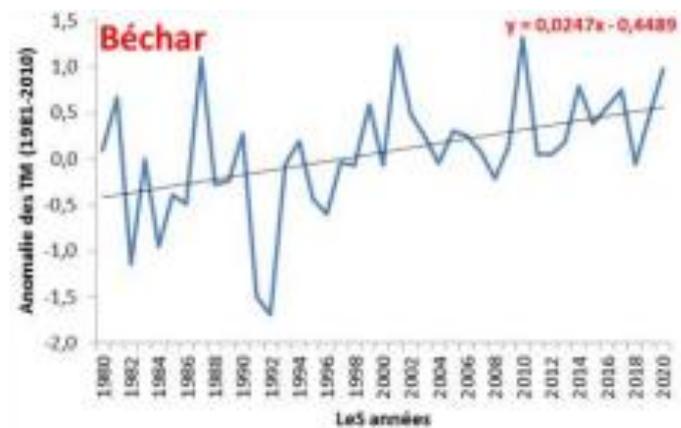
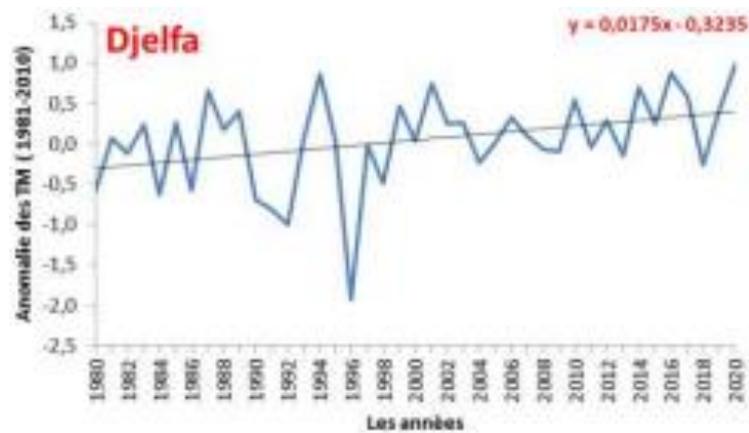
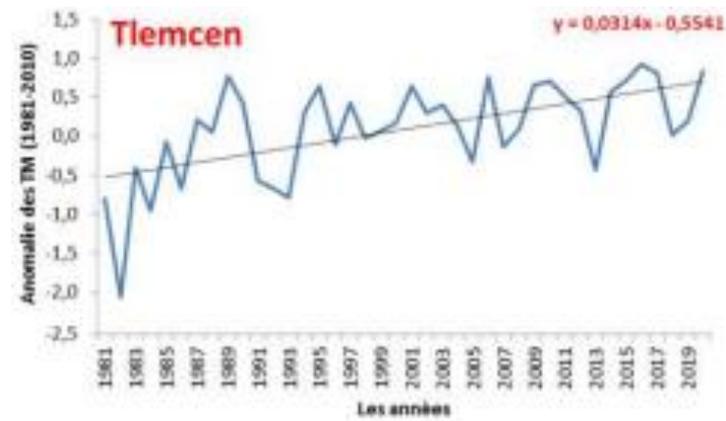
L'étude de la fluctuation de la température et de son évolution est considérée comme une étape clé pour prédire les régions exposées au risque de réchauffement ou refroidissement. Cette partie vise à analyser la variabilité interannuelle et saisonnière des températures moyennes, minimales et maximales.

III.1.1. Variation interannuelle de la température

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



CHAPITRE III : REGIME DES TEMPERATURES



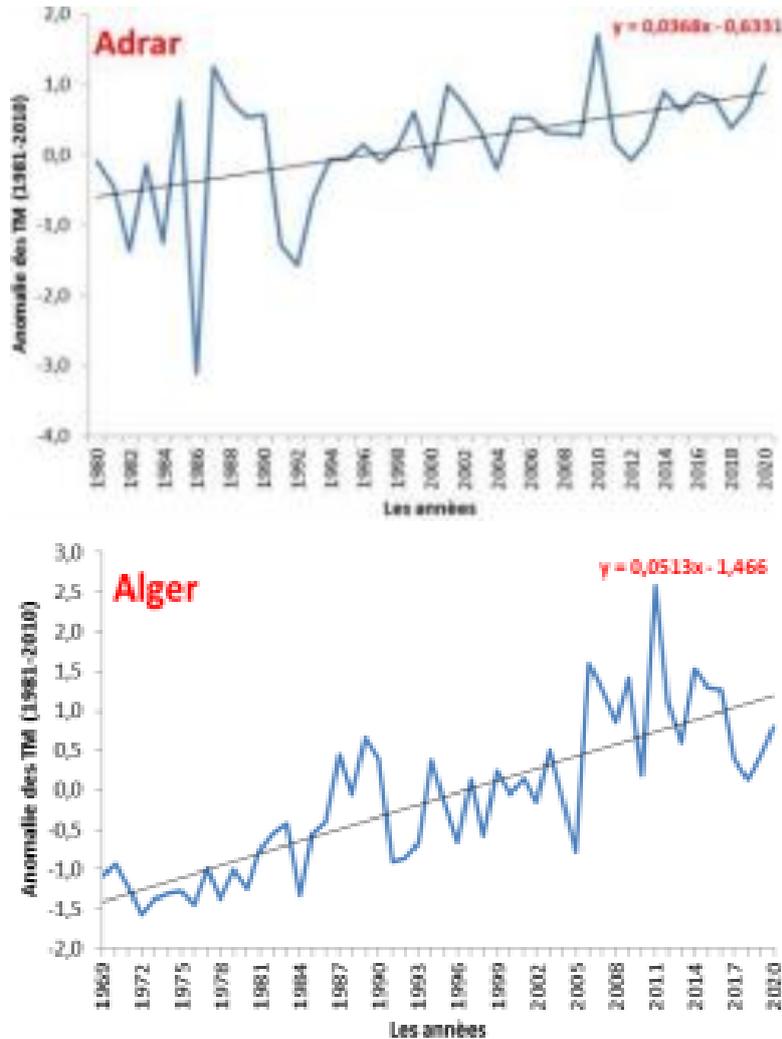


Figure 21 : Variation interannuelle de la température dans différentes stations

La tendance est l'orientation générale d'une série d'observations à la hausse ou à la baisse sur une période assez longue. Dans notre cas, le calcul de la tendance a été estimé avec la méthode de la droite de régression linéaire ($y=ax+b$). La figure 21 présente les anomalies de températures moyennes des données d'observations depuis 1969 dans certaines stations. Les droites de régression linéaire (en noire) montrent que les températures moyennes augmentent dans la majorité de stations étudiées. Cette tendance nette à la hausse (significative) des années chaudes est bien observée à partir de l'an 2000.

III.1.2. Variation saisonnière de la température

- Températures moyennes saisonnières (\bar{T}_M)

Les températures moyennes saisonnières enregistrées sur la période (1981- 2020) étaient dans l'ensemble normales (Figure 22). On a cependant relevé des écarts à la normale de l'ordre de -1°C principalement sur les stations du Nord. Quelques écarts

positifs de +1°C ont également été enregistré plus particulièrement sur les stations du Sud.

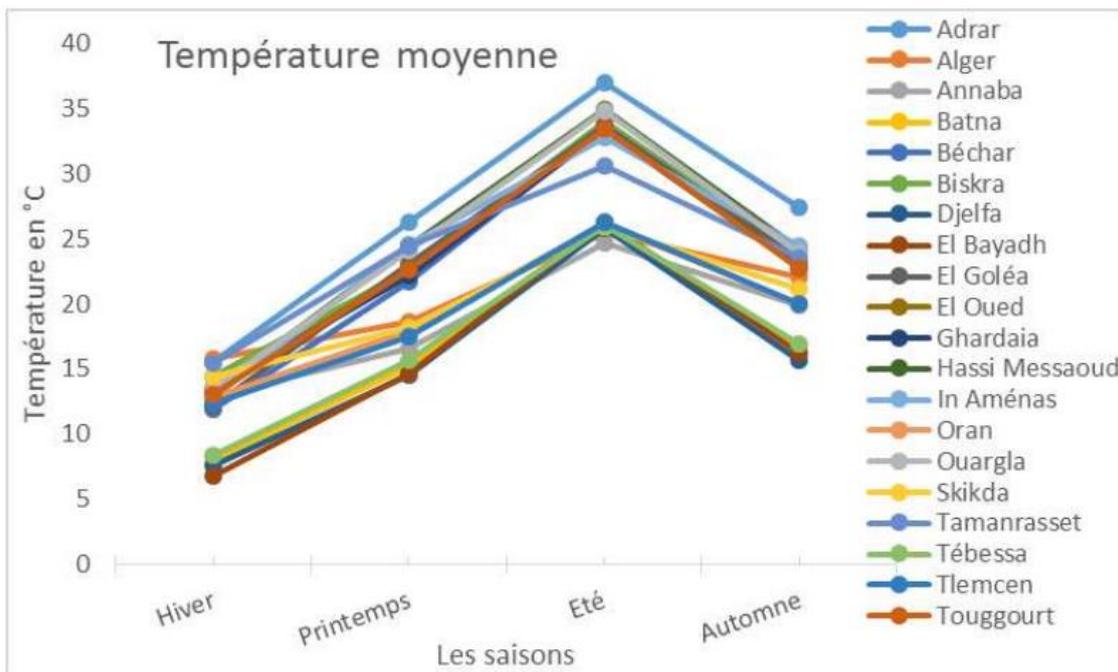


Figure 22 : La variation saisonnière des températures moyennes : Période (1981-2020).

- Températures maximales saisonnière (\bar{T}_x)

En Hiver et en Printemps, des températures majoritairement normales à en dessous de la normale climatologique saisonnière (1981-2010). En Été, une hausse par rapport à la normale climatologique atteignant +1°C sur les stations du Nord et de +1°C à +2°C sur les régions intérieures. Au-delà de ces régions, des écarts positifs de +1°C à +3°C ont été enregistré sur les stations du Sud (figure 23).

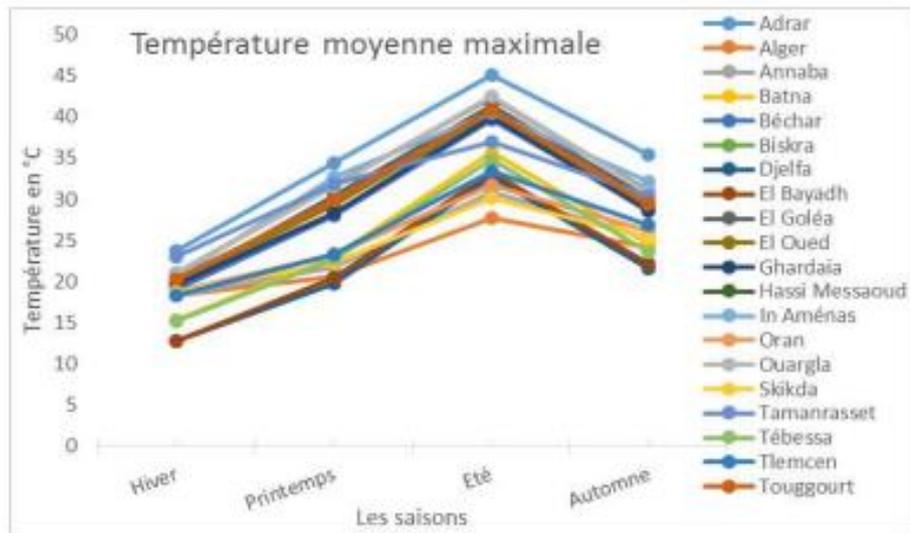


Figure 23 : La variation saisonnière des températures maximales : Période (1981-2020).

- Température minimales saisonnière (\bar{T}_N)

La figure 24 illustre la courbe des tendances des températures minimales saisonnières pour la période (1981-2020). On constate une forte variation de ces tendances, allant de 0°C à plus de 30°C pour les quatre saisons de l'année. Le refroidissement est très marqué en période hivernale et automnale (notamment pour les stations d'El Bayadh, Djelfa et Batna) où les températures minimales diminuent globalement au-dessous de 0°C.

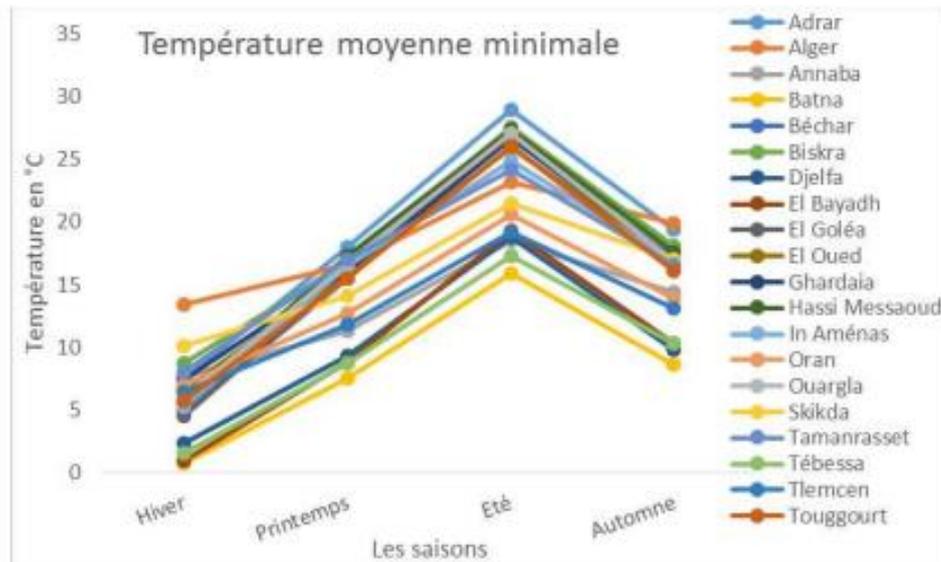


Figure 24 : La variation saisonnière des températures minimales : Période (1981-2020).

III.2. Caractéristiques de tendance centrale et de la dispersion des températures

Nous avons comparé la période 1981-2000 (20 ans) avec la période 2001-2020 (20 ans), nous avons procédé à l'analyse de l'évolution des températures entre ces deux séries d'observations. La période 2001-2020 (avec une température supérieure de 0,5°C à la normale 1981-2010) a été plus chaude de 0,7 °C que la période 1981-2000. Le Tableau 3.1, montrent nettement le réchauffement observé entre les deux périodes et témoignent de l'ampleur des changements des températures sur la période 2001/2020 à la zone d'étude, à savoir une hausse de 0.7°C.

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

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

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

Tab.6 : Caractéristiques de tendance centrale et de la dispersion des températures X (moyenne des températures, \bar{x} (écart type des températures), CV (coefficient de variation)

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

IV.1. Variation des précipitations

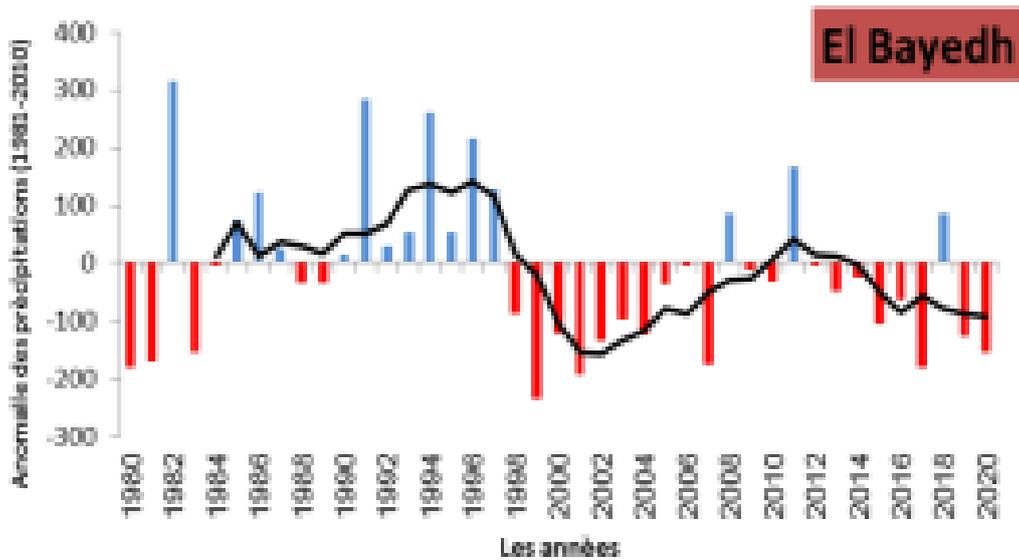
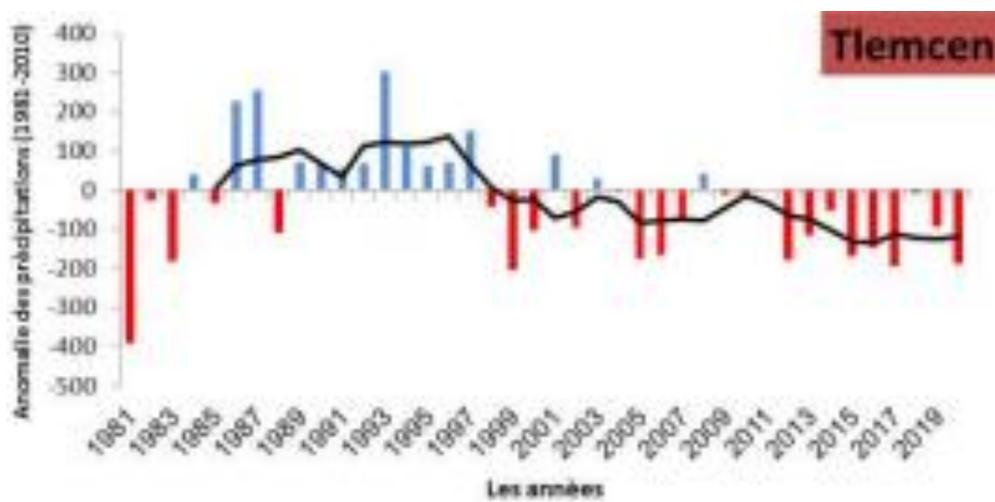
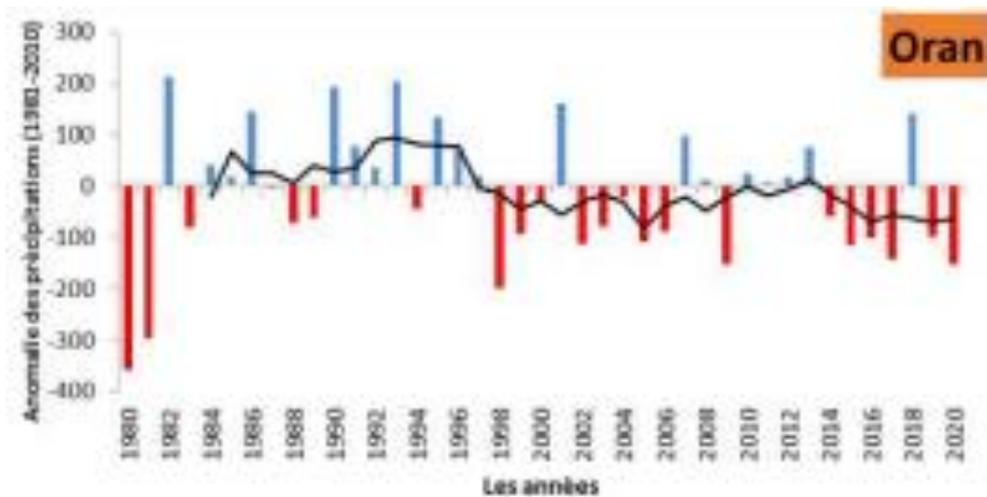
La région méditerranéenne en général et notre région d'étude en particulier sont caractérisées par des précipitations irrégulières et une répartition inégale dans l'espace et dans le temps, cela peut se vérifier notamment par la nette décroissance des pluies du Nord vers le Sud. Dans ce chapitre nous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

Variation interannuelle des précipitations

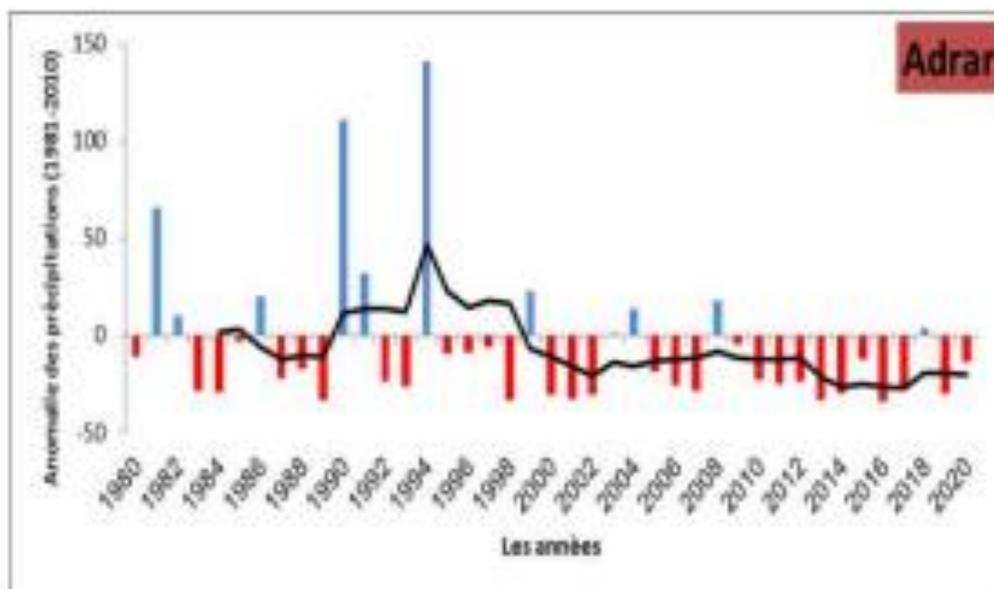
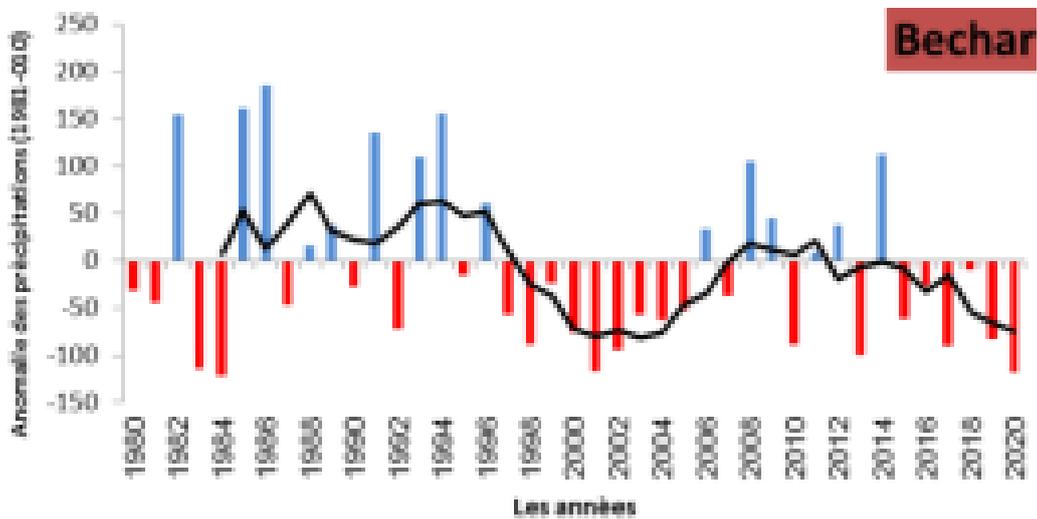
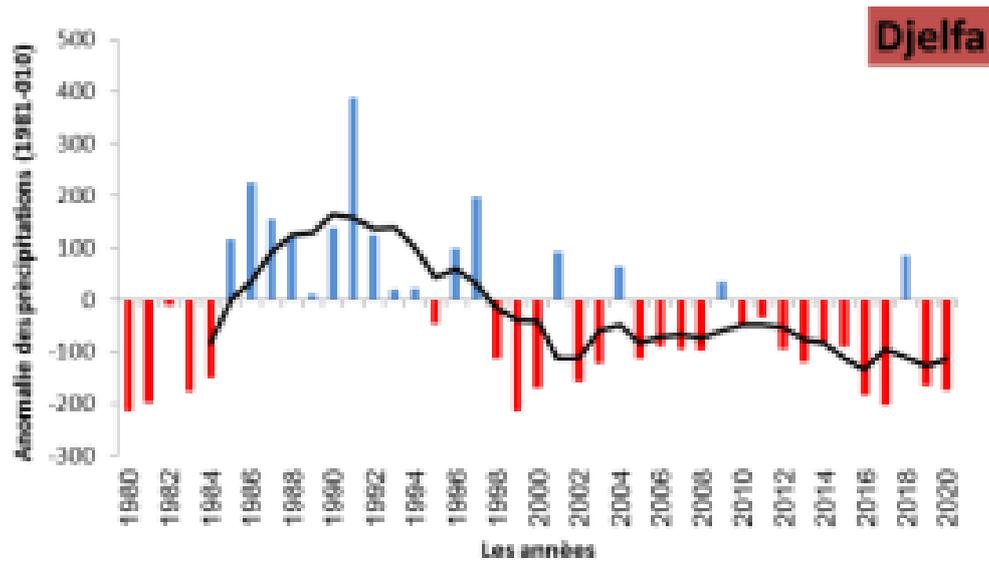
Pour l'étude de la variabilité interannuelle du régime pluviométrique nous avons calculé les moyennes annuelles des précipitations pour les 20 stations.

Pour supprimer les fluctuations transitoires, on a lissé les valeurs de la série statistique par l'utilisation des moyennes mobiles (glissantes) calculées sur une période de 5 ans de façon à souligner les tendances à long terme des précipitations annuelles. Les fluctuations des précipitations au cours de la période d'étude sont très importantes, selon la figure 25, les quantités de pluie enregistrées étaient très variables. Nous avons enregistré à travers toutes les stations retenues des déficits pluviométriques (par rapport à la normale climatologique 1981-2010).

CHAPITRE IV : REGIME DES PRECIPITATIONS



CHAPITRE IV : REGIME DES PRECIPITATIONS



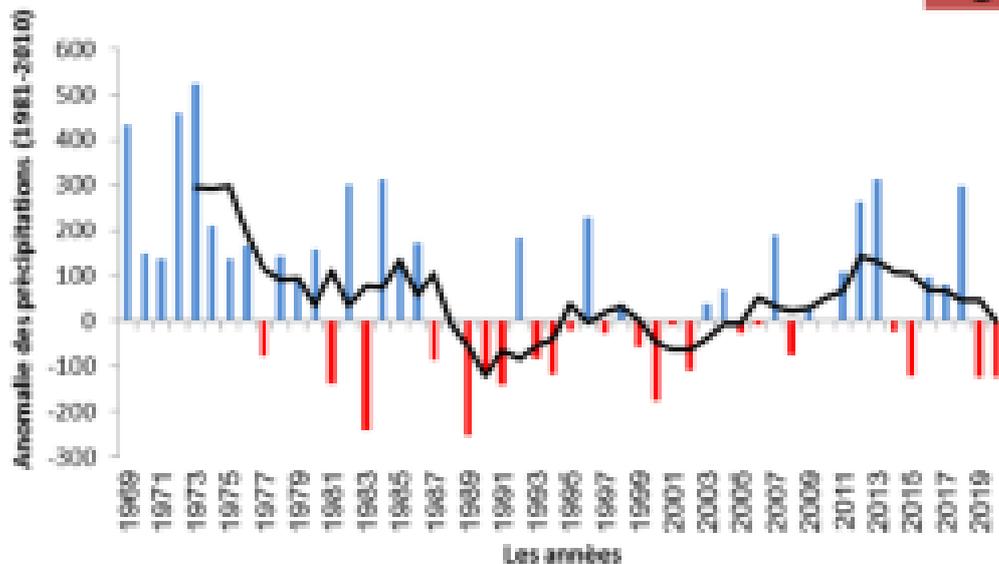


Figure 25 : Anomalie des Précipitations/normale de référence (1981-20210) & moyenne mobile sur 5 ans

Variation saisonnière des précipitations

La variabilité des pluies à l'échelle saisonnière est encore plus accentuée que celle observée au pas annuel. Les pluies, quoique concentrées principalement durant les saisons d'hiver et de l'automne, accusent des fluctuations importantes au cours d'un même mois d'une année à une autre.

La figure 26 illustre que les quantités de pluie enregistrées durant l'Hiver étaient très variables, marquées par des précipitations excédentaires par rapport aux normales climatologiques saisonnières (1981-2010) sur une grande partie du Nord du pays. Durant l'Automne, ces quantités avaient été également très variables, marquées par des précipitations déficitaires par rapport aux normales climatologiques. En Eté les quantités de pluies étaient variables, mais particulièrement déficitaires par rapport à la normale climatologique saisonnière (1981-2010).

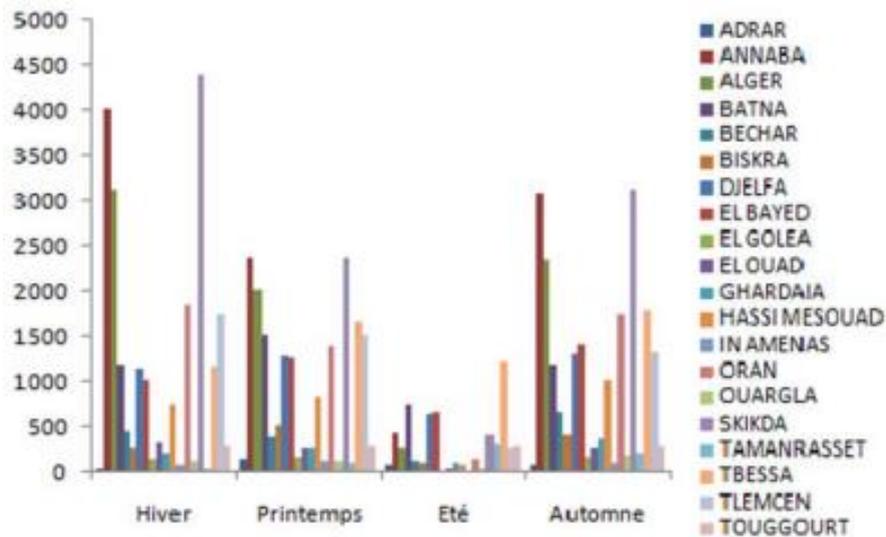


Figure 26 : Variation saisonnière des P (1981 à 1982)

IV.2. L'indice de précipitations standardisé (SPI)

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

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

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

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) pour définir l'intensité des épisodes de sécheresse en fonction de la valeur de l'indice.

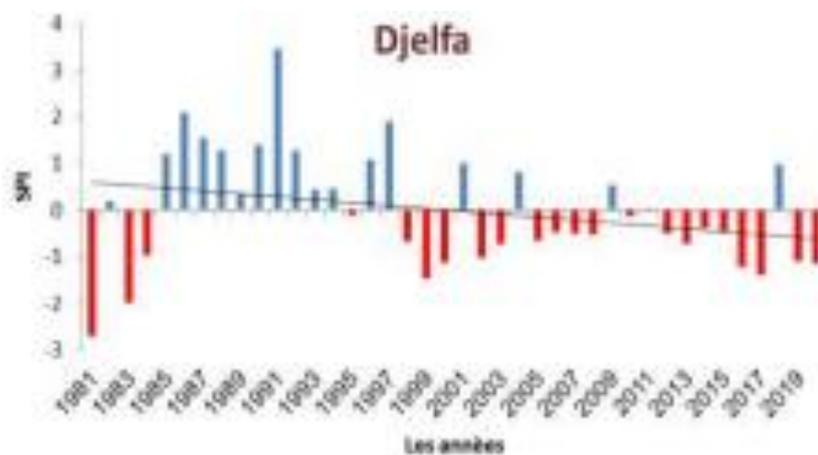
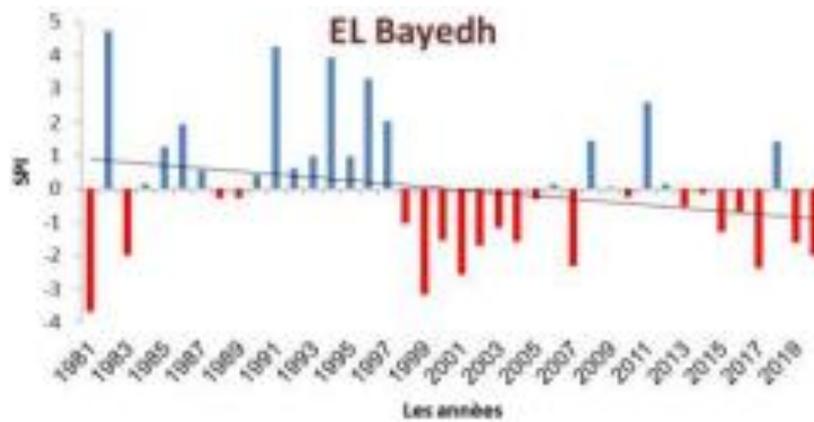
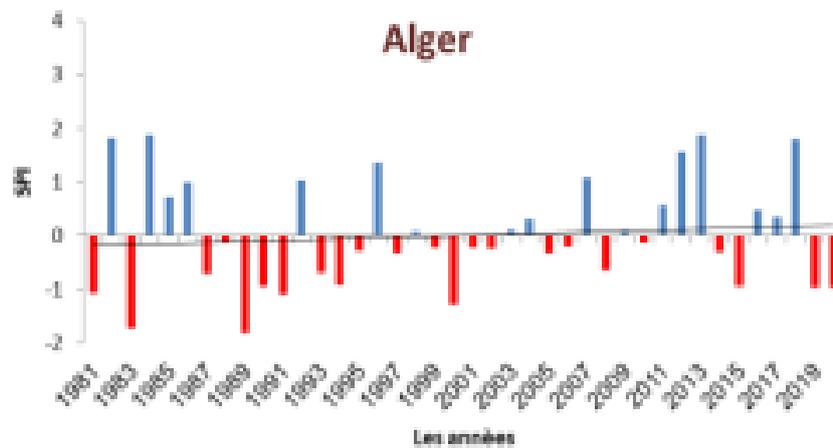
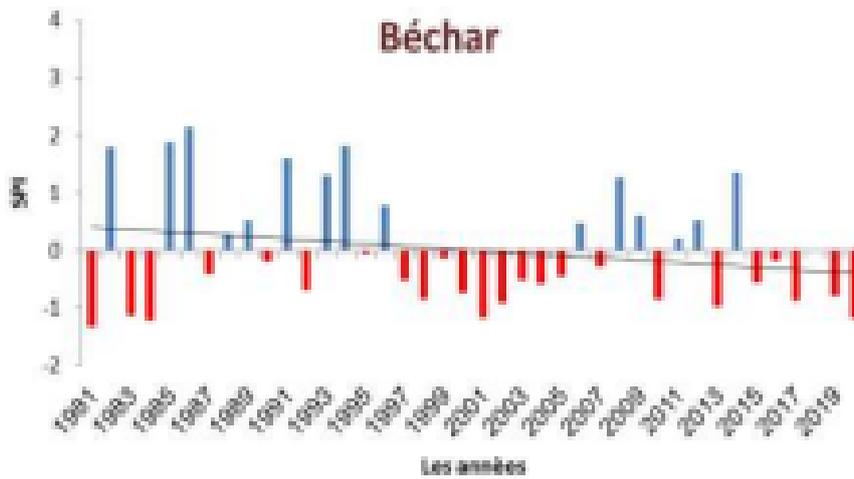
Valeurs de l'indice SPI	Classes
2,0 et plus	Extrêmement humide
de 1,5 à 1,99	Très humide
de 1,0 à 1,49	Modérément humide
de -0,99 à 0,99	Proche de la normale
de -1,0 à -1,49	Modérément sec
de -1,5 à -1,99	Très sec
-2,0 et moins	Extrêmement sec

Tab.7 : classement de la sévérité des sécheresses SPI (McKee et al 1993)

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

L'examen des variations chronologiques de l'indice SPI (figure 27) dont les principales statistiques sont résumées dans le tableau 5, permet de constater que les valeurs extrêmes ne sont pas nombreuses. Les valeurs négatives du SPI correspondent alors à des déficits. Les valeurs positives par contre, témoignent d'années bénéficiant de précipitations. Les pluies n'ont pas atteint des seuils d'humidité excessive. Par contre, une diminution considérable des pluies a été observée durant les années 1988, 1993, 2000, 2007, 2011 et 2015.

CHAPITRE IV : REGIME DES PRECIPITATIONS



CHAPITRE IV : REGIME DES PRECIPITATIONS

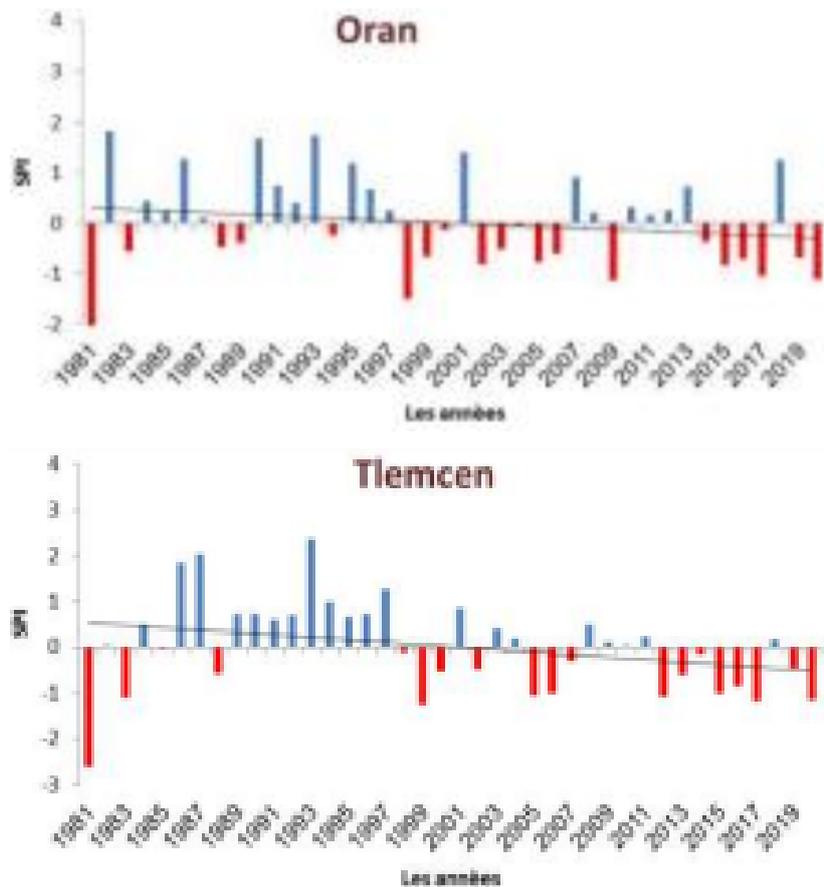


Figure 27 : Variation du SPI moyennes annuelles

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

Stations \ SPI	Fréquence (nombre d'années)						
	Extrêmement humide	Très humide	Modérément humide	Proche de la normale	Modérément sec	Très sec	Extrêmement sec
	2.0 et +	1.5-1.99	1.0-1.49	-0.99à0.99	-1.0à-1.49	De -1.5 à -1.99	-2.0 et moins
Adrar	2	1	1	36	0	0	0
Alger	0	5	3	30	2	0	0
Béchar	1	4	3	32	0	0	0
Djelfa	2	2	6	28	1	0	0
El Bayadh	6	1	3	19	4	1	6
Oran	0	3	4	32	0	0	1
Tlemcen	2	1	2	34	0	0	1

Tab. 8 : Répartition des valeurs du SPI (1981/2020)

IV.3. Relation entre la pluviométrie au Nord de l'Algérie et les indices climatiques

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

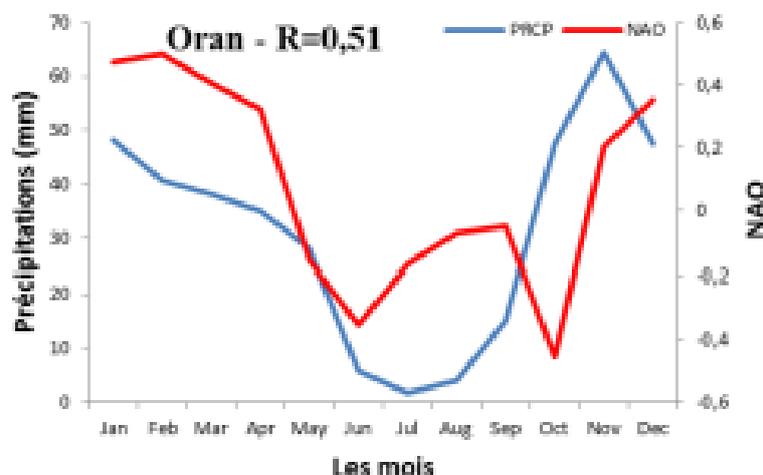
IV.3.1. Oscillation Nord Atlantique (NAO)

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 : Annaba, Alger, Oran et Skikda, et ce dans le but d'expliquer principalement la baisse significative des précipitations dans la partie Nord de l'Algérie.

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

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

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



CHAPITRE IV : REGIME DES PRECIPITATIONS

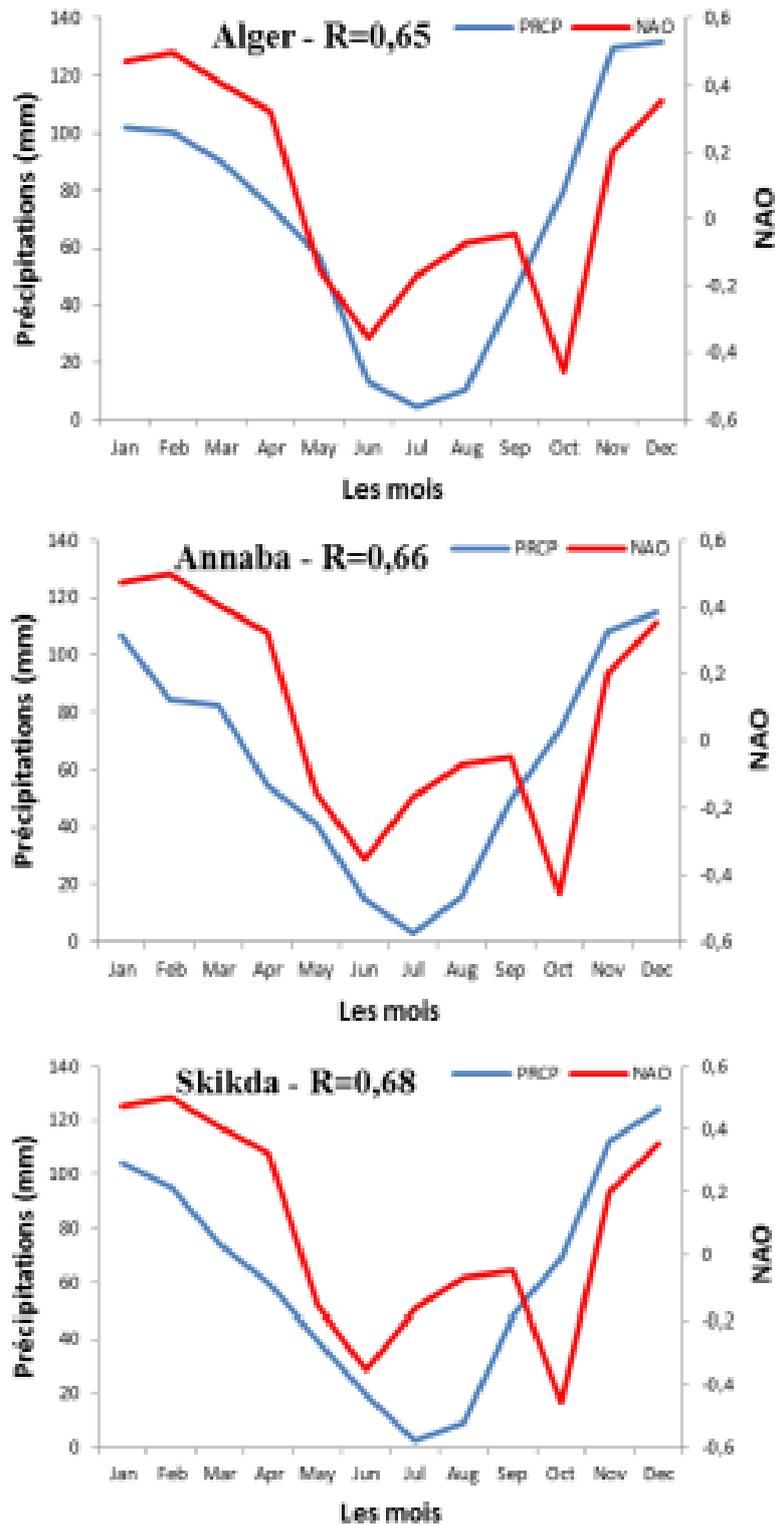
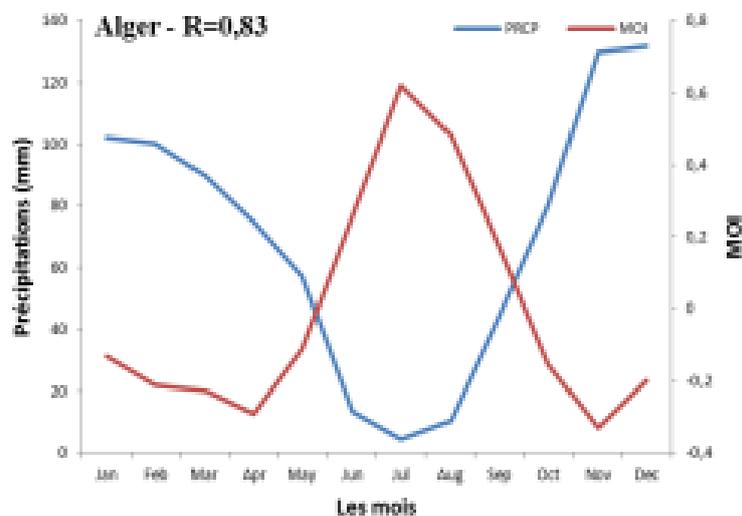
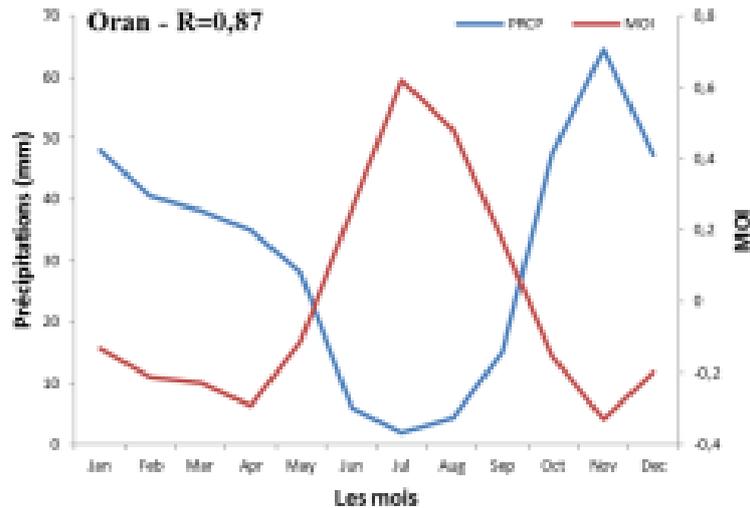


Figure 28 : NAO et les Précipitations (1981/2020)

IV.3.2. Oscillation Méditerranéen (MO)

L'oscillation Méditerranéen (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 géo potentielle 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/>



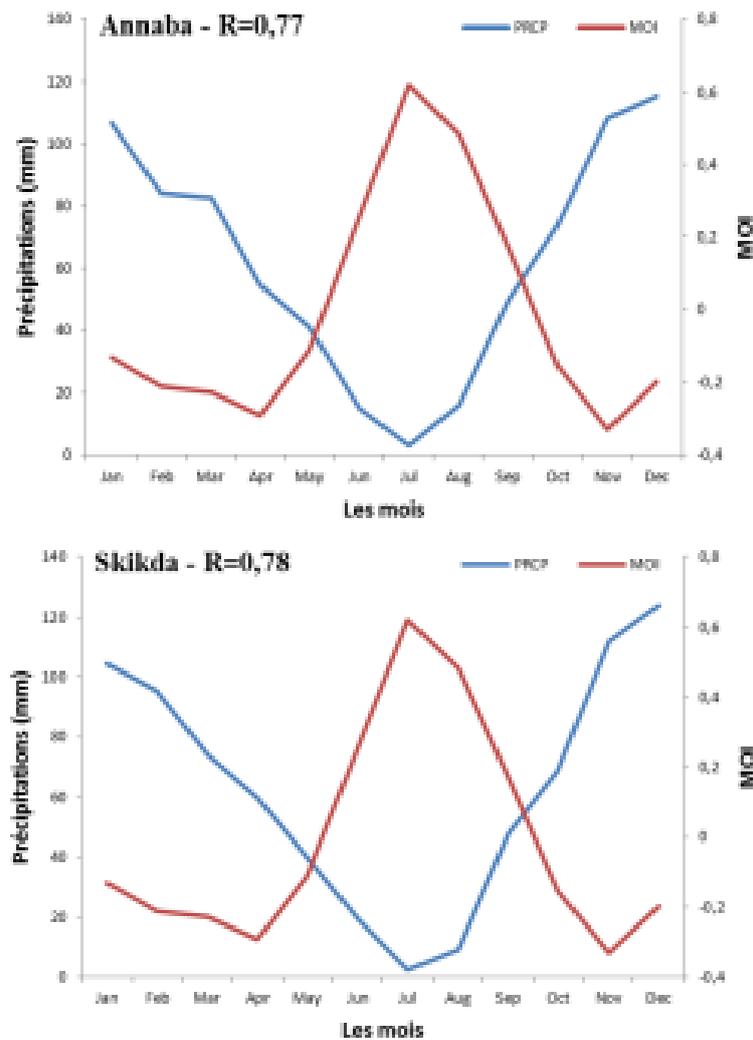


Figure 29 : L'OM et les P (1981/2020)

L'Oscillation Méditerranéenne (MO) présente des corrélations négatives significatives avec les précipitations au niveau de quatre stations à savoir : Annaba, Alger, Oran, et Skikda. Les valeurs de coefficient de corrélation sont de l'ordre de -0.77 à -0.87.

Le système climatique dans le contexte Méditerranéen : il est basé sur des éléments physiques tels que l'atmosphère, l'océan, la cryosphère, la surface de la terre émergée (géosphère) et la biomasse. Le système climatique a des caractéristiques diversifiées ça va des propriétés thermiques, dynamiques (cinétiques) aux propriétés aqueuses (l'humidité, eau, neige...). Il renferme aussi des propriétés statiques (la densité, la pression atmosphérique, la salinité...) ainsi que les conditions géométriques et les constantes physiques. Toutes ces variables sont liées entre elles et régies par les lois dynamiques et d'autres processus physiques, entre autres, les

précipitations, l'évaporation, le rayonnement.... Le système climatique est en effet un énorme réservoir dans lequel de la matière, de l'énergie et de la quantité de mouvement sont emmagasinées.

L'énergie pour la formation et l'évolution des mouvements atmosphériques et océaniques ainsi que tous les processus provient du soleil. Ce système est animé par des activités qui combinent le réchauffement dû au rayonnement solaire de courtes longueurs d'ondes et le refroidissement engendré par l'émission du rayonnement infrarouge (de grande longueur d'onde) vers l'espace.

Par leur exposition au rayonnement solaire, les latitudes tropicales sont le siège d'un réchauffement plus accentué, au moment où les régions polaires restent les zones les plus froides pendant l'hiver (boréal ou austral). Les conditions des latitudes moyennes restent tempérées. Le transport de l'énergie des régions tropicales vers le reste de la planète s'effectue grâce aux cellules de circulation générale (Hadley,...) assurant ainsi l'équilibre du système.

L'océan Atlantique et la mer Méditerranée sont des composantes lentes du système climatique méditerranéen. Ils agissent sur le climat notamment par le biais de l'évaporation, de l'échange de chaleur ou de gaz carbonique, avec des échelles de temps allant de quelques jours à plusieurs saisons. Mais l'influence de l'atmosphère sur l'océan peut quant à elle se faire sentir sur des périodes encore plus longues (Serge PLANTON (a), 2012). La végétation joue aussi un rôle climatique aux échelles de temps journalières à pluriannuelles, du fait des échanges de chaleur, d'eau et de gaz carbonique avec l'atmosphère. Le rayonnement solaire reste le premier des facteurs externes au système climatique le plus dominant. Les recherches récentes montrent que l'homme peut avoir une influence sur le climat et ce, à l'échelle locale.

Les UHI (*Urban Heat Island*) : îlots urbains matérialisant le réchauffement de la température de surface au niveau des agglomérations sont plus élevées par rapport à celles des régions situées dans les campagnes environnantes. Dans le texte de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (UNFCCC), le changement climatique est attribué directement ou indirectement à l'activité humaine altérant la composition de l'atmosphère globale et additionné à la variabilité climatique naturelle observée sur des périodes temporelles comparables. Cette définition ne se concorde pas avec celle du Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) et pour laquelle le changement climatique est aussi soit naturel soit d'origine anthropogénique : « c'est la source de confusion » (Serge Planton (b), 2012). Le

changement climatique reste un phénomène qui affecte non pas tous les lieux avec la même ampleur. La vulnérabilité à de tel changement est observée des zones polaires aux zones subpolaires et les zones semi-arides (*IPCC, 2007*). La Méditerranée demeure une région dont les impacts anthropogéniques sont les plus importants.

Le climat oranais est un climat semi-aride tributaire des conditions climatiques qui règnent sur la majeure partie sud de la Méditerranée avec des hivers froids et pluvieux et les étés chauds et secs, influencés à la fois par les effets continentaux et marins.

Le climat de cette région est caractérisé par un fort contraste entre l'été et l'hiver, surtout pour les précipitations et le cycle hydrologique à la surface. Des mécanismes climatiques complexes y opèrent et font intervenir l'atmosphère, l'océan nord-Atlantique, la mer Méditerranée, les glaciers Alpains, la végétation continentale et les aérosols d'origine désertique ou anthropique (*Laurent Li, 2003*).

Située sur la rive sud de la méditerranée, la région d'Oran possède un climat ayant une variabilité interannuelle assez importante, semi-humide et froid l'hiver, et sec et chaud l'été. Le régime hivernal est dominé soit par le passage des perturbations classiques de moyennes latitudes, généralement d'ouest d'origine Atlantique ou bien par leur passage au-dessus de la Méditerranée (plus d'évaporation) qui favorise leur réactivation. La cyclogenèse reste un facteur responsable aussi de la pluviométrie sur l'ouest algérien. En effet, le retour d'Est grâce au front occlus contribue souvent à l'arrosage de l'Oranie dans la saison hivernale. La rareté des pluies est en partie expliquée par la présence des chaînes montagneuses du Rif marocain et les montagnes cantabriques qui constituent des écrans aux perturbations classiques d'Ouest. Les températures dans la région d'Oran varient en moyenne entre 5 et 15°C en hiver et 15 à 30°C en été et les précipitations y sont irrégulières et atteindront 450 mm par an en moyenne.

Pendant l'été, un vent extrêmement chaud et sec, dû à la dépression thermique saharienne souffle occasionnellement sur l'Oranie. Les températures d'été sont souvent très élevées avec des maxima mensuels dépassant 35°C.

Pour étudier le climat de la région d'Oran (passé et actuel), nous nous sommes basés sur les données utilisées sont celles enregistrées à la station d'Oran/Es-Senia, située à l'aérodrome qui est qualifiée de station professionnelle au sein de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM). Cette station est située à 35°43'N de latitude et 00°36'W de longitude et se trouve à 90 m d'altitude. Les données utilisées sont les données quotidiennes des températures minimales et maximales et des précipitations

en provenance de l'office national de la météorologie (ONM, Algérie). L'homogénéité de ces données a été vérifiée avant leur usage.

Données et Méthodes utilisées : Il y a une évidence de plus en plus forte que les changements globaux dans les extrêmes des variables climatiques observés durant les dernières décennies, d'origine anthropogénique ainsi que naturelle, en considérant tous les facteurs et sous l'intensification des GES forçant la fréquence de quelques événements extrêmes soient vraisemblablement en changement (IPCC, 2007 ; Alexander et al. 2007). Afin de mettre en évidence les changements dans le but de réduire les impacts de la variabilité climatique il est d'un intérêt remarquable d'analyser l'occurrence des extrêmes passés (*Moberg et al. 2006*). Beaucoup d'études ont eu trait aux études des tendances des extrêmes climatiques sur différentes régions du monde durant les dernières années (*e.g. Alexander et al, 2006 ; Moberg et al. 2006*). L'étude menée par *Alexander et al. (2006)* reste une des études de référence sur les changements des températures et précipitations quotidiennes extrêmes à l'échelle globale. On a pu montrer dans cette étude que les changements dans les températures extrêmes ont été considérables durant la période 1951-2003 et plus particulièrement les températures journalières minimales. En effet, plus de 70% des régions du monde ont montré un accroissement significatif du nombre annuel des jours chauds et des nuits chaudes et une diminution dans l'occurrence des nuits froides et ce, pour la même période 1951-2003. Dans le but d'être en harmonie avec les objectifs définis et les méthodes utilisées dans le cadre du projet CIRCE, nous nous sommes intéressés au calcul d'indices climatiques qui donnent une meilleure compréhension des changements opérés des événements climatiques survenus sur la région d'Oran. L'analyse des températures journalières (minimales et maximales) et des précipitations quotidiennes permettent de détecter, suivre et analyser les tendances d'un possible changement des événements extrêmes. Dans l'objectif d'avoir un aperçu global, les séries temporelles des indices climatiques sont également calculées et leurs tendances analysées à l'échelle saisonnière et annuelle. Cette analyse été réalisée au moyen du logiciel RClimdex 1.0. Ce logiciel a été développé par Zhang et Yang (2004) au service météorologique du Canada :

<http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDI/software.shtml>

pour l'obtention des indices climatiques extrêmes selon les méthodologies définies par Zhang et al. (2005) et Haylock et al. (2006). Ces indices au total de 27 ont été auparavant proposés par l'équipe d'Experts sur la Détection du Changement

Climatique et les Indices ETCCDI, la commission de climatologie (CCI) de l'OMM et le projet CLIVAR (Climate Variability and Predictability Project) (CCI/CLIVAR/JCOMM) sont recommandés par l'OMM avec comme principal objectif la focalisation sur les extrêmes pour démontrer le changement dans l'intensité, la fréquence et la durée des événements. Le logiciel Rclimindex offre une plateforme conviviale dans le calcul de ces indices de manière efficace et utilise le langage open source R. Comme, il existe d'autres formes d'indices climatiques semblables comme ceux définis par le projet européen SRATDEX (Goodess C., 2002) et qui sont au nombre de 57 indices. Dans cette étude, un contrôle de qualité de données exhaustif a été appliqué, car les indices des événements extrêmes sont sensibles aux changements d'équipements, de site et de pratiques d'observation (Haylock et al. 2006). Le contrôle de qualité de données est primordial dans la détermination des indices climatiques. Le contrôle de qualité du logiciel RClindex s'effectue selon la procédure suivante : il remplace toutes les données manquantes codées -99.9 en format interne codé NA. Ces valeurs comportent entre autres les températures maximales journalières inférieures aux températures minimales journalières. En plus, le contrôle de qualité identifie les valeurs aberrantes de ces paramètres. Ces valeurs aberrantes se sont des valeurs définies en dehors de la plage définie par l'utilisateur. Dans notre cas, on a défini cette plage dans l'intervalle s'étendant sur quatre fois l'écart-type (σ) de la moyenne climatologique de la valeur journalière [$\text{moyenne} \pm 4\sigma$] enregistrée sur la période de base 1961-1990 comme le préconise l'OMM dans le calcul des normales climatologiques actuellement ; les valeurs en dehors de cette plage seront vérifiées et éventuellement corrigées. La définition des indices utilisés (tableau 1) est en conformité avec celle reportée dans le dictionnaire des indices du changement climatique (ICC) figurant sur le site web du projet européen CLIVAR-WCRP (ETCCDI).

CONCLUSION

Le changement climatique est un phénomène impactant l'équilibre du climat. C'est un changement inhabituel des caractéristiques climatiques et de l'atmosphère terrestre. Son histoire a commencé avec la révolution industrielle, les gaz à effet de serre émis par les industries et les usines polluantes sont la cause principale de ce problème.

À l'instar des pays de la rive sud de la méditerranée ainsi que d'autres pays africains, l'Algérie n'est pas à l'abri du réchauffement climatique et subit ses conséquences nuisibles.

Pour rappeler l'importance de s'inscrire dans une démarche de l'Algérie de réduire son empreinte carbone tout en incitant les opérateurs économiques à anticiper les actions à mettre en place pour se prémunir contre les risques associés à ce phénomène.

Dans cette objectif ce travail est une analyse de régime des températures et des précipitations en Algérie évaluée à travers diverses stations au cours d'une longue période allant jusqu'à 51 ans.

Il a été défini une méthodologie pour le paramètre : température et le paramètre pluie. La tendance des séries d'observations et l'analyse de l'homogénéité, à l'échelle annuelle ont été effectuées en appliquant respectivement le test Pettitt et Mann-Kendall. La tendance des séries d'observations de Mann-Kendall montre l'existence d'une tendance à la hausse pour les températures.

L'analyse des séries temporelles des données de la température a mis en évidence une variabilité temporelle des températures au niveau de 20 stations de l'Algérie ; qui explique un réchauffement au niveau de la plupart des stations étudiées. 50_{0/0} de la période étudiée (1981-2020) est considérée comme chaude (le plus important poids thermique est observé au niveau de la station d'Adrar. Les dernières années de la période d'étude (2001-2020) symbolisent les années chaudes pour la quasi-totalité des stations où l'anomalie des températures moyennes est toujours positive avec une augmentation de +0.7°C par rapport à la période 1981-2000. Il ressort aussi de cette étude que les années 2003, 2010, 2014, 2016 et 2018 sont des années chaudes pour toutes les stations étudiées.

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

L'évolution chronologique de l'indice standardisé des précipitations (SPI) montre une tendance globale à la baisse et donc à la sécheresse. A partir de la pente des droites de régression, la baisse moyenne annuelle est plus prononcée dans la majorité des

CONCLUSION

stations. Cependant, ces résultats sont suffisants pour valider l'hypothèse d'une modification du régime pluviométrique au niveau des stations étudiés.

L'influence du forçage atmosphérique à grande échelle sur la variabilité pluviométrique au Nord de l'Algérie par l'existence ou non d'une corrélation significative entre les précipitations au Nord et les indices d'Oscillation Nord-Atlantique (NAO) et d'Oscillation Méditerranéenne (MO) : Les résultats montrent une bonne corrélation avec la MO qu'avec la NAO, et que les périodes pluvieuses les plus importantes au Nord de l'Algérie coïncident avec de grands indices négatifs de la MO et la NAO.

Le réchauffement climatique augmente de plus en plus la vulnérabilité de notre écosystème. Un fait que nous ne pouvons pas ignorer, au vu l'avènement des maladies infectieuses ayant des conséquences graves sur notre santé, des risques majeurs et des catastrophes naturelles (Covid-19, sécheresses, désertifications, inondations, cyclones, incendies et feu de forêt, séisme, tempête, mouvement de terrain, avalanche, volcanisme ...), l'extinction animale et végétale ainsi que la perte de la biodiversité. Comment se fait-il ? La réponse est bien connue, c'est le résultat de nos activités

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Les composantes du système climatique -----	4
Figure 2 : Évolution des températures moyennes mondiales -----	5
Figure 3 : Schéma explicatif du phénomène d'El Nino-----	6
Figure 4 : Schéma explicatif du phénomène la Nina -----	7
Figure 5: Oscillation nord-atlantique positive-----	7
Figure 6 : Oscillation nord-atlantique négative -----	7
Figure 7 : Carte de la circulation thermohaline-----	8
Figure 8 : Diversité des courants océaniques répertoriés autour de la circulation thermohaline-----	9
Figure 9 : L'effet des éruptions volcaniques-----	10
Figure 10 : L'effet de serre naturel -----	11
Figure 11 : Sans effet de serre-----	11
Figure 12 : L'effet de serre -----	12
Figure 13 : Schéma du rôle des GES-----	14
Figure 14 : Contribution à l'effet de serre naturel des différents gaz présents dans l'atmosphère -----	16
Figure 15 : Accumulation du CO2 dans l'atmosphère (1959/2022) en ppm (partie par million) pour exprimer le taux de pollution dans l'air -----	20
Figure 16 : Bilan du forçage radiatif des GES et des aérosols-----	21
Figure 17 : La modélisation climatique -----	24
Figure 18 : Scénario d'émissions utilisées pour les projections climatiques -----	25
Figure 19 : Carte de l'Algérie-----	28
Figure 20 : Ensembles géographiques de l'Algérie-----	32
Figure 21 : Variation interannuelle de la température dans différentes stations -----	41
Figure 22 : La variation saisonnière des températures moyennes : Période (1981-2020). ---	42
Figure 23 : La variation saisonnière des températures maximales : Période (1981-2020).----	43
Figure 24 : La variation saisonnière des températures minimales : Période (1981-2020). ----	43
Figure 25 : Anomalie des Précipitations/normale de référence (1981-20210) & moyenne mobile sur 5 ans -----	48
Figure 26 : Variation saisonnière des P (1981 à 1982) -----	49
Figure 27 : Variation du SPI moyennes annuelles-----	52
Figure 28 : NAO et les Précipitations (1981/2020)-----	54
Figure 29 : L'OM et les P (1981/2020)-----	56

LISTE DES TABLEAUX

Tab.1 : Sources des GES depuis la révolution industrielle.....	12
Tab.2 : Potentiel de réchauffement global des GES comparé au CO2.....	16
Tab.3 : Durée de vie approximative des gaz à effet de serre dans l'atmosphère.....	17
Tab.4 Liste des principales stations météorologiques.....	32
Tab.5 : Les coefficients de corrélation des T° moyennes mensuelles entre les différentes stations qui couvrent le territoire.....	34
Tab.6 : Caractéristiques de tendance centrale et de la dispersion des températures X (moyenne des températures, $\bar{\sigma}$ (écart type des températures), CV (coefficient de variation).....	43
Tab.7 : classement de la sévérité des sécheresses SPI (McKee et al 1993).....	49
Tab.8 : Répartition des valeurs du SPI (1981/2020).....	51

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Abdelali S.**, Mohammed H., FOUGRACH H., et Wadi B., 2012. Etude des variations climatiques de la région centre du Maroc. Actes du XXVème colloque international, de l'Association internationale de la Climatologie. AIC 2012. Grenoble. pp.709-714. ISBN-978-2-90-76-96-18-0.
- **ALEXANDER L. V.**, Hope, P., Collins D., Trewin B., Lynch A., Nicholals N., 2007. Trends in Australia's climate means and extremes: a global context. Australian Meteorological Magazine, v. 56, p. 1-18, 2007.
- **ALEXANDER L.V**, X. Zhang, T.C Peterson, J. Caesar, B. Gleason, A.M.G Klein Tank, M. Haylock, D. Collins, B.Trewin, F. Rahimzadeh, A. Tagipour, K. Rupa Kumar, J. Revadekar, G. Griffiths, L. Vincent, D. B. Stephenson, J. Burn, E. Aguilar, M. Brunet, M. Taylor, M.New, P. Zhai, M. Rusticucci, J. L. Vazquez-Aguirre, 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. J. Geophys. Res., 111 : D05109, doi : 10.1029/2005JD006290.
- **ANRH**. 1993. Agence nationale des ressources en eau (ANRH). Données sur les précipitations. Plan de développement 2010. Alger
- **Aurore VOLDOIRE** et al. 2012. Notes de cours. Climate Models. Stage : Climatology, a step toward climate services, 11-22 juin 2012, ENM, Toulouse.
- **BENMEBAREK. F** et BOUADJADJA. W, 2020 « Impact des changements climatiques sur les températures et les précipitations en Algérie» Thèse Mater en Physique et météorologie, Université KARDI Merbah Ouargla.
- **BESANCENOT**, Jean-Pierre, 1978. Le bioclimat humain de Rio. In: Suchel J.B., E. Altes, J.P. Besancenot, and P. Maheras (Eds.), Recherches de Climatologie en Milieu Tropical et Mediterranean. Cahier No. 6 du Centre de Recherches de Climatologie, Universite de Dijon, Dijon.
- **BESANCENOT Jean-Pierre**, 2007. Changement climatique, tourisme et santé, le cas du bassin Méditerranéen. Actes du X Xème Colloque de l'Association de Climatologie, Carthage, 3-8 Septembre 2007.
- **BENYETTOU. M.A** et A. BOUKLIKHA. A, 2017 « Variations et tendances des températures et des précipitations journalières en Algérie » Thèse Master en Hydraulique, Université Aboubeker BELKAID Tlemcen.

- **BOUNOUA L**, A. Safia, J. Masek, C. Peters-Lidard, and M. L. Imhoff, 2009 : Impact of urban growth on surface climate: A case study in Oran, Algeria. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Volume 48, 217-231 ; DOI : 10.1175/2008JAMC2044.1.
- **BOURQUE. A**, 2000, Les changements climatiques et leurs impacts, Open Edition Journal, Numéro Spécial : Changements climatiques
- **BOUTIBA Z**, Taleb M., Abi-ayad S., 2003. Etat de la pollution marine de la côte oranaise. Oran : Dar El Gharb, 69 pp. ISBN: 9961-54-212-6.
- **BOYER. T.P.**, and S. Levitus, 1997. Objective Analyses of temperature and salinity for the world ocean on a 1/4 grid. NOAA/NESDIS Atlas 11. U.S. Gov. Printing Office, Wash., D.C., 62 pp (<http://www.nodc.noaa.gov/OC5/prwoa4.html>)
- **BRADLEY Efron**, 1979. Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife. *The Annals of Statistics*, vol. 7, no 1, janvier 1979, p. 1-26- ISSN 00905364.
- **CHACHOUA M.**, Amar Y., Kerfouf. A, 2007. Cartographie de la distribution des stocks sédimentaires des fonds du golfe d'Arzew. *Bulletin des sciences géographiques*, ISSN : 1112-3745, n° 19, pp : 6-13, Ed bulletin de l'institut national de cartographie et télédétection, Alger (Algérie), 2007.
- **COHN T.A.**, and H. F. Lins, 2005. Nature's style : Naturally trendy. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L23402, doi : 10.1029/2005GL024476.

- **CHUINE. I**, 2020, Changement climatique et biosphère, *Comptes Rendus. Géoscience*, Tome 352 (2020) no. 4-5, pp. 339-354.
- **DAVISON A. C.**, D. V. Hinkley, 1997. *Bootstrap Methods and Their Application*, Cambridge University Press, 28 octobre 1997- ISBN 0-521-57471-4.
- **DICKINSON R.**, Henderson-Sellers A., and kenedy P. 1993. Biosphere-atmosphere transfer scheme (bats) version 1e as coupled to the NCAR Community Climate Model, technical report, National Center for Atmospheric Research.
- **DRIOUECH F.**, 2010. Distribution des précipitations hivernales sur le Maroc dans le cadre d'un changement climatique : descente d'échelle et incertitudes. Thèse de Doctorat, Université de Toulouse.
- **FARAH.A.K**, 2014 « Changement climatique ou variabilité climatique dans l'Est algérien » Thèse Magistère en écologie et environnement, Université Constantine 1
- **FICHEFET T** and H. Goosse, 1999. A numerical investigation of the spring Ross Sea polynya. *Geophys.Res.Lett.*, 26,1015-1018.

- **FOLLAND C. K.**, J. Shukla, J. Kinter, and M. J. Rodwell, 2002: C20C: The climate of the twentieth century project. CLIVAR Exchanges. Vol. 7, No. 2, International CLIVAR Project Office, Southampton, United Kingdom, 37–39. (<http://eprints.soton.ac.uk/19305/1/ex24.pdf>).
- **FRICH. P.**, L. V. Alexander, P. Della-Marta, B. Gleason, M. Haylock, A. M. G. Klein Tank, and T. Peterson, 2002. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century, *Clim. Res.*, 19, 193–212.
- **FRITSCH J.M**, and C.F. Chapell, 1980. Numerical Prediction of convectively driven mesoscale pressure systems. Part 1: convective paramétrisation. *J.Atmosph.Sci*, 37, 1722-1733.
- **GUALDI S.**, Somot S., May W., Castellari S., Déqué M., Adani M., Artale V., Bellucci A., Breitgand J.S., Carillo A., Cornes R., Dell’Aquila A., Dubois C., Efthymiadis D., Elizalde A., Gimeno L., Goodess C.M., Harzallah A., Krichak S.O., Kuglitsch F.G., Leckebusch G.C., L’Heveder B.P., Li L., Lionello P.,
- **GATES. W. L.**, 1992. AMIP: The Atmospheric Model Intercomparison. Project. Bull. Amer. Meteor. Soc., 73, 1962–1970.
- GIORGI F. Bates G. and Nieman S. (1993a). The multi-year surface climatology of a regional atmospheric model over the western United States, *J. climate*, 6, 75-79.
- **GIORGI F.**, Marinucci M. and Bates G. (1993b). Development of a second generation regional climate model (regcm2): Boundary layer and radiative transfer processes, *Mon.Wea.Rev* ; 121, 2794-2813.
- **GIORGI F** et Mearns L.O, 1999. Introduction to special section: Regional climate modeling revisited, *J.Geophys.Res.*, 104, 6335-6352.
- **GOODESS C.**, 2003: STATistical and Regional dynamical Downscaling of EXTremes for European regions: STARDEX. European Geophysical Union Information Newsletter 6, <http://www.the-eggs.org/articles.php?id=3>
- **GOODESS Clare**, Christos Giannakopolous, Marian Hatzaki, Maureen Agnew, 2011. Information sheet on future climate, climate projections for the CIRCE case studies, CRU, Univ. of East Anglia, UK.
- **GRAUX. A.I**, 2011 « Modélisation des impacts du changement climatique sur les écosystèmes prairiaux » Thèse Doctorat spécialité : Ecologie.

- **GIEC**, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 1990, 1er Rapport. FAR (First Assessment Report).
- **GIEC**, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, GIEC, 2007, 4ième Rapport. AR4 (4th Assessment Report).
- **GUTTMAN NB.** 1999. Accepting the Standardized Precipitation Index: a calculation algorithm. *Journal of the American Water Resources Association* 35(2): 311-322.
- **HAYLOCK M. R.**, Peterson T. C., AlLves L. M., Ambrizzi T., Anunciacao Y. M. T., Baez J., Barros V. R., Berlato M. A., Bidegain M., Coronel G., Garcia V. J., Grimm A. M., Karoly D., Marengo J. A., Marino M. B., Moncunill D. F., Necchet D., Quintana J., Rebello E., Rusticucci M., Santos L., Trebejo I., Vincent L. A. 2006.
- **HENIA, L.** and Alouane T. 2007. Le potentiel Climato-touristique de la Tunisie, Actes du X Xème Colloque de l'Association de Climatologie, Carthage, 3-8 Septembre 2007.
- **HOLTSLAG A.**, De Bruijn E., and Pan H-L., 1990. A high Resolution air mass transformation model for short range weather forecasting, *Month. Wea. Rev.* 118: 1561-1575.

- **IPCC**, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013 Rapport d'évaluation du climat.
- **IPCC**, Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2020 Rapport d'évaluation du climat.
- **IPCC**, 2000. <http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf>
- **IPCC**, 2007. Climate Models and Their Evaluation, In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Chapters 8 and 10. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2007 <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter8.pdf>
- **JACOB D.**, Andrae U., Elgered G., Fortelius C., Graham L.C., Jackson S.D., Karstens U., Koepke R., Chr., Lindau, Podzun R., Rockel B., Rubel F., Sass H.B., Smith R.N.D, Van den Hurk B.J.J.M, Yang X. 200. A Comprehensive Model Intercomparison Study Investigating the Water Budget during the BALTEX-DICAP period. *Meteorology and Atmospheric Physics*, Vol.77, issue 1-4, 19-43.
- **JANCOVICI. J.M**, 2019, Le réchauffement climatique (le changement climatique) : réponse à quelques questions élémentaires,
- **JONES P. D.**, Jonsson, T., & Wheeler, D. (1997). "Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and SouthWest Iceland". *International Journal of Climatology*, 17(13), 1433-1450.

- **JOSEMIR A Neves**, 2012. Compute SPI index using R, Package 'spi' Version 1.1, (www.cran.r-project.org/web/packages/spi/spi.pdf)
- **KATZ R.W.**, Brown B.G., 1992 : Extreme events in a changing climate: variability is more important than averages, *Climatic Change*, 21, 289-302
- **KHALDI. A**, 2005, « Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien "Monts de Tlemcen-Saida", thèse doctorat, Université d'Oran.
- **KIEHL J.**, Hack J. , Bonan G., Boville B., Breigleb B., Williamson D., and Rasch P., 1996. Description of the NCAR community Climate Model (ccm3), Technical Report NCAR/TN-420+STR, National center for Atmospheric Research.
- **KIKTEV D.**, D. M. H. Sexton, L. Alexander, and C. K. Folland, 2003. Comparison of modeled and observed trends in indices of daily climate extremes, *J. Clim.*, 16, 3560–3571.
- **KYLE W.J.**, 1994. The human bioclimate of Hong Kong. In Brazil (R. and M. Kolar Eds.) *Contemporary Climatology*, Proc. of COC/IGU Meeting, 15-20 August, 1994, Brno, Czech Republic, Masaryk University, Brno, Czech Republic, 345-350.
- **LANQUAR R.**, 1995 : *Tourisme et environnement en Méditerranée, Enjeux et prospective*, Paris, Economica-Plan Bleu, 174 p.
- **LAURENT Li**. Evolution future du climat en Méditerranée : vers un état de sécheresse accru ? Laboratoire de Météorologie Dynamique Université Paris 6, http://www.lmd.jussieu.fr/~li/gicc_medwater/bibliographie/cnfgg_2003.pdf)
- **LECLAIRE L.**, 1972. La sédimentation Holocène sur le Versant méridional du bassin Algéro-Baléares (pré continent Algérien). Mémoire. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 391p.
- **LEVITUS, S**, 1982. *Climatological Atlas of the World Ocean*, NOAA Professional Paper 13, U.S. Government Printing Office, Washington D.C., 173pp.
- **LUTERBACHER J.**, Mariotti A., Nieto R., Nissen K.M., Oddo P., Ruti P., Sanna A., Sannino G., Scoccimarro E., Struglia M.V., Toreti A., Ulbrich U., and Xoplaki E. 2011. Future Climate Projections. In *Regional Assessment of Climate Change in the Mediterranean*: A. Navarra, L. Tubiana (eds.), Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- **MADEC. G.P** Delecluse, M.Imbard and C.levy,1998. OPA8.1 Ocean General circulation Model reference manual. Institut Pierre-Simon Laplace Internal rep.11, 91 PP.

- **MARIOTTI Annarita**, Alessandro Dell'Aquila, 2012. Decadal climate variability in the Mediterranean region: roles of large-scale forcings and regional processes, *Clim Dyn* 38:1129–1145, Springer-Verlag 201.
- **MARSLAND S.J.**, Haak H., Jungclaus J.H., Latif M. and Roske F., 2002. The Max Plank Institute global ocean/sea ice model with orthogonal curvilinear coordinates. *Ocean Modelling*,5, 91-127.
- **MCKEE, T.B.**, Doesken, N.J., Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: Preprints, Eighth Conference on Applied Climatology, January 17 e 22, Anaheim, California, pp. 179 e 184.
- **MOBERG A.**, and P.D Jones (2005). Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation in central and Western Europe, 1901-99. *Int. J. Climatol.*, 25, 1149– 1171.
- **MOBERG A.**, P.D. Jones, D. Lister, A. Walther, L.V. Alexander, M. Brunet, D. Chen, P.M. Della-Marta, J. Jacobeit, J. Luterbacher, P. Yiou, A.M.G. Klein Tank, C. Almarza, I. Auer, M. Barriendos, H. Bergström, R. Böhm, J. Butler, J. Caesar, A. Drebs, D. Founda, F.W. Gerstengarbe, M. Giusi, T. Jónsson, M. Maugeri, H. Österle, K. Pandzic, M. Petrakis, L. Srnec, R. Tolasz, H. Tuomenvirta, P.C. Werner, H. Wanner, and E. Xoplaki, 2006. Indices for daily temperature and precipitation extremes in Europe analysed for the period 1901-2000. *J. Geophys. Res.*, 111, D22106.
- **MORABITO M.**, Cecchi L., Modesti P.A., Crisci A., Orlandini S., Maracchi G., Gensini G.F., 2004b : The impact of hot weather conditions on tourism in Florence, Italy: the summers 2002-2003 experience, In : **MATZARAKIS A.**, **DE FREITAS C.R.**,
- **Proceedings** of the First International Workshop on Climate, Tourism and Recreation, International Society of Biometeorology, 158-165.
- **NAKICENOVIC, N.** and R. Swart (eds.) 2000. Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599 pp.
- **NDIAYE O.**, M.N.WARD, W.M. THIAW, 2011: Predictability of Seasonal Sahel Rainfall Using GCMs and Lead-Time Improvements Through the Use of a Coupled Model, *JOC*, Vol24,PP 1931-1949.
- **NICHOLSON, S. E**, 1985: Sub-Saharan rainfall 1981–84. *J. Climate Appl. Meteor.*,24, 1388–1391.

- **NOUACEUR. Z**, LAIGNEL. B et TURKI. I, 2013, « Changements climatiques au Maghreb : vers des conditions plus humides et plus chaudes sur le littoral algérien », Géophysique et environnement Vol 7 p 307-323.
- **OKE, T. R.** (1987). Boundary layer climates (2nd ed.). London: Methuen (435 pp)
- Organisation Météorologique Mondiale, OMM, 2012 « Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé », OMM-N° 1090.
- **PAL JS**, F.Giorgi,X.Bi, Elguindi N. ,F.Solmon,X.Gao,S.A.Rauscher,R.Francisco, A.Zakey, J.Winter,M.Ashfaq, F.S.Syed, J.L. Bell, N.S. Diffenbaugh, J.Karmacharya, A. Konaré, D.Martinez, R.P da Rocha, L.C. Sloan, and A.L. Steiner, 2007. Regional Climate Modeling for Developing World: The ICTP RegCM3 and RegCNET. Bull.Amer.Met.Soc, 88, 1395-1409.
- **PLAZZOTTA. M**, 2018 « Impacts de la gestion du rayonnement solaire sur le système Terre et rôle des boucles de rétroaction liées au cycle du carbone » Thèse doctorat Spécialité : Océan, atmosphère, climat de l'université de Toulouse.
- **REMILI Sadia**, Kerfouf Ahmed. Surveillance environnementale et développement durable côtier (cas du littoral oranais).
- **ROECKNER E**, G. Baeuml, L. Bonaventura, R. Brokopf, M. Esch, M. Giorgetta, S. Hagemann, I.Kirchner, L. Kornblueh, E. Manzini, A. Rhodin, U. Schlese, U. Schulzweida and A. Tompkins (2003): The atmospheric general circulation model ECHAM5 - Part 1. Max Plank Institut fuer meteorologie Report N 349, ISSN 0937-1060,127 pp.
- **SAHABI ABED. S**, 2012, Etude du climat d'Oran et ses simulations futures sous le scénario A1B du GIEC, Mémoire de Master en Sciences et Technologies de l'Espace.
- **SAHABI A. Salah**, 2010. Estimation de la Température à la Surface du Sol (LST) par Imagerie Satellitaire durant deux dates différentes et sa relation avec le Boisement à Oran. Projet pilote de Fin d'Etudes, CRASTE-LF, Rabat Maroc.
- **SEBAIBI. A**, 2016, Étude d'une longue série climatique, Mémoire de Master, Université de Mostaganem.
- **SEN, P.K.** 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kandall's tau. Journal of the American Statistical Association 63:1379-1389.
- **SENOUCI M.**, Goodess C., Agnew M., 2008. Briefing notes on the CIRCE Coastal case studies The Gulf of Oran.

- **Serge PLANTON** (a), 2012. Présentation : modélisation climatique et environnement Météo-France, Centre National de Recherches Météorologiques, Toulouse (<http://www2.ac-toulouse.fr/mesoe/pdf/conf02.pdf>)
- **Serge PLANTON** (b), 2012. Notes de cours Climate variability and climate change. -
- **Stage**: Climatology, a step toward climate services, 11-22 juin 2012, ENM, Toulouse
- **SIPLE, P. A.**, and C. F. Passel, 1945. Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures. Proc. Amer. Philos. Soc., 89, 177–199.
- **SOMOT S.**, Sevault F., M.Déqué and Crepon , 2007. 21st century climate change scenario for the Mediterranean using a coupled atmosphere-ocean regional climate model. Global Planet Change, 63, 112-126.
- **Synthèse des liens**, N° 2, Décembre 2016, Changement climatique & Environnement, Le phénomène El Niño et ses impacts associés.
- **TALEB Mohamed Hassani**, 1969. Bulletin du Centre de Recherche et de Documentation. Université d'Oran n° 1.1969.
- **THOM, E. C.** 1959. The discomfort index, Weatherwise, 12, 57-60.
- Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. Journal of Climate, v. 19, p. 1490-1512.
- **TONANI M, N.Pinardi**, S. Dobricic, I.Pujol, and C. Fratianni, 2008. A high-resolution free-surface model of the Mediterranean Sea, Ocean Sci., 4, 1-14.
- **TZENKOVA A.**, I. Kandjov and J. Ivancheva, Some biometeorological aspects of urban climate in Sofia, EURASAP Newsletter 49, June 2003, ISSN-1026-2172, www.eurasap.org/49/paper.html.
- **UNESCO et PNUE**, 2015 « Guide sur le changement climatique et les modes de vie » Paris, France.
- **UNGER J.**, 1999. Comparisons of urban and rural bioclimatological conditions in the case of a Central-European city. Int. J. Biometeorology 43, 139-144.
- **VALCKE S.**, 2006.OASIS3 User Guide (prism_2-5). Prism Support Initiative No 3, 68 pp.
- **WARD, M. N.**, 1998. Diagnosis and Short-Lead Time Prediction of Summer Rainfall in Tropical North Africa at Interannual and Multidecadal Timescales. JOC, Vol 11, pp 3167-3191.
- **WARD M. N, F.** Driouech, S.A. Sahabi, 2012. Seasonal Predictability in Northwestern Africa: Considering the Mix of Mid-Latitude and Tropical Influences (submitted)

BIBLIOGRAPHIE

- **WMO** : data available at World Weather Information Service, Climatological information based on monthly averages for the 30-year period 1976-2005 (<http://www.worldweather.org/>)
- **YILMAZ S.**, S. TOY, H. YILMAZ, 2007. Human thermal comfort over three different land surfaces during summer in the city of Erzurum, Turkey, *Atmósfera* 20(3), 289- 297 (2007).
- **ZENG X.**, Zhao M., Dickinson R.E., 1998. Intercomparison of Bulk Aerodynamic Algorithms for the computation of Sea Surface Fluxes using TOGA COARE and TAO data . *J. Climate*, 11, 2628-2644.
- **ZHANG X.**, Hegerl G., F. Zwiers, J. Kenyon (2005). Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003. *J. Geophys. Res.*, 110, D22104, doi:10.1029/2005JD006181.
- **ZHANG X.**, Yang F. RClimDex (1.0), 2004. User Guide. Climate Research Branch Environment Canada. Downsview (Ontario, Canada), 22p.
- **ZHANG, X.**, Hegerl G., F. Zwiers, and J. Kenyon (2005b). Avoiding inhomogeneity in percentile-based indices of temperature extremes. *J. Clim.*, 18, 1641– 1651.

SITES WEB :

<http://algerianembassy.com.tr/EN,22/presentation-of-algeria.html>,
<https://www.aquaportail.com/definition-2411-effet-de-serre.html>,
<http://www.meteofrance.fr/>,
<https://www.climat.be/fr-be/changements-climatiques/en-quelques-mots/leclimat>,
<https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/rechauffementclimatique-changement-climatique-modifie-t-il-circulation-oceanique-1106/> ,
<http://la.climatologie.free.fr/volcan/effetvolcan.htm>,
<https://kidiscience.cafe-sciences.org/articles/le-rechauffement-climatique-cestquoi/> ,
[28] <https://sites.google.com/site/tpesursoleil/ii/2-2-effet-de-serre>,
https://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9ographie_de_l%27Alg%C3%A9rie,
<http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/comprendre-le-climatmondial/le-systeme-climatique>,
<https://www.canada.ca/fr/environnement-changementclimatique/organisation/affaires-internationales/partenariats-organisations/groupeexperts-intergouvernemental-changements-climatiques.html>,

BIBLIOGRAPHIE

<https://www.caritas.org/2011/07/changement-climatique-en-algerie/?lang=fr>,
(http://www.nodc.noaa.gov/OC5/pr_woa4.html).
(<http://eprints.soton.ac.uk/19305/1/ex24.pdf>).
<http://www.the-eggs.org/articles.php?id=3>
<http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf>
<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter8.pdf>
http://www.lmd.jussieu.fr/~li/gicc_medwater/bibliographie/cnfgg_2003.pdf
(<http://www2.ac-toulouse.fr/mesoe/pdf/conf02.pdf>)
www.eurasap.org/49/paper.html.
(<http://www.worldweather.org/>)