

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTRE DE
L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE d'ORAN 2 MOHAMED BEN AHMED**



**FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS
DEPARTEMENT DE GEOGRAPHIE ET L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE**

Mémoire pour l'obtention du diplôme de master 2

en hydrologie, climatologie et territoire

Variabilité des précipitations et températures sur la station d'Oran

Mémoire réalisé par :

FELLAHI MOHAMMED ZAKARIA

Les membres du jury :

PRESIDENT : Mr .GHODBANI Tarik\ Professeur\ Université d'Oran2.

RAPPORTEUR : Mr.KOUTI Abdelaziz\ Maître-assistant \ Université d'Oran2.

EXAMINATEUR : CHEMLAL. Z\ Ingénieur d'état en météorologie\ IHFR. Oran.

Invité: ABANE Hakim\ Ingénieur d'état en météorologie\ IHFR. Oran.

Année universitaire: 2018-2019

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de ce mémoire et qui m'ont aidé à le rédiger.

Je voudrais en particulier remercier mon directeur de mémoire Mr.Kouti pour ses conseils pertinents et judicieux

De même, je remercie vivement mon ancien professeur en l'occurrence Mr Hakim ABANE pour sa disponibilité et sa patience qui ont contribué à alimenter ma réflexion

Sans oublier de remercier également tous mes collègues de l'IHFR et de l'ONM.

Dédicace

Je dédie ce mémoire de fin d'études fruit de mes années de formation à mes parents qui m'ont inculqué l'éducation qu'il faut, leur soutien indéfectible m'était très précieux, sans oublier mes frères et sœur ainsi que mes grands parents dont la protection, l'encouragement et l'amour à mon égard sont inestimables et que dieu les garde et protège

Et que vive mon pays l'Algérie

Mr. FELLAHI ZAKARIA

SOMMAIRE

Introduction générale.....	- 1 -
chapitre I : généralités sur le changement climatique.....	- 7 -
I. Le changement climatique : impacts, origines et solutions possibles.....	- 7 -
I.1. Les indices du changement climatique :	- 7 -
I.1.1. Accroissement des températures :	- 7 -
I.1.2. Elévation du niveau de la mer :.....	- 8 -
I.1.3. Bouversements météorologiques :.....	- 8 -
II. modèle climatique.....	- 8 -
II.1 Introduction :.....	- 8 -
II.2.Les différents types de modèles climatiques :	- 10 -
II.2.1 Modèles de climat global (MCG) :	- 10 -
III Scenarios Climatiques	- 11 -
III.1. Un scénario climatique :	- 11 -
III.2. Scénario de forçage radiatif :.....	- 11 -
III.3. Scénario générique :	- 12 -
III.4. Scénarios synthétiques :.....	- 12 -
III.5. Scénarios analogiques :	- 12 -
IV. LES SCENARIOS SRES DU GIEC	- 12 -
IV.1. Introduction :.....	- 12 -
IV.2. Les principales caractéristiques des nouveaux Scénarios :.....	- 13 -
V. Intérêt de la méthode descente d'échelle	- 15 -
VI.L'approche dynamique	- 17 -
VI.1. Approche statistico-dynamique :.....	- 18 -
VII. L'approche statistique :	- 20 -
Chapitre II : évolution et tendances observés.....	- 20 -
I. Etude de la variabilité et la tendance climatique durant la période instrumentale.....	- 20 -
I.1. La variabilité climatique :	- 20 -
I.1.1 Variabilité annuelle :.....	- 20 -
I.1.2 Variabilité saisonnière des pluies :	- 23 -
I.2. La tendance climatique :	- 25 -
I.2.1. Test de Spearman :	- 25 -
I.2.2. Test de Mann Kendall :	- 26 -

II.1. Etude annuelle:.....	- 27 -
II.2. Etude saisonnière :	- 28 -
II.2.1.Séries de températures :	- 28 -
II.2.1.1. Etude de Températures minimales saisonnière :	- 29 -
II.2.1.3. Etude de températures moyennes saisonnières :	- 31 -
II.2.2 Séries de précipitations :	- 33 -
Chapitre III : tendance des indices d'extrêmes climatiques	- 35 -
3.2. La station d'Oran :	- 37 -
3.2.1. Analyse des tendances moyennes :	- 37 -
3.2.1.1.La température maximale (TMAXmean):	- 37 -
3.2.1.2.La température minimale(TMINmean) :	- 37 -
3.2.1.3.Les précipitations (PRCPTOT) :	- 38 -
3.2.2. Tendances des indices dérivés :	- 38 -
3.2.2.1. Indice liés à la température :	- 38 -
3.2.2.2. Indices liés aux précipitations :	- 42 -
3.6.Conclusions	- 45 -
Chapitre IV : étude des projections climatique	- 46 -
Chapitre V : Vulnérabilité aux changement climatiques et Stratégies d'adaptation	- 46 -
V-1 . Vulnérabilité aux changements climatiques	- 63 -
V-2. Mesures quantitatives	- 64 -
V-3.Mesures qualitatives	- 65 -
Conclusion générale	- 67 -
La bibliographie.....	70

Introduction

générale

Introduction générale

Introduction générale

Le climat est un facteur très important car il conditionne le mode de vie des populations en raison de son influence prépondérante sur les activités agricoles et économiques des nations.

De nombreux travaux depuis des siècles ont traité du climat et du bioclimat et ses évolutions au cours du temps et sur des régions climatiquement fortement différentes.

Ces travaux ont été réalisés sur l'Algérie en général et sur des régions en particulier.

Le climat Algérien est pleinement intégré au climat méditerranéen faisant transition entre la zone tempérée et la zone tropicale avec un été très chaud et très sec, tempéré seulement en bordure de la mer, l'hiver est très frais et plus humide. Ce climat est ainsi caractérisé par des précipitations concentrées en saison hivernale quasiment absente en saison estivale.

Pour cette raison, ils ont confirmé que les précipitations exercent une action prépondérante pour la définition des composantes importantes des évolutions climatiques telle que la sécheresse, l'extension des déserts climatiques ou anthropiques qui prennent une ampleur grandissante.

Avec l'explosion démographique à l'échelle du globe, la consommation d'énergie a très largement augmenté, notamment en raison de l'utilisation de combustibles fossiles. Les émissions annuelles de dioxyde de carbone fossile ont augmenté de 6,4 (de 6,0 à 6,8) gigatonnes de Carbone (GtC) par an pour la période 1990-1999 à 7,2 (de 6,9 à 7,5) GtC par an pour la période 2000-2005 (GIEC, 2007) ce qui explique en partie l'effet de serre additionnel à l'origine du changement climatique.

Ce dernier, selon les modèles de circulation générale (MCG), pourrait contribuer à l'augmentation des températures au sein d'une fourchette allant de 1,5°C à 4,5°C en considérant un doublement de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère. Le lien entre l'augmentation de la température et la teneur atmosphérique en gaz à effet de serre (GES) est conforté dans le dernier rapport du GIEC (2007).

Cette augmentation de températures n'est pas sans conséquences sur les écosystèmes notamment sur l'agriculture et les premières répercussions des changements imputables au changement climatique sont déjà perceptibles tels que l'avancée des stades phénologiques

d'espèces végétales (Delecolle et al., 1999 ; Ganichot, 2002 ; Lebon, 2002 ; Seguin et

Introduction générale

Stengel, 2002 ; Stock et al., 2003 ; Duchêne et Schneider, 2004 ; Tondut et al., 2006 ; White et al., 2006 ; Duchêne et Schneider, 2007 ; Seguin et al., 2007 ; Storchmann, 2007 ; Seguin, 2010).

Étudier le changement climatique d'une région nécessite donc la prise en compte des échelles climatiques spatiales et temporelles de la zone d'étude mais également des modèles du climat pouvant donner une prospective thermique.

De nombreuses classifications existent et fournissent une typologie des échelles de climat (Orlanski, 1975 ; Yoshino, 1977 ; Beltrando et Chéméry, 1995 ; Planchon, 1997 et 1998 ; Hufty, 2001 ; Quénot, 2002). Les échelles varient du macroclimat, impliquant la circulation atmosphérique des grandes masses d'air et correspondant aux grands domaines climatiques au microclimat, s'établissant sur des espaces restreints de quelques mètres à quelques centimètres. Ces échelles spatiales et temporelles d'analyse varient bien entendu selon le but de l'étude et les définitions spatiales et temporelles varient selon les auteurs.

En effet, plus l'échelle d'analyse s'affine, plus le nombre de facteurs influant sur les variables météorologiques et climatiques augmente ainsi que la compréhension requise (Beltrando et Chémery, 1995 ; Beltrando, 2004).

Les modèles convergent à petite échelle mais à grande échelle - celles des géographes -, de nombreuses incertitudes subsistent quant à « l'amplitude et à la localisation (dans le temps et dans l'espace) des effets attendus » (Le Treut, 2010) : les phénomènes extrêmes souvent de courte durée, à des échelles topo climatiques et microclimatiques, issus de combinaisons de variables climatiques complexes, sont extrêmement difficiles à modéliser. Ces phénomènes extrêmes tels que le gel ou les vagues de chaleur sont pourtant les premières inquiétudes des professionnels dans un contexte de changement climatique car ils pourraient s'intensifier et causer de nombreux dommages sur les potentielles vendanges (Briche et al., 2011a). La puissance des calculateurs joue aussi un rôle important dans la désagrégation spatiale, la résolution géographique s'améliorant en fonction des progrès informatiques. La sensibilité des modèles dépend des échelles spatiales et temporelles considérées, d'où la difficulté de désagréger l'information.

Il est donc encore à l'heure actuelle difficile d'obtenir une modélisation du climat à l'échelle locale sans marges d'incertitudes inhérentes initialement au seul fait qu'on ne peut pas prédire le futur et que si puissantes soient les machines, un modèle est une simplification d'une réalité extrêmement complexe. Néanmoins, les modèles du climat sont les seuls outils capables d'anticiper les conditions futures à l'heure actuelle.

Introduction générale

Au début des années 1970, la communauté scientifique internationale a commencé à s'interroger sur les conséquences possibles de la modification de la composition chimique de l'atmosphère par les rejets des gaz à effet de serre d'origine anthropique. Depuis, le niveau des connaissances s'est considérablement accru. D'après le dernier rapport du Groupe intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) datant de 2007, les émissions croissantes de gaz à effet de serre ont contribué à renforcer l'effet de serre et à modifier le climat de la planète. Dans le même temps, la compréhension des mécanismes physiques en jeu a progressé et les scénarios des avenir climatiques possibles ont été affinés.

Ces progrès ont permis dès lors de dépasser le simple stade du constat d'un changement climatique et de s'intéresser à ses impacts, qui sont bien souvent locaux. Une mobilisation importante des efforts de recherche concerne désormais la régionalisation du changement climatique dans le but de prévoir ses conséquences et de mettre au point des stratégies d'adaptation avant-gardistes.

Parmi les différents impacts du changement climatique, ceux affectant le cycle de l'eau sont une des préoccupations majeures pour les sociétés humaines.

Les interrogations sont nombreuses, diverses et distinctes suivant la zone d'intérêt: les périodes de sécheresse risquent-elles d'augmenter ? Les crues se feront-elles plus intenses et/ou plus fréquentes ? Les ressources en eau seront-elles toujours suffisantes dans l'avenir pour subvenir aux besoins des activités agricoles, touristiques ou de consommation ? Autant de questions qui mettent en évidence la vulnérabilité des sociétés humaines face aux modifications qui peuvent se produire sur le cycle de l'eau. En outre, les problèmes liés à l'eau sont déjà sévères dans de nombreuses régions du globe alors que se profilent d'autres menaces importantes, comme l'augmentation de la pression démographique.

Le changement climatique pourrait ainsi rendre la situation encore plus difficile dans ces régions. Aussi, c'est avec un certain engouement que climatologues, hydrologues ou encore hydrogéologues commencent à travailler de concert avec les acteurs de l'eau sur des thématiques liées aux changements sur la ressource en eau et sur l'intensité des crues et des sécheresses.

Introduction générale

Objectif :

L'objectif de cette étude est d'apporter des connaissances sur le constat de la variabilité et le changement climatique sur la région d'Oran en fournissant une première évaluation de cette manifestation climatique.

Choix de la zone :

Les données quotidiennes de précipitations et de températures extrêmes sur la station d'Oran Senia latitude 35°38, longitude 00°36W et altitude 90 mètres, issues de la base de données de l'Office National de la Météorologie Nationale algérienne sont utilisées pour le calcul de quelques indices climatiques et leurs tendances. Elles couvrent la période 1960-2010.

A partir des données quotidiennes on a élaborée 3 fichiers:

*Le fichier des températures moyennes mensuelles des Tmax et Tmin et les totaux mensuels de précipitations.

*le fichier des températures moyennes saisonnières des Tmax et Tmin et les totaux saisonniers de précipitations.

*le fichier des températures moyennes annuelles des Tmax et Tmin et les totaux annuels de précipitations.

Le choix de cette station est justifié par le critère de l.

Le choix d'étudier cette région en particulier repose sur plusieurs points: d'abord, elle peut être considérée comme représentative des zones côtières de l'ouest du pays faisant partie du bassin méditerranéen avec une variabilité importante des conditions climatiques liées à la complexité du relief et à l'interaction entre celui-ci et la circulation atmosphérique.

En outre, les projections climatiques globales les plus récentes ont conduit à identifier le bassin méditerranéen comme une zone de « hot-spot » (Giorgi, 2006), c'est-à-dire pour lesquels les changements climatiques seront les plus sévères au cours du 21ème siècle avec une augmentation importante de la température associée à une baisse des précipitations.

Ces éléments indiquent que l'évolution de la ressource en eau pourrait devenir une question essentielle au cours du 21ème siècle pour les activités socio-économiques (agriculture, tourisme, énergie hydroélectrique, alimentation) de la population. Une solide connaissance des relations existantes entre la variabilité du climat et celle de la ressource en eau est donc nécessaire si l'on veut contribuer à une gestion durable de celle-ci.

Introduction générale

Ce travail de recherche a donc comme but d'apporter des éléments d'informations précis sur certains de ces points dont l'objectif est de mieux comprendre le rôle de certains éléments météorologiques et leurs apports.

Les travaux entrepris dans le cadre de cette étude s'organisent autour de trois axes de recherches qui sont développés dans ce mémoire en cinq chapitres.

Les trois axes et recherches sont les suivants :

(1) Approfondir les connaissances sur la variabilité spatio-temporelle des conditions climatiques et étudier l'évolution récente de celles-ci dans la région d'intérêt. Il s'agira également d'étudier les relations entre la variabilité des conditions climatiques et celle relative à la Circulation Atmosphérique à Grande Echelle (CAGE), celle-ci étant susceptible de jouer un rôle important sur les changements climatiques constatés. Cette analyse permettra d'apporter des éléments d'explication sur l'origine des changements observés.

(2) revenir sur les évolutions récentes constatées sur la région d'Oran en examinant ces dernières en se basant sur d'autres aspects statistiques permettant de caractériser les tendances climatiques.

(3) Discuter les changements futurs issus des scénarios d'un modèle climatique en fonction de la variabilité du climat et d'autres facteurs de contrôle. Un modèle climatique sera appliqué et optimisé. Cet outil s'avère utile car il permettra notamment de tester et/ou valider les hypothèses pouvant expliquer les changements observés.

Les résultats seront présentés en quatre chapitres de ce mémoire sont les suivants :

- **1er chapitre** : il présente un état de l'art des connaissances relatives aux changements climatiques récents et projetés pour la fin du 21ème siècle à l'échelle globale. Il permet ainsi de resituer notre étude dans un contexte plus général.

Une présentation des principales méthodes statistiques utilisées est également fournie.

- **2ème chapitre** : il décrit l'ensemble des données et des méthodes utilisées afin d'aborder l'analyse des chroniques climatiques permettant de dégager les tendances observées en termes de la pluviométrie et températures extrêmes et la température moyenne

Introduction générale

à Oran.

Les aspects climatiques ont été considérés, avec une attention particulière sur la constitution d'un jeu de données climatiques qui soit le plus fiable possible.

- **3ème chapitre** : il est consacré à la caractérisation de la variabilité climatique de la région sur la période 1980-2010 à travers une analyse détaillée des indices d'extrêmes climatiques. L'objectif est d'apporter des connaissances sur le fonctionnement de ces derniers et de dégager les évolutions générales ainsi que le mode dans lequel ces fluctuations se sont déroulées.

- **4ème chapitre** : il concerne l'exploitation des modèles climatiques retenus. Le but est de tester sa performance à reproduire les évolutions observées. Une évaluation de sa capacité à reproduire les tendances observées est finalement réalisée.

- **5ème chapitre** est dédiée à la présentation de la vulnérabilité aux changements climatique de la zone d'étude ainsi que la proposition de quelque stratégies d'adaptation.

L'objectif est de vérifier si les tendances futures observées sur notre région d'étude sont compatibles aux résultats et à constatations prouvées par la communauté scientifique.

Ce travail contribue au final à une meilleure connaissance de la vulnérabilité des la région au changement climatique.

La détermination des processus à l'origine de la variabilité et des évolutions du climat constitue un domaine relevant d'autres compétences et qui devra faire l'objet de recherches actives dans les centres de recherches météorologiques.

CHAPITRE I :

Généralités sur le changement climatique

Chapitre I : généralités sur le changement climatique

Le présent chapitre consiste à passer en revue tous les rudiments permettant la compréhension du changement climatique ainsi que l'outil utilisé pour évaluer ces changements puis une synthèse sur les méthodes de descentes d'échelle statistique est menée.

I. Le changement climatique : impacts, origines et solutions possibles

Le terme de changement climatique correspond à une modification durable d'un ou plusieurs paramètres du climat global de la Terre ou de ses divers climats régionaux. Ces changements peuvent être dus à des processus naturels ou plus récemment aux activités humaines, qui ont considérablement augmenté depuis le début de l'ère industrielle.

I.1. Les indices du changement climatique :

De nombreux changements du climat à long terme ont été observés à l'échelle des continents, des régions et des océans : changements des températures, de la glace arctiques, de la quantité de précipitations, de la salinité de l'océan, des structures des vents et des aspects de situations météorologiques extrêmes tels que les sécheresses, les fortes précipitations, les vagues de chaleur et l'intensité des cyclones tropicaux.

I.1.1. Accroissement des températures :

Le GIEC, Groupe International d'experts sur l'évolution de Climat, a établi, dans son 4ème rapport, les indices d'un réel réchauffement de la planète et d'autres modifications du système climatique, en premier lieu par l'observation de l'accroissement des températures moyennes mondiales de l'atmosphère et de l'océan. 11 des 12 dernières années figurent au palmarès des 12 années les plus chaudes depuis qu'on dispose d'enregistrements de la température de surface (soit 1850). L'augmentation totale de température de 1850-1899 à 2001-2005 est de 0,76°C. Les observations depuis 1961 montrent que la température moyenne des océans du monde a augmenté jusqu'à des profondeurs d'au moins 3 000 m. Les températures moyennes arctiques ont crû près de 2 fois plus vite que la moyenne mondiale au cours des 100 dernières années.

I.1.2. Elévation du niveau de la mer :

Le niveau moyen de la mer s'est élevé à un rythme de 1,8 mm/an de 1961 à 2003.

Cette vitesse a été plus rapide de 1993 à 2003, soit environ 3,1 mm/an. L'élévation totale de la mer au cours du 20ème siècle est estimée à 0,17 m. Les diminutions de glaciers de montagne, de la couverture neigeuse ainsi que le réchauffement des océans qui provoque une dilatation de l'eau de mer (« expansion thermo haline »), contribuent grandement à l'augmentation du niveau de la mer. Les pertes des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique ont également participé à l'augmentation du niveau de la mer. Les données satellitaires depuis 1978 montrent que l'étendue annuelle moyenne de la glace arctique a rétréci de 2,7 % par décennie, avec une décroissance plus forte en été de 7,4 % par décennie.

I.1.3. Bouleversements météorologiques :

Des précipitations significativement accrues ont été observées à l'est de l'Amérique du Nord et de l'Amérique du Sud, au nord de l'Europe, en Asie du nord et en Asie centrale. Un assèchement a été observé dans le Sahel, en Méditerranée, au sud de l'Afrique et dans certaines parties du sud de l'Asie. La fréquence des événements de fortes précipitations a crû sur la plupart des zones terrestres. Des changements largement répandus des températures extrêmes ont été observés pendant les cinquante dernières années : les jours froids, les nuits froides et le gel sont devenus moins fréquents, tandis que les jours chauds, les nuits chaudes et les vagues de chaleur sont devenus plus fréquents. Les observations mettent en évidence une augmentation de l'activité des cyclones tropicaux intenses dans l'Atlantique Nord depuis 1970 environ, corrélée avec des augmentations de températures de surface de la mer sous les tropiques.

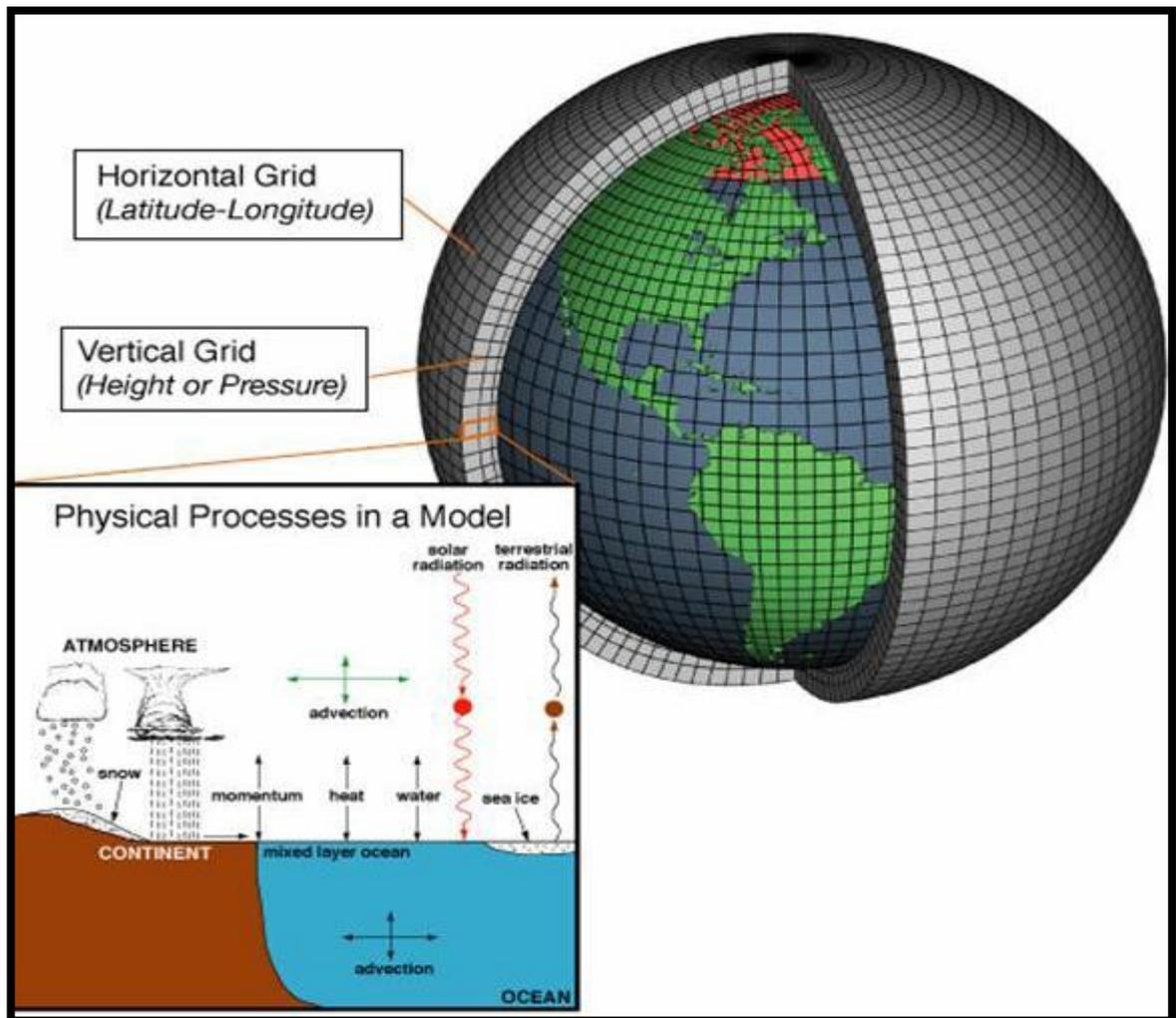
II. modèle climatique

II.1 Introduction :

De manière générale, un modèle climatique est un programme d'ordinateur essentiellement constitué d'équations mathématiques. Ces équations décrivent, de manière quantitative, comment la température de l'atmosphère, la pression de l'air, les vents, la vapeur d'eau, les nuages et les précipitations répondent au réchauffement de la surface de la terre et de l'atmosphère par le soleil. On y inclue aussi les équations qui décrivent comment

CHAPITRE I :généralités sur le changement climatique

les éléments de l'atmosphère dénommés à « effet de serre » (essentiellement la vapeur d'eau, les nuages, le dioxyde de carbone et le méthane) conservent la chaleur de la basse atmosphère en constituant une, couverture radiative qui contrôle, en partie, la vitesse de refroidissement de la terre par échappement de ses infrarouges vers l'espace lointain. Les calculs des équations nécessaires sont effectués sur chaque point d'une grille tridimensionnelle plaquée sur la terre (voir figure ci-dessous)



Dans les modèles climatiques dits « couplés » on dispose également d'équations qui tiennent compte de la circulation océanique tridimensionnelle, de la manière dont celle-ci transporte l'énergie solaire absorbée tout autour de la terre et comment elle effectue les échanges de chaleur et d'humidité avec l'atmosphère. Les modèles climatiques couplés modernes incluent aussi un modèle des terres émergées qui tient compte de la manière dont la végétation, les sols et la couverture de neige ou de glace échangent de l'énergie et de l'humidité avec l'atmosphère.

II.2.Les différents types de modèles climatiques :

II.2.1 Modèles de climat global (MCG) :

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. Leur résolution spatiale se situe généralement entre 250 et 600 km. Les MCG comprennent environ 30 niveaux verticaux que l'on pourrait virtuellement associer à une série de cubes empilés les uns pardessus les autres, de la surface de la terre jusqu'à la fin de l'atmosphère, qui renfermeraient des équations et des caractéristiques propres à chacun. Ces cubes réagissent et s'influencent mutuellement de manière à créer virtuellement la dynamique du système climatique. Il existe plusieurs modèles provenant des quatre coins du monde.

II.2.2 Modèles régionaux de climat (MRC) :

Certaines études requièrent une information climatique à une échelle plus fine que celle fournie par les MCG. On peut alors utiliser les Modèles régionaux de climat (MRC), similaires aux MCG car ils comprennent aussi des niveaux verticaux, mais de plus haute résolution spatiale, généralement autour de 50 km (RCSCCb). La modélisation à une telle résolution est beaucoup plus coûteuse en termes de temps et requiert des ressources informatiques de haute performance. Par conséquent, ce type de modèle est utilisé pour simuler le climat sur un domaine spatial plus restreint, en utilisant les données de MCG comme données aux frontières. Dans ce contexte, le MCG est appelé modèle pilote, car il établit une contrainte aux limites du domaine de simulation du MRC. La résolution accrue des MRC permet une meilleure représentation de certains éléments physiques qui sont de trop petite échelle pour les MCG. À titre d'exemples, il peut s'agir de caractéristiques géographiques comme la topographie et la présence de cours d'eau importants pouvant influencer le climat local, de certains phénomènes de nature météorologique à l'échelle locale, tels que les précipitations convectives (précipitations de forte intensité, de courte durée et sur une faible extension spatiale) et les îlots de chaleur. C'est en partie pour ces raisons que les scénarios obtenus à partir des MRC sont plus réalistes quand vient le temps de représenter les changements climatiques au niveau local (RCSCCc).

III Scenarios Climatiques

III.1. Un scénario climatique :

Description plausible et souvent simplifiée de la façon dont va se dérouler le futur, faite sur l'ensemble cohérent d'hypothèses de travail sur le développement de la société et ses implications concernant le climat.

Pour réaliser des simulations climatiques du futur, il faut disposer d'un modèle climatique qui intègre les composantes nécessaires à la représentation du climat et des rétroactions qui peuvent survenir. Un tel modèle est au moins constitué d'un modèle atmosphérique et d'un modèle océanique mais d'autres composantes peuvent être utiles suivant la durée de simulation réalisée. Au CNRM-GAME, le modèle CNRM-CM est développé pour réaliser des scénarios sur le 21^{ème} siècle.

Il faut aussi faire des hypothèses sur l'évolution future des "forçages" externes au système modélisé. Ces forçages sont constitués des gaz à effet de serre et autres particules (aérosols) ayant un impact sur le climat mais aussi du rayonnement solaire incident au sommet de l'atmosphère. Concernant les gaz à effet de serre et les aérosols, leur évolution future est fortement liée aux activités humaines et reste très incertaine. Afin de prendre en compte ces incertitudes, différents scénarios d'émissions de ces particules sont proposés par des économistes et les modèles sont utilisés pour simuler l'évolution du climat suivant ces différents scénarios d'émission. Les figures suivantes illustrent l'évolution de la concentration en dioxyde de carbone pour différents scénarios proposés dans le processus GIEC.

Les scénarios du GIEC (souvent appelé SRES pour : rapports spéciaux sur les scénarios d'émissions) publiés par le GIEC en 2000 envisagent différentes possibilités de développement, ils prennent en compte des facteurs démographiques, économiques, et technologiques ainsi que les émissions des gaz à effets de serre qui en découlent.

III.2. Scénario de forçage radiatif :

Représentation plausible de l'évolution future du forçage radiatif liée, par exemple, à

des changements de composition de l'atmosphère ou d'affectation des sols, ou encore à des facteurs externes tels que les fluctuations de l'activité solaire.

III.3. Scénario générique :

Description vraisemblable et souvent simplifiée de ce que nous réserve l'avenir, fondé sur un ensemble cohérent et intrinsèquement homogène d'hypothèses concernant les principales relations et forces motrices en jeu.

III.4. Scénarios synthétiques :

Les scénarios synthétiques, parfois appelés « arbitraires » ou « incrémentiels», sont les scénarios de changement climatique les plus simples actuellement disponibles. Ils servent principalement à l'analyse des sensibilités, qui a pour but de déterminer la réaction d'un système donné (p. ex., rendement agricole, débit fluvial) à un large éventail de variations climatiques.

III.5. Scénarios analogiques :

Les scénarios analogiques utilisent des données climatiques recueillies soit sur le site à l'étude (analogues temporels), soit à un autre endroit dont le climat ressemble à celui que l'on prévoit dans le site à l'étude (analogues spatiaux). Les scénarios analogiques ne rendent pas les gaz à effet de serre responsables des changements, certains chercheurs leur attribuent une valeur limitée dans l'évaluation quantitative des impacts du changement climatique.

IV. LES SCENARIOS SRES DU GIEC

IV.1. Introduction :

Le (GIEC) a élaboré des scénarios d'Émissions à long terme en 1990 et 1992. Ces scénarios ont été largement utilisés pour analyser les Changements climatiques possibles, leurs impacts et les solutions pour les atténuer. En 1995 les scénarios de 1992 du GIEC ont été Évalués. Cette évaluation repose sur l'évolution l'intensité des GES.

CHAPITRE I :généralités sur le changement climatique

Cela a amené le GIEC à décider en plénière, en 1996, d'élaborer un nouvel ensemble de scénarios, qui est décrit ci-dessous.

En effet, les émissions futures des GES sont le produit de systèmes dynamiques très complexes déterminés par des forces Motrices telles que la croissance démographique, le développement Socio-économique et l'Évolution technologique. Leur Évolution future Est hautement incertaine. Les scénarios sont des images diverses du Déroulement possible du futur et ils constituent un outil approprié Pour analyser comment des forces motrices peuvent influencer sur les Émissions futures et pour Évaluer les incertitudes connexes. Ils aident à analyser l'Évolution du climat, notamment sa modélisation et l'Evaluation des impacts, de l'adaptation et de l'atténuation.

IV.2. Les principales caractéristiques des nouveaux Scénarios :

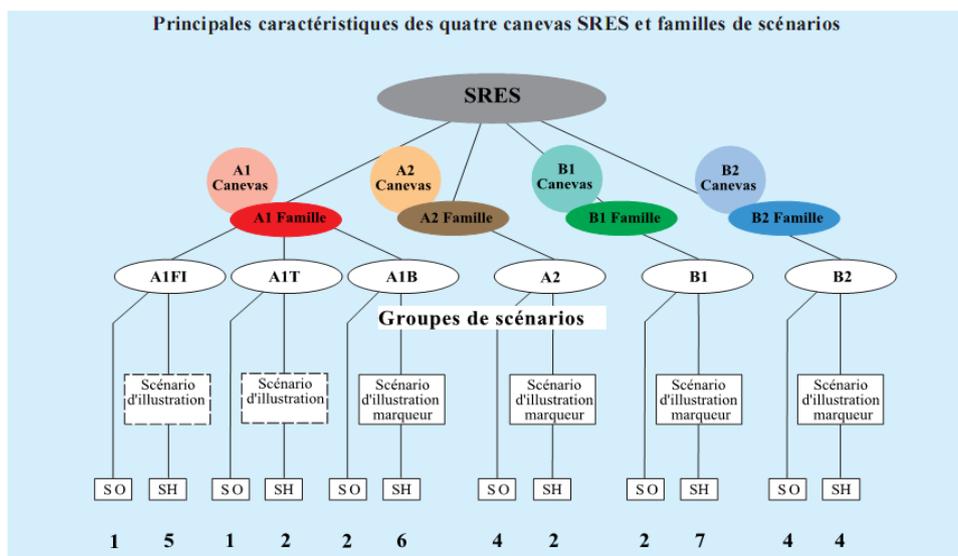


Fig2.2: Illustration schématique des scénarios SRES

Quatre canevas qualitatifs produisent quatre ensembles de scénarios, appelés "familles": **A1, A2, B1 et B2.**

Il y a six groupes de scénarios découlant des quatre familles: Un groupe pour les familles **A2, B1 et B2** et trois groupes pour la famille **A1** ((**A1F1**), (**A1T**), (**A1B**)).

Chaque canevas suppose une direction distincte de l'évolution future, de sorte que les quatre canevas diffèrent d'une manière de plus en plus irréversible.

CHAPITRE I :.....généralités sur le changement climatique

Ensemble ils décrivent des futurs divergents qui englobent une partie importante des incertitudes sous-jacentes dans les principales forces motrices. Ils recouvrent un large éventail de caractéristiques futures.

A1. Le canevas et la famille de scénarios **A1** décrivent un monde futur dans lequel la croissance économique sera très rapide, la population mondiale atteindra au maximum au milieu du siècle pour décliner ensuite et de nouvelles technologies plus efficaces seront introduites rapidement. Les principaux thèmes sous-jacents sont la convergence entre régions, le renforcement des capacités et des interactions culturelles et sociales accrues, avec une réduction substantielle des différences régionales dans le revenu par habitant. La famille de scénario A1 se scinde en trois groupes par leur accent technologique : forte intensité de combustibles fossiles (**A1F1**), sources d'énergie autres que fossile (**A1T**) et équilibre entre les sources (**A1B**).

A2. Le canevas et la famille de scénarios **A2** décrivent un monde très hétérogène. Le thème sous-jacent est l'autosuffisance et la préservation des identités locales. Les schémas de fécondité entre régions convergent très lentement, avec pour résultat un accroissement continu de la population mondiale. Le développement économique a une orientation principalement régionale, et la croissance économique par habitant et l'évolution technologique sont plus fragmentées et plus lentes que dans les autres canevas.

B1. Le canevas et la famille de scénarios **B1** décrivent un monde convergent avec la même population mondiale culminant au milieu du siècle et déclinant ensuite, comme dans le canevas **A1**, mais avec des changements rapides dans les structures économiques vers une économie de services et d'information, avec des réductions dans l'intensité des matériaux et l'introduction de technologies propres et utilisant les ressources de manière efficiente.

L'accent est placé sur des solutions mondiales orientées vers une viabilité économique, sociale et environnementale, y compris une meilleure équité, mais sans initiatives supplémentaires pour gérer le climat.

B2. Le canevas et la famille de scénarios **B2** décrivent un monde où l'accent est placé sur des solutions locales dans le sens de la viabilité économique, sociale et environnementale. La population mondiale s'accroît de manière continue mais à un rythme plus faible que dans **A2**, il y a des niveaux intermédiaires de développement économique et l'évolution technologique est moins rapide et plus diverse que dans le canevas et dans les familles de scénarios **A1** et **B1**.

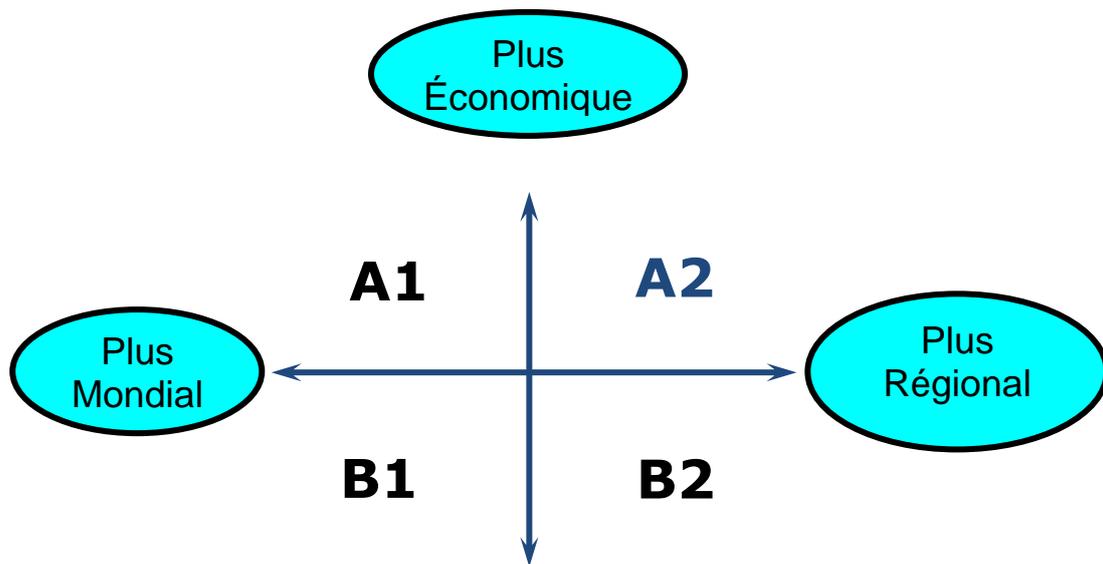


Fig. 2.3 Les quatre familles du scénario climatique.

Après cette revue bibliographique sur les modèles et scénarios climatiques, on présente dans ce qui suit les principales méthodes utilisées par la communauté scientifique afin d'effectuer une descente d'échelle statistique.

V. Intérêt de la méthode descente d'échelle

Les modèles de type GCM constituent l'outil principal pour l'étude des évolutions du climat global soumis à un forçage anthropique (gaz à effet de serre, aérosols...). Or, ces modèles, qui couplent généralement plusieurs modèles numériques entre eux (atmosphère, sol, océan, banquise...), sont complexes et coûteux à mettre en œuvre ce qui a pour principal effet de limiter leur résolution spatiale. Actuellement, la résolution de ces GCM est comprise entre 100 et 300 km.

La mise en place de politiques d'adaptation en lien avec certains enjeux régionaux ou locaux nécessite la mise en œuvre de modèles d'impact qui supposent de disposer de projections de certaines variables météorologiques à des échelles spatiales plus fines que celles proposées par les GCM. En effet, le climat peut, selon les caractéristiques physiographiques d'une zone géographique donnée, présenter une variabilité spatiale à des échelles très fines. Certaines particularités telles que l'usage des sols, la topographie, les contrastes terre-mer des régions côtières ou insulaires sont primordiales dans la détermination du climat régional ou local.

Une variable en point de grille issue d'un GCM représente une moyenne sur une maille dont la taille dépend de la résolution du modèle (ex : 100 km x 100 km = 10 000 km² pour une maille de 100km). Plus la résolution est faible, plus la valeur modèle s'éloigne des valeurs observées en un point précis. De plus, les phénomènes physiques qui prennent place à des échelles spatiales plus fines que la maille du modèle ne sont pas explicitement résolus et doivent donc être approximés par une paramétrisation.

Ces paramétrisations physiques n'étant pas parfaites, des biais plus ou moins importants apparaissent sur certaines variables du modèle de climat. C'est plus particulièrement le cas pour les précipitations dont la nature convective dans les régions tropicales fait intervenir des processus de très fine échelle qui ne sont pas représentés de manière réaliste dans les GCM.

La mise en œuvre de techniques de descente d'échelle à partir des données des GCM permet de corriger partiellement ces lacunes et de traduire certaines des tendances mises en évidence par les GCM sur les paramètres locaux.

Les méthodes de descente d'échelle permettent donc d'exploiter l'information climatique de grande échelle disponible dans les scénarios proposés par les GCM pour dériver des scénarios régionaux voir locaux pour la ou les variables météorologiques d'intérêt et pour la mise en œuvre d'un modèle d'impact. On parle également de désagrégation.

Les techniques de descente d'échelle (réduction d'échelle ou downscaling) spatiale

CHAPITRE I :.....généralités sur le changement climatique

servent notamment à élaborer des scénarios de changement climatique à échelles spatiales fines à partir de sorties de MCG à résolution plus grossière. Elles se divisent en méthodes statistiques (Wilby et al. 1998, Wilby et al. 2002) et en méthodes dynamiques incluant les MCG (Cubasch et al., 1995) à haute résolution, les MCG à résolution variable (Déqué et Pièdelièvre, 1995 ; Mc Gregor, 1996) et les modèles régionaux du climat à aire limitée (Giorgi, 1990 ; Jones et al., 1995 ; Rummukainen et al., 2001).

VI.L'approche dynamique

Les méthodes de descente d'échelle dynamique consistent à utiliser un modèle atmosphérique global à haute résolution (les forçages externes étant fournis par les AOGCM) ou un modèle atmosphérique régional dit à aire limitée couplé à un modèle de climat global (GCM ou AOGCM).

La première méthode consiste donc à utiliser un GCM à haute résolution et couvrant l'ensemble du globe. Certains modèles, comme ARPEGE-Climat (Météo-France), utilisent une maille variable avec un pôle de compression sur une partie du globe et, à l'opposé, un pôle de dilatation. Ils permettent ainsi d'atteindre des résolutions fines (50 km sur les versions actuelles d'ARPEGE –Climat) sur la région du globe d'intérêt tout en conservant un coût de calcul raisonnable. Ces modèles sont « forcés » en données initiales par les AOGCMs dont la résolution est comprise entre 100 et 300 km.

Les ressources de calcul nécessaires pour ce type de simulation peuvent être réduites en identifiant les périodes d'intérêt et en ne faisant tourner le GCM « haute-résolution » que sur ces périodes, alors que le modèle de plus grande échelle (AOGCM) simule l'évolution générale du climat sur les phases transitoires. Les périodes d'intérêt doivent à la fois couvrir le climat actuel et le climat du futur et être suffisamment longues (au moins 30 ans) pour simuler les différents modes de variabilité (interannuelle, inter décennale). Ceci permet d'une part d'évaluer la capacité du modèle à reproduire le climat présent et de calculer les changements sur les variables climatiques pertinentes.

La deuxième solution est l'utilisation de modèles à aire limitée appelés modèles climatiques régionaux (RCMs). Ces modèles couvrent seulement une partie du globe. Ils permettent d'atteindre des hautes résolutions de l'ordre de 10 à 20 km. De la même manière que pour les GCMs « haute résolution », ils se concentrent sur des périodes d'intérêt multi

décennales. Ils sont capables de décrire les mécanismes climatiques d'interactions agissant à l'échelle régionale mais également de résoudre partiellement les effets du relief sur les paramètres locaux. Ces modèles sont « forcés » en données initiales et sur leurs limites géographiques par les simulations des AOGCMs.

Les principales limitations théoriques de cette technique sont donc les effets des erreurs systématiques du champ de grande échelle, provenant du modèle global et le manque d'interaction « two-way » entre le climat régional et le climat global (les modifications de la circulation atmosphérique simulés par le modèle régional ne sont pas reportées dans le modèle globale). En d'autres termes, le RCM est contraint (ou forcé) par le modèle global coupleur au niveau de sa circulation de grande échelle et ne peut donc pas développer sa propre circulation. Les erreurs introduites par la représentation de grande échelle du GCM, sont donc transmises aux RCMs. Des simulations en mode « twoways » existent mais sont très coûteuses en temps de calcul et donc peu utilisées dans la pratique.

Il est également reconnu que les RCMs génèrent eux-mêmes des biais qui ne sont pas attribuables au biais transmis par les modèles coupleurs de grande échelle. Les biais régionaux typiques de la température de surface et des précipitations sont de l'ordre de 2°C et de 50 à 60% des valeurs observées, respectivement.

L'exploitation des données en sortie des RCMs nécessite généralement de les corriger par des méthodes statistiques calibrées sur les observations d'une période du climat passé (ex : méthode « quantile-quantile », Déqué, 2007).

Pour chaque application, une étude précise est nécessaire pour certains aspects de la configuration du modèle tels que les paramétrisations physiques, la taille du domaine et la résolution, ainsi que la technique d'assimilation du forçage de grande échelle.

VI.1. Approche statistico-dynamique :

Elle utilise modélisations numériques et statistiques. Ainsi, dans le cadre du changement climatique, on peut théoriquement caler les coefficients des relations statistiques entre champs d'estimateurs et champs à désagréger dans l'observation ; on utilise alors des données observées sur la fenêtre d'intérêt, on cale les coefficients puis on projette dessus les sorties du modèle. On peut aussi ne se servir que de l'information

CHAPITRE I :généralités sur le changement climatique

climatique issue du modèle en y ajoutant des pondérations géographiques, mais ceci est sensible aux biais du modèle. Le plus souvent aujourd'hui, on développe une approche « mixte » en décomposant dans une même base orthogonale l'information modèle et l'observation (décompositions factorielles des champs observés et simulés, puis projection sur la partie observée). Ces modèles mixtes reposent sur l'interfaçage entre des sorties des MGC et des données in situ. Ils sont mis en œuvre dans des thématiques liées au changement climatique. Ils supposent que la dynamique grande échelle soit bien reproduite dans les MCG et qu'elle soit corrélée avec un champ d'échelle inférieure, type précipitations in situ. Lorsque les précipitations en Afrique tropicale constituent la variable cible par exemple, ces approches demandent à ce que les relations entre les échelles soient formalisées statistiquement au travers d'études diagnostiques menées sur les phénomènes qui organisent la convection (variabilité de la circulation des courants-jet d'altitude, des ondes d'est, du cycle saisonnier) et, en parallèle, sur les sorties numériques disponibles à haute résolution spatio-temporelle. Les simulations du changement climatique posent des problèmes particuliers puisqu'on suppose une invariance dans le temps des mécanismes liant le paramètre cible (les précipitations, par exemple) et les variables climatiques issues du modèle. Aussi, le changement climatique entre « l'actuel et la fin de ce siècle » étant généralement petit par rapport aux biais systématiques du modèle, on ne peut utiliser directement les champs bruts. En revanche, il est possible d'avoir une idée juste des anomalies par rapport à l'état actuel et cette information différentielle peut être introduite dans les modèles d'impact calés sur l'actuel. Il est ainsi possible de tester statistiquement la sensibilité de la réponse climatique aux différents scénarios du changement et donc d'estimer les limites de réponse (non linéaires) des modèles d'impact. L'exemple du lien observé entre la pression de surface sur l'Afrique australe et les océans bordiers et les précipitations sur le plateau sud-africain, lien bien simulé dans le modèle couplé océan-atmosphère ARPEGE/OPA permet de diagnostiquer un risque de diminution des précipitations pour le XXI^e siècle. L'approche statistico-dynamique s'est révélée pour le moment aussi efficace et moins coûteuse que l'approche dynamique. Mais son efficacité est fonction de la fiabilité et de la densité des réseaux qui doivent permettre de retrouver la diversité interne de la région de travail. Plusieurs questions restent posées : la représentativité et la hiérarchie locale des modes de variabilité, les liens entre événements intenses et champs moyens quand on désagrège un champ discontinu comme les précipitations, le simple fait que le nombre de jours soit plus cohérent que les cumuls, les

pondérations à adopter pour lisser certains événements intenses et éviter qu'ils ne prennent toute la relation.

VII. L'approche statistique :

On se limite à la méthode utilisée dans la suite de notre travail

Générateur de séries :

Les générateurs de séries permettent de reproduire les caractéristiques statistiques d'une variable locale mais pas des événements observés. Ils permettent en particulier d'augmenter artificiellement les longueurs des séries en conservant les caractéristiques statistiques.

Ces méthodes ont été principalement utilisées pour les précipitations pour des applications hydrologiques. Elles peuvent être utilisées pour des études d'impact des changements climatiques en reliant les paramètres permettant de générer les séries à des prédicateurs de grande échelle, des types de temps ou aux caractéristiques de précipitations. Ces méthodes permettent une désagrégation d'échelle temporelle, par exemple pour désagréger des quantités mensuelles de précipitations et de nombre de jours pluvieux en quantités quotidiennes de précipitations ou des quantités quotidiennes en quantités pour des périodes inférieures à 24h.

Avantages:

- Production de larges ensembles pour le calcul d'incertitudes ou des simulations longues d'extrêmes
- Interpolation spatiale des paramètres du modèle utilisant les variables d'environnement ou des conditions de surface
- Peuvent générer de l'information à l'échelle sub-quotidienne

Contraintes:

- En cas de modification des paramètres du générateur dans le climat futur simulé, risque d'interactions inattendues entre variables pouvant déboucher sur une amplification ou diminution artificielle de l'impact des changements climatiques.
- Ajustement arbitraire des paramètres du générateur pour le climat futur

CHAPITRE I :.....généralités sur le changement climatique

Tout au long de ce chapitre on a passé en revue quelques rudiments sur le changement climatique et la modélisation climatique, puis une présentation de la technique de descente d'échelle statistique utilisée dans ce travail.

Chapitre II :
Évolution et
tendances observées

Chapitre II : évolution et tendances observées

Etant donné que toute question sur le changement futur du climat entraîne celle liée à l'évolution passée et inversement, l'étude commence par analyser, les chroniques climatiques durant la période instrumentale les tendances observées au niveau des paramètres clés à savoir : la pluviométrie et températures extrêmes et la température moyenne pour Oran.

I. Etude de la variabilité et la tendance climatique durant la période instrumentale

Cette partie présente les différents résultats obtenus à partir de traitement des séries de données. Des calculs de base ont été effectués sur les séries brutes de façon à qualifier et quantifier les variations des paramètres températures et précipitations au cours du temps.

Les données quotidiennes de précipitations et de températures extrêmes sur la station d'Oran Es-sénia issues de la base de données de l'Office National de la Météorologie Nationale algérienne sont utilisées pour le calcul de quelques indices climatiques et leurs tendances. Elles couvrent la période 1960-2010.

A partir des données quotidiennes on a élaboré 3 fichiers:

*Le fichier des températures moyennes mensuelles des Tmax et Tmin et les totaux mensuels de précipitations.

*le fichier des températures moyennes saisonnières des Tmax et Tmin et les totaux saisonniers de précipitations.

*le fichier des températures moyennes annuelles des Tmax et Tmin et les totaux annuels de précipitations.

Le choix de cette station est justifié par le critère de la disponibilité des séries de données avec le moins de lacunes possibles.

I.1. La variabilité climatique :

I.1.1 Variabilité annuelle :

Afin d'étudier la variabilité des totaux annuels des pluies et les températures moyennes annuelles, on a procédé à un lissage de Fourier dont le principe est d'effectuer une transformée de Fourier, et ne retenir qu'une partie du spectre ; dans notre étude on a opté pour la moitié du spectre $p=0.5$, puis de faire une transformée inverse afin d'obtenir la série

CHAPITRE II :..... évolution et tendances observées

lissée. Les graphiques ci-dessous présentent les résultats ainsi obtenus du lissage et l'évolution des résidus issus de lissage

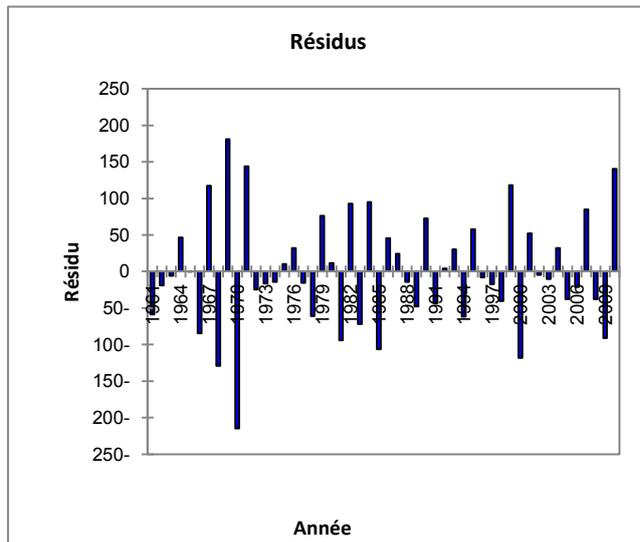


Fig 1.2: Evolution des résidus issus de lissage par transformée de Fourier des totaux annuels de précipitations

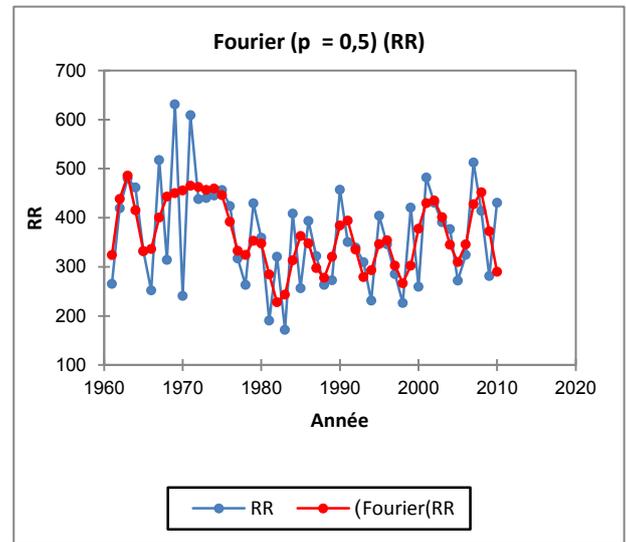


Fig 1.1: Lissage par transformée de Fourier des totaux annuels de précipitations

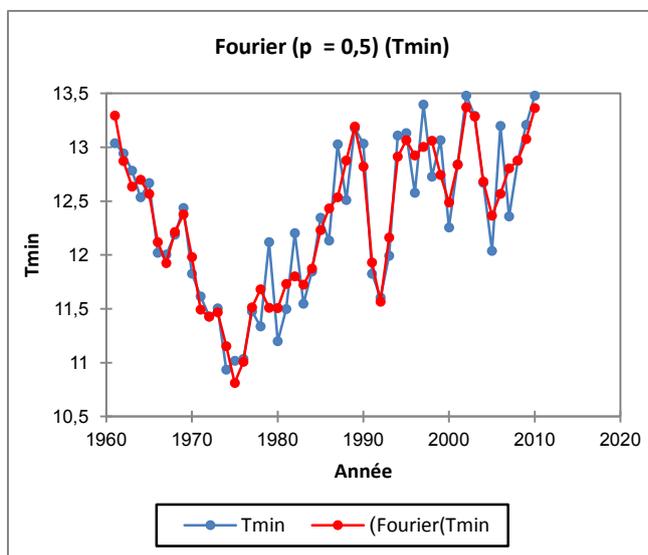


Fig 1.3: Lissage par transformée de Fourier des moyennes annuelles de température minimale

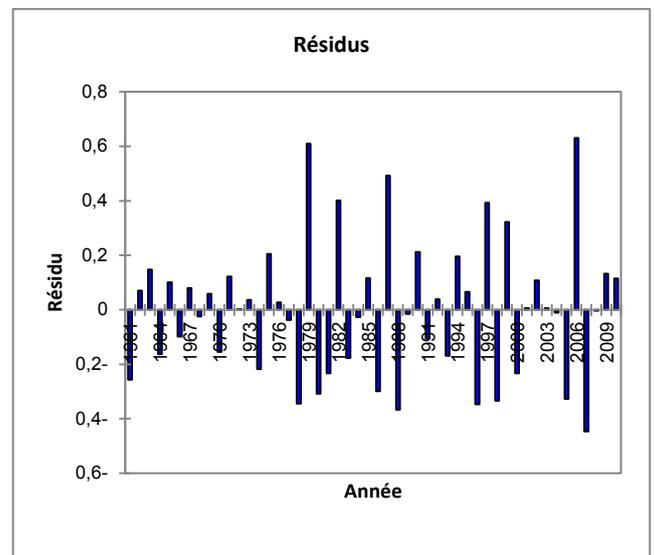


Fig 1.4: Evolution des résidus issus de lissage par transformée de Fourier des moyennes annuelles de température minimale

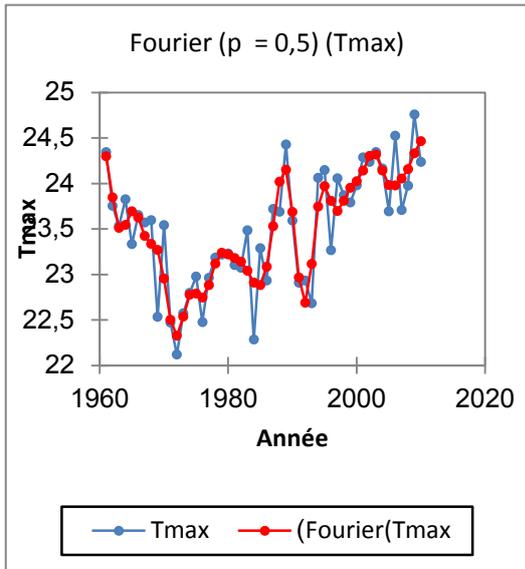


Fig 1.5: Lissage par transformée de Fourier des moyennes annuelles de température maximale

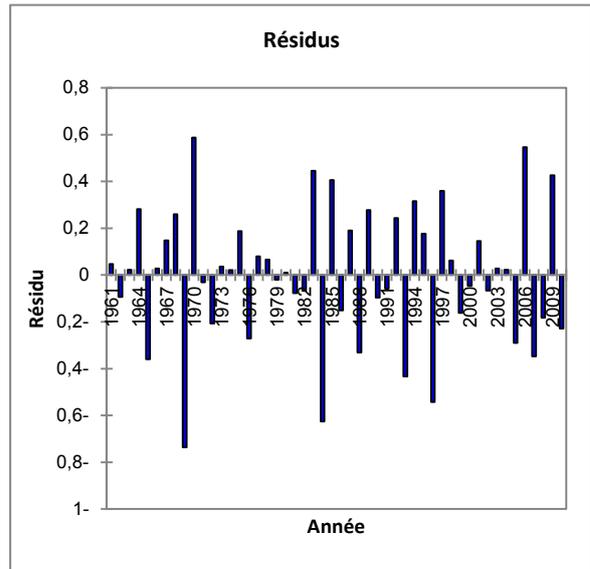


Fig 1.6: Evolution des résidus issus de lissage par transformée de Fourier des moyennes annuelles de température maximale

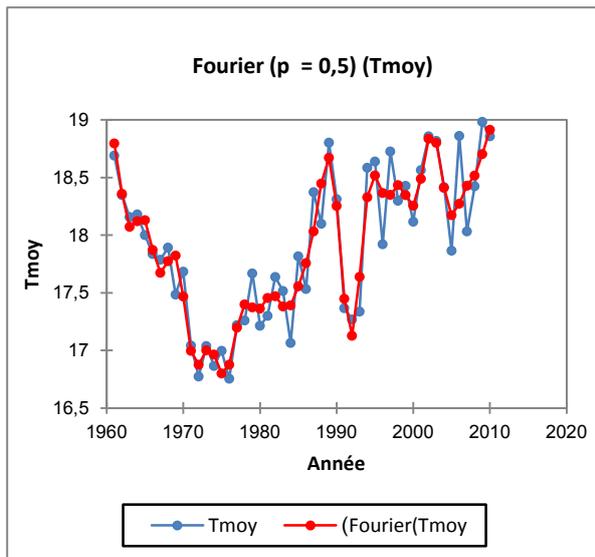


Fig 1.7: Lissage par transformée de Fourier des moyennes annuelles de température moyenne

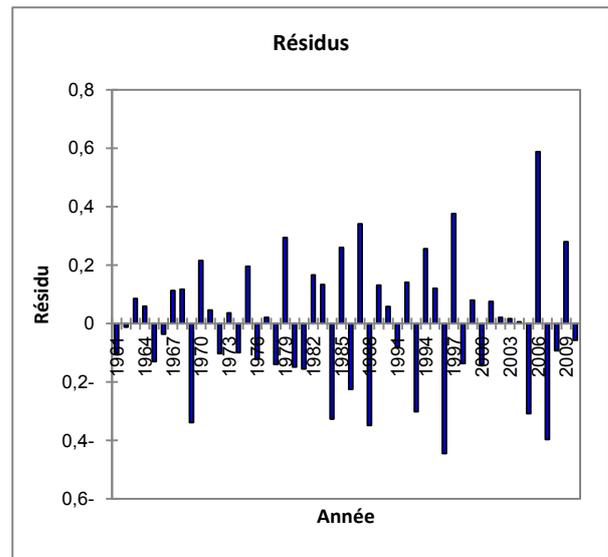


Fig 1.8: Evolution des résidus issus de lissage par transformée de Fourier des moyennes annuelles de température moyenne

I.1.2 Variabilité saisonnière des pluies :

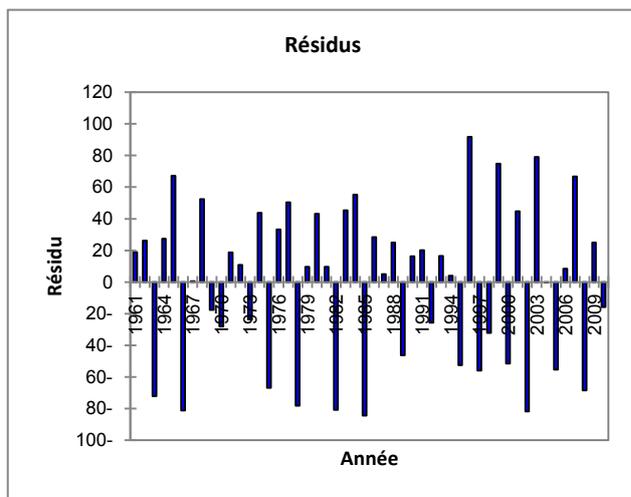


Fig 1.10: Evolution des résidus issus de lissage par transformée de Fourier des totaux de la saison DJF de précipitations

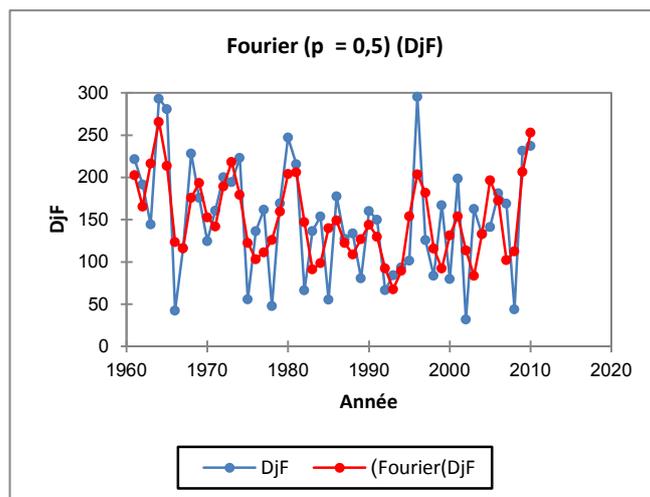


Fig 1.9: Lissage par transformée de Fourier des totaux de la saison DJF de précipitations

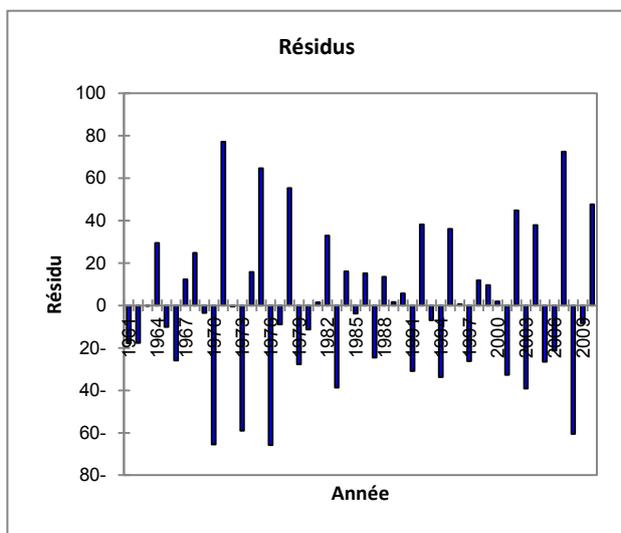


Fig 1.12: Evolution des résidus issus de lissage par transformée de Fourier des totaux de la saison MAM de précipitations

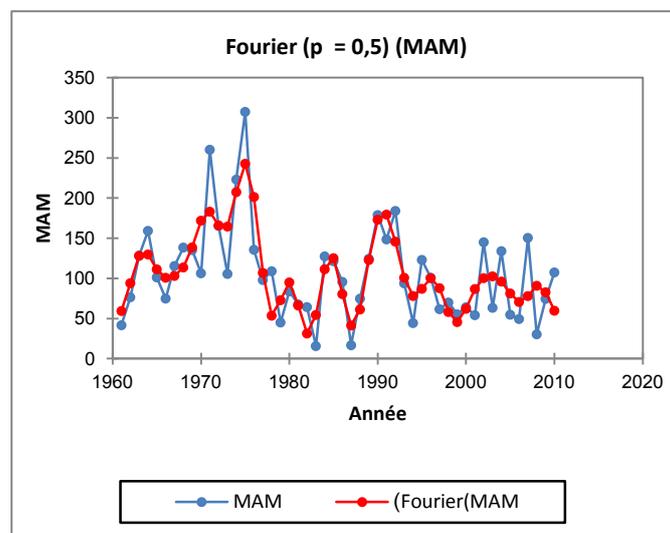


Fig 1.11: Lissage par transformée de Fourier des totaux de la saison MAM de précipitations

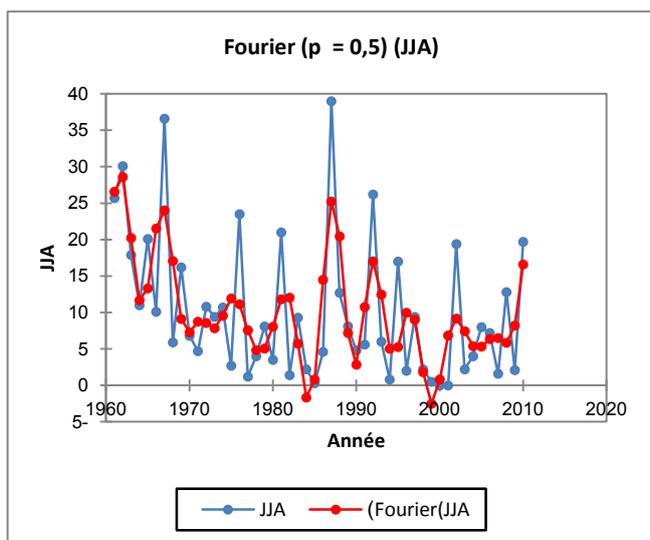


Fig 1.13: Lissage par transformée de Fourier des totaux de la saison JJA de précipitations

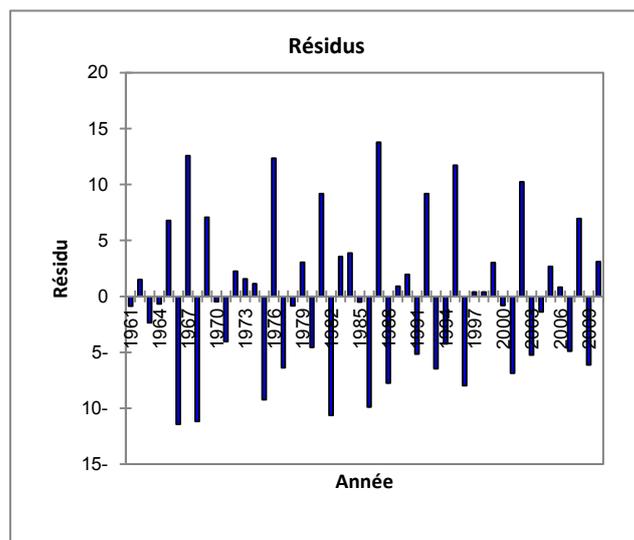


Fig 1.14: Evolution des résidus issus de lissage par transformée de Fourier des totaux de la saison JJA de précipitations

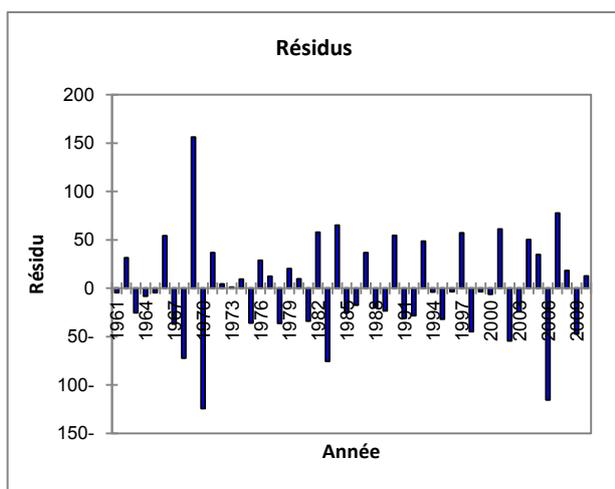


Fig1.16: Evolution des résidus issus de lissage par transformée de Fourier des totaux de la saison SON de précipitations

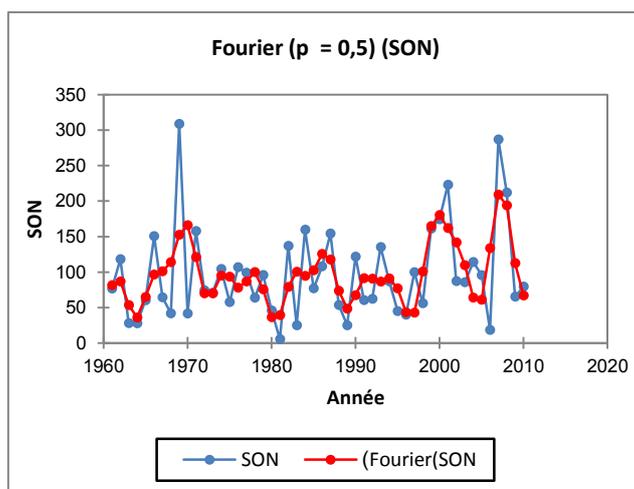


Fig 1.15: Lissage par transformée de Fourier des totaux de la saison SON de précipitations

Discussion :

L'une des caractéristiques principales de la pluviométrie, sur la station d'Essenia, est sa grande variabilité interannuelle. En effet, d'une année à l'autre le total annuel peut varier fortement. Le même constat peut se faire sur la variabilité saisonnière concernant ce paramètre crucial.

En ce que concerne les températures extrêmes ces dernières présentent une variabilité moins importante que les précipitations ceci est dû au fait qu'on est en train d'étudier des températures moyennes sur 365 jours ce qui rend l'explication de cette variabilité difficile.

Afin d'affiner l'étude on s'est intéressé à la tendance de ces paramètres pour répondre à la question suivante :

Est-ce que cette variabilité possède une certaine tendance ? Si oui qu'elles sont les saisons les plus affectées par cette tendance ?

I.2. La tendance climatique :

Les formes que risquent de prendre les tendances climatiques et les changements climatiques correspondantes sont décrites de façon différente selon les auteurs. Dès 1966 l'organisation météorologique mondiale a essayé d'unifier la définition de la tendance.

La tendance climatique est un changement climatique caractérisé par une diminution ou un accroissement significatif régulier monotone des valeurs moyennes durant la période de relevé. Plusieurs tests existent pour mettre en évidence l'existence éventuelle d'une tendance, on peut citer ceux préconisés par la note 143 de l'organisation mondiale de la météorologie.

I.2.1. Test de Spearman :

On calcule la corrélation entre la chronologie i et le rang y_i valeurs de la série. Plus la corrélation est grande et plus elle est significative. Ce coefficient est donné par l'expression :

$$r = 1 - (6 \sum_{i=1}^n (y_i - i)^2 / n(n^2 - 1))$$

i : la chronologie.

y_i : le rang.

I.2.2. Test de Mann Kendall :

Soit la série X_i , i variant de 1 à n . On calcule pour chaque élément, le nombre d'élément qui le précède et qui lui sont inférieurs et l'on fait la somme de ces nombres (t). Plus (t) est grand et plus l'organisation de la série est importante.

La variable (t) est distribuée selon une loi normale avec :

$$E(t) = n \times (n - 1) / 4 \quad \text{Var}(t) = n \times (n - 1) \times (2n + 5) / 72$$

On cherche la probabilité α à l'aide de la loi normale centrée réduite tel que

$$\alpha = \text{prob}(|u| > u(t)) \quad \text{avec} \quad u(t) = (t - E(t)) / \sqrt{\text{var}(t)}$$

L'hypothèse nulle (absence de tendance) est acceptée ou rejetée au niveau de signification α pour un seuil de 0.05 selon que l'on a $\alpha > \alpha_0$ ou $\alpha < \alpha_0$.

Lorsque les valeurs de $u(t)$ sont significatives (Sneyers.R, 1975), on déduit que la tendance est croissante ou décroissante selon que $u(t)$ est positif ou négatif.

Il reste à souligner que l'un et l'autre de ces tests possèdent la même efficacité. Toute fois lorsqu'une série présente une tendance significative et que l'on désire situer l'époque à partir de laquelle la tendance s'est manifestée, la statistique du second test (Mann Kendall) se prête mieux au calcul progressif et rétrograde nécessaire à cet effet. On fait la même procédure qu'avant, en inversant la direction du calcul ; la variable $u(t')$ obtenue est appelée série rétrograde. Le point d'intersection de $u(t')$ avec $u(t)$ donne le début de la tendance.

La significativité des tendances est évaluée, dans notre étude, à l'aide du test Mann-Kendall.

Ce test a l'avantage d'être non paramétrique (ne fait aucune hypothèse sur la distribution sous-jacente des données) et il est recommandé à l'heure actuelle par l'OMM.

Une tendance est considérée significative si la p-value relative au test est inférieure à 0.05 ; soit une significativité au seuil 95%.

Les hypothèses du test sont les suivantes :

H0 : Il n'y a pas de tendance dans la série

H1 : Il existe une tendance dans la série

II.1. Etude annuelle:

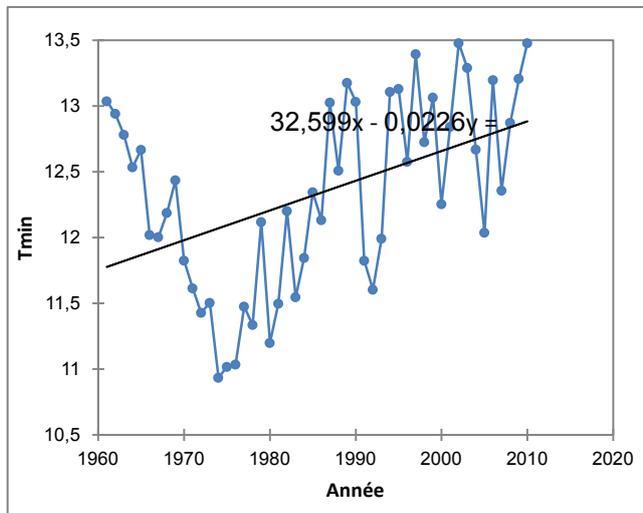


Fig 1.17 : tendance de la température minimale moyenne annuelle

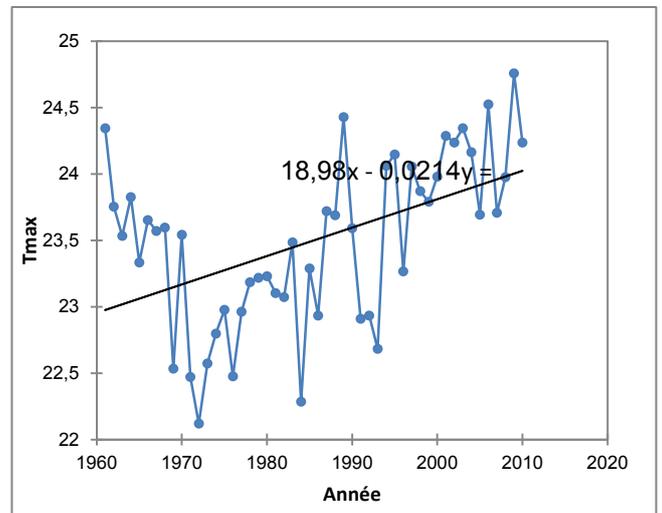


Fig 1.18 : tendance de la température maximale moyenne annuelle

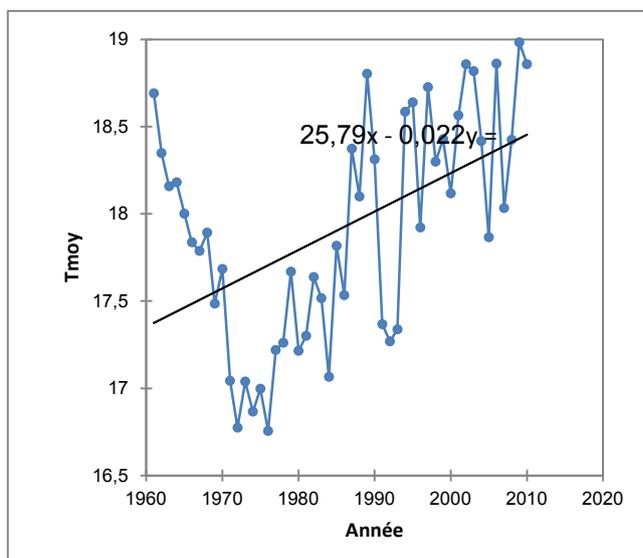


Fig 1.19 : tendance de la température minimale moyenne annuelle

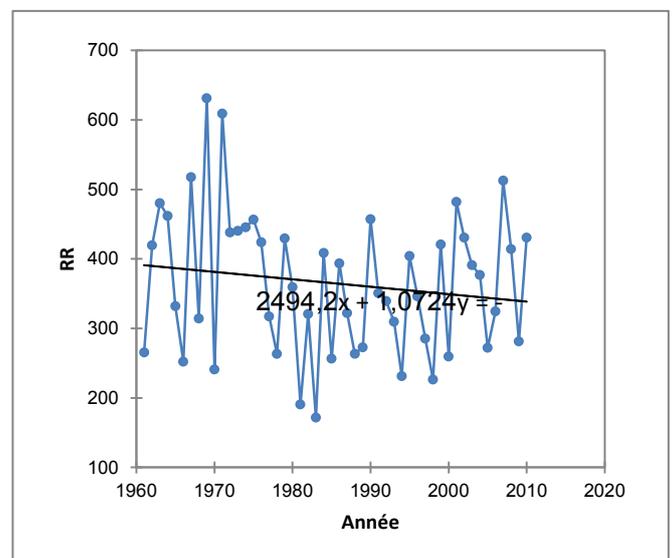


Fig 1.20 : tendance de la température minimale moyenne annuelle

CHAPITRE II :..... évolution et tendances observées

Les figures ci-dessus présentent en bleu l'évolution des paramètres considérés (températures minimales, maximales, moyenne et totaux annuels de précipitations) et en noir la courbe de la tendance obtenue à partir de la régression linéaire simple.

Après examen des courbes on peut constater que l'évolution ne s'est pas déroulée avec le même taux de variation.

De nouveau, si on regarde juste la tendance générale de la chronique, on observe une tendance d'augmentation pour les températures moyennes, minimales et maximales alors que les totaux annuels des précipitations montre une légère baisse pendant la période considérée.

Afin de confirmer ces tendances les résultats obtenues par l'application du test précédent qui sont résumées dans le tableau ci-dessous

	Tau de Kendall	S	Var(S)	p-value (bilatérale)	alpha
Tmin	0.323	396.000	14290.667	0.001 (*)	0.05
Tmax	0.343	420.000	14290.667	0.000 (*)	0.05
Tmoy	0.346	424.000	14290.667	0.000 (*)	0.05
RR	-0.090	-110.000	14290.667	0.362	0.05

Tableau 1.1: Les résultats du test de Mann Kendall

Pour la période entière, uniquement la tendance de précipitations annuelles qui n'est statistiquement pas significative. La tendance vers la hausse des températures extrêmes est hautement significative et elle est de l'ordre de 0.25°C par décennie.

Pour comprendre la répartition de cette tendance on a procédé à l'étude de l'évolution de ces paramètres à l'échelle saisonnière.

II.2. Etude saisonnière :

II.2.1.Séries de températures :

Les moyennes annuelles de températures ont été calculées pour la station d'étude et pour les deux variables étudiées, les températures minimales (Tmin) et maximales (Tmax).

Les moyennes annuelles des Tmin et Tmax pour Oran ont été calculées en moyennant les moyennes annuelles des 59 séries. Ces moyennes sont représentées sur les graphiques ci-dessous. En ordonnée la température en degrés Celsius, en abscisses, les années. Les droites

sont les tendance, obtenues par régression linéaire.

II.2.1.1. Etude de Températures minimales saisonnière :

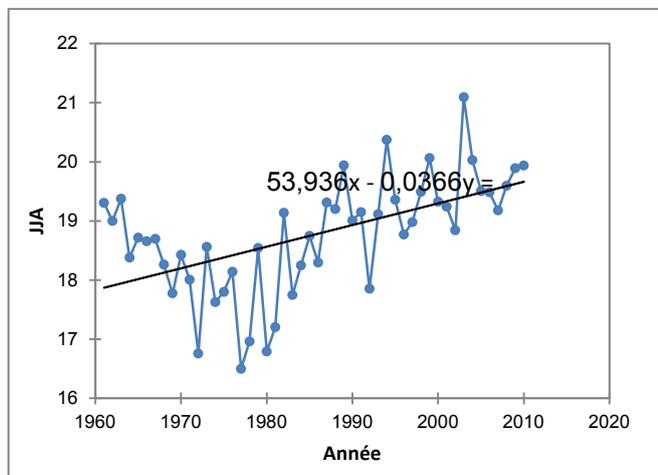


Fig 1.23 : tendance des températures moyennes minimales pour la saison JJA

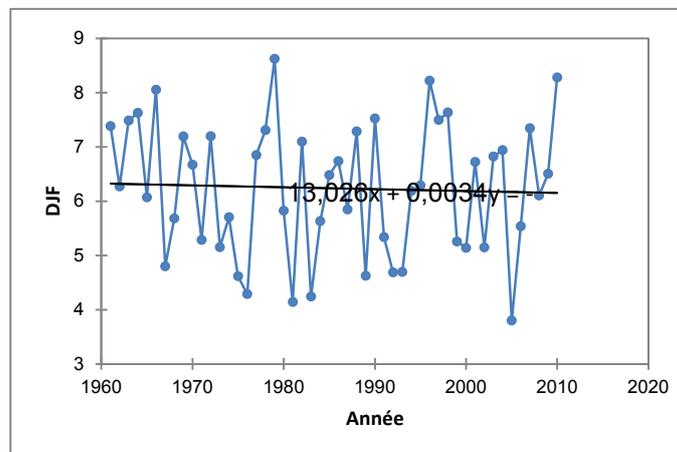


Fig 1.21 : tendance des températures moyennes minimales pour la saison DJF

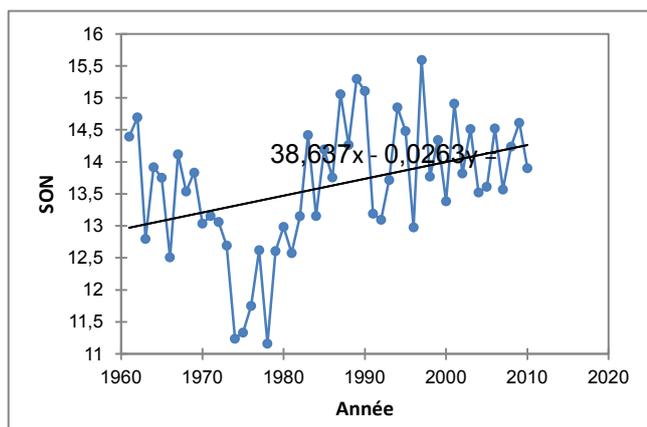


Fig 1.24 : tendance des températures moyennes minimales pour la saison SON

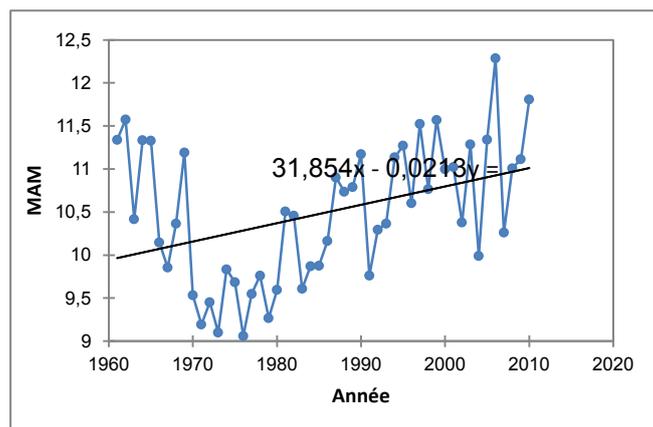


Fig 1.22 : tendance des températures moyennes minimales pour la saison MAM

CHAPITRE II :..... évolution et tendances observées

L'examen des tendances des températures minimales indique une évolution nette vers la hausse pour les saisons MAM, JJA et SON alors que la saison DJF présente une tendance à la baisse trop faible.

	Tau de Kendall	S	Var(S)	p-value (bilatérale)	Alpha
DJF	-0.020	-25.000	14291.667	0.841	0.05
MMA	0.290	355.000	14291.667	0.003 (*)	0.05
JJA	0.407	499.000	14291.667	<0.0001 (*)	0.05
SON	0.252	308.000	14290.667	0.010 (*)	0.05

Tableau 1.2: Les résultats du test de Mann Kendall

Les statistiques de MANN KENDALL appliquées à la série de températures moyennes saisonnières minimales reflètent également une tendance positive significative pour les saisons MAM, JJA et SON au seuil de 5% tandis que celle de la saison DJF est non significative.

II.2.1.2 Etude de T max saisonniers:

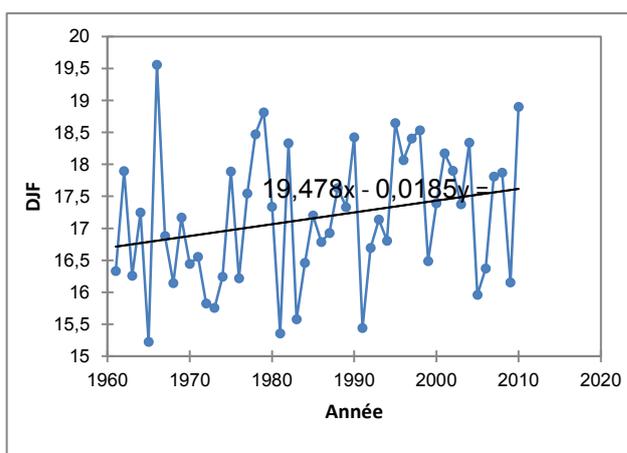


Fig 1.25 : tendance des températures moyennes maximale pour la saison DJF

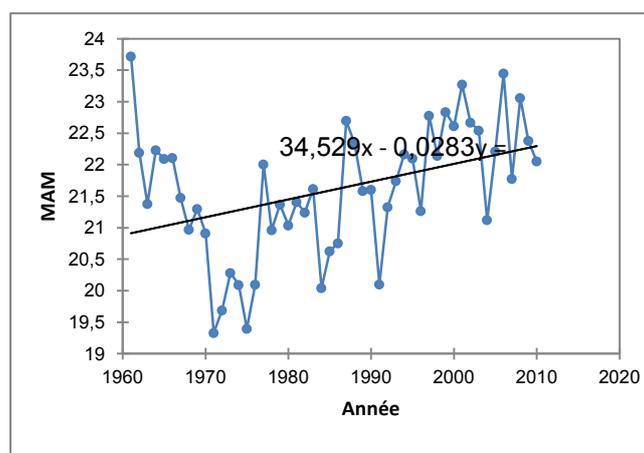


Fig 1.26 : tendance des températures moyennes maximale pour la saison MAM

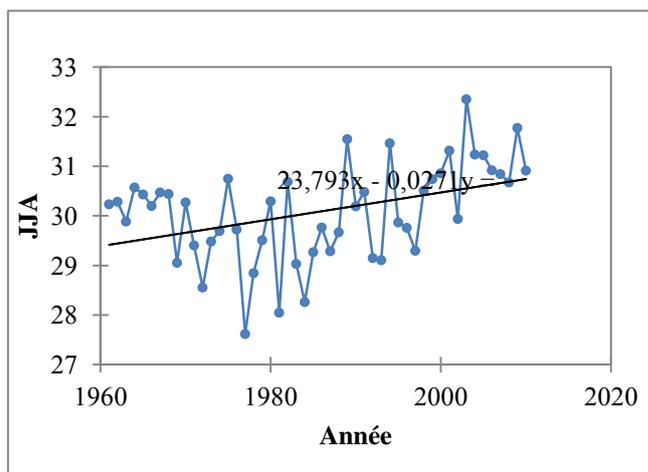


Fig 1.27 : tendance des températures moyennes maximale pour la saison JJA

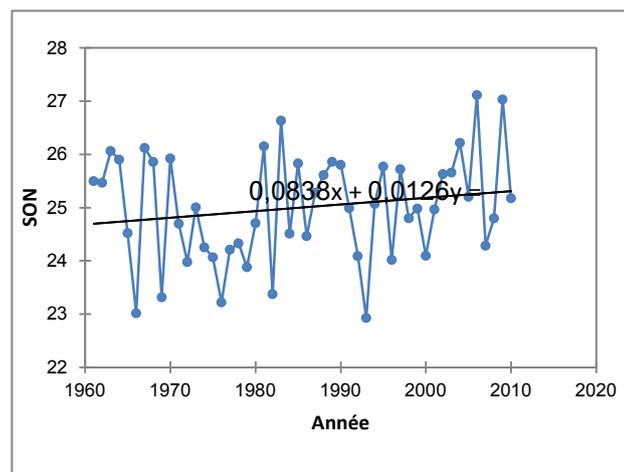


Fig 1.28 : tendance des températures moyennes maximale pour la saison SON

l'évolution des températures maximales saisonnières. Elles montrent une fluctuation autour de la moyenne, avec une tendance à la hausse qui n'est significative que pour les saisons MAM et JJA.

	Tau de Kendall	s	Var(S)	p-value (bilatérale)	alpha
DJF	0.187	229.000	14291.667	0.056	0.05
MAM	0.295	361.000	14291.667	0.003 (*)	0.05
JJA	0.282	345.000	14291.000	0.004 (*)	0.05
SON	0.087	107.000	14291.667	0.375	0.05

Tableau 1.3: Les résultats du test de Mann Kendall

II.2.1.3. Etude de températures moyennes saisonnières :

La température moyenne quotidienne est définie comme la demi-somme de la température minimale et maximale quotidienne. La température moyenne d'une saison (ou une année) donnée est égale à la moyenne des températures quotidiennes de tous les jours de cette saison (ou année).

Les figures représentent les tendances calculées sur la période 1960-2010, au niveau de la station météorologique d'Oran, pour la température moyenne saisonnière.

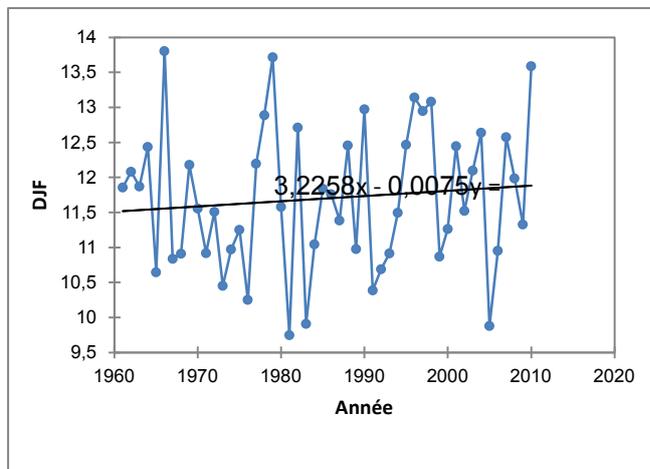


Fig 1.31 : tendance des températures moyennes pour la saison JJA

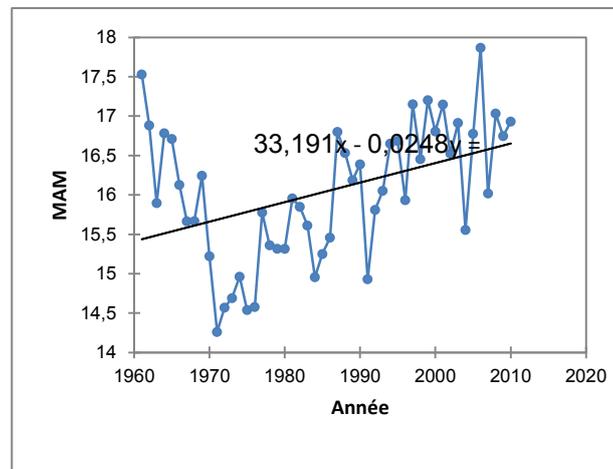
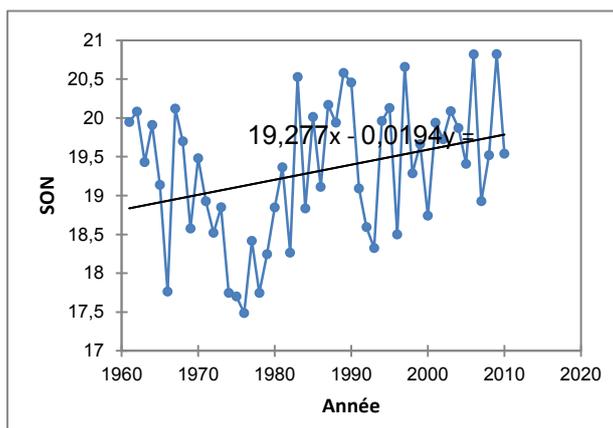
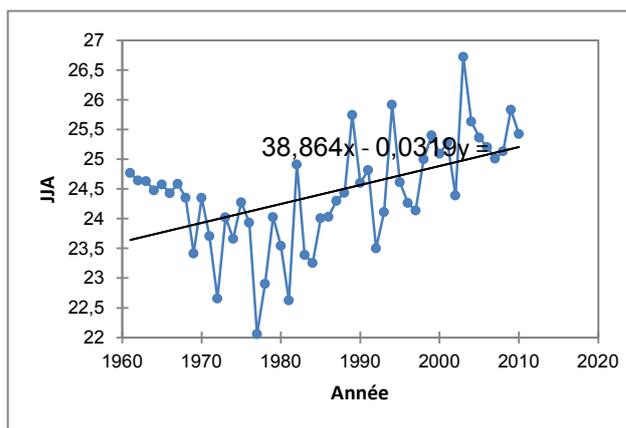


Fig 1.32 : tendance des températures moyennes pour la saison SON



Le réchauffement du climat au niveau de la station durant la période 1960- 2010 est bien évident pour l'ensemble des saisons apparaissant moins accentué pour la saison DJF. Alors que uniquement les tendances des saisons MAM et JJA qui sont statistiquement significatives selon le test de MANN KENDALL au seuil de 0.05.

	Tau de Kendall	s	Var(S)	p-value (bilatérale)	alpha
DJF	0.091	111.000	14291.6 67	0.358	0.05
MAM	0.308	377.000	14291.6 67	0.002 (*)	0.05
JJA	0.329	403.000	14291.6 67	0.001 (*)	0.05
SON	0.184	225.000	14291.6 67	0.061	0.05

Tableau 1.4: Les résultats du test de Mann Kendall

Ces trois variables Tmin, Tmax et par conséquent leur moyenne ont subi une augmentation, ce réchauffement semble avoir été plus important pour les températures maximales que pour les températures minimales, bien que la différence entre les deux soit très faible. Cette augmentation est significative selon le test de Mann Kendall au seuil de 95 % essentiellement pour les saisons MAM et JJA.

Il est possible d'attribuer cette augmentation à une recrudescence de la croissance des agglomérations et par conséquent de l'impact des îlots de chaleur urbains.

II.2.2 Séries de précipitations :

Pour tester la cohérence des séries de cumuls annuels de précipitations de chaque saison, le même procédé que pour les températures a été appliqué. Ainsi, ces cumuls annuels sont également bien corrélés à la moyenne annuelle globale des cumuls, ce qui nous permet de considérer que les 59 séries ont une bonne cohérence d'ensemble et sont donc comparables. Les moyennes annuelles sur Oran, calculées à partir des moyennes des cumuls des 59 séries, sont illustrées sur les graphiques ci-dessous. Contrairement aux températures, il existe une tendance à la diminution des précipitations ; une diminution significative selon le test de Mann Kendall uniquement sur les deux saisons MAM et JJA. Une significativité déjà observée pour les mêmes saisons sur les températures.

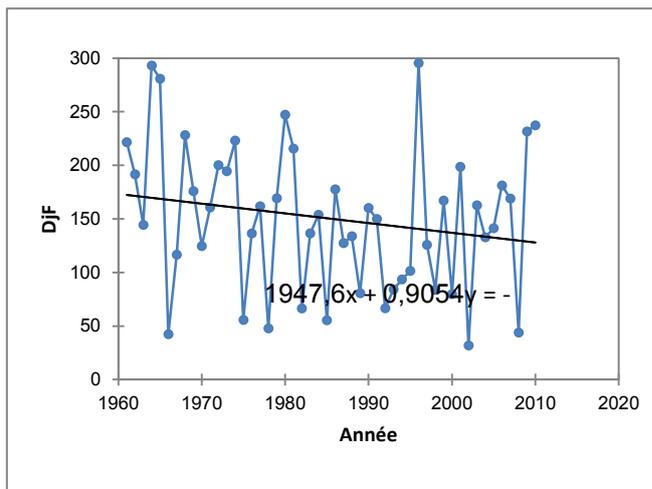


Fig 1.33 : tendance des précipitations moyenne pour la saison DJF

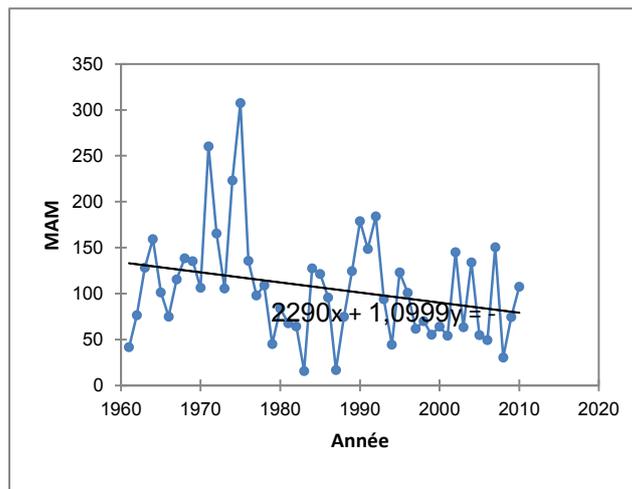


Fig 1.34 : tendance des précipitations moyenne pour la saison MAM

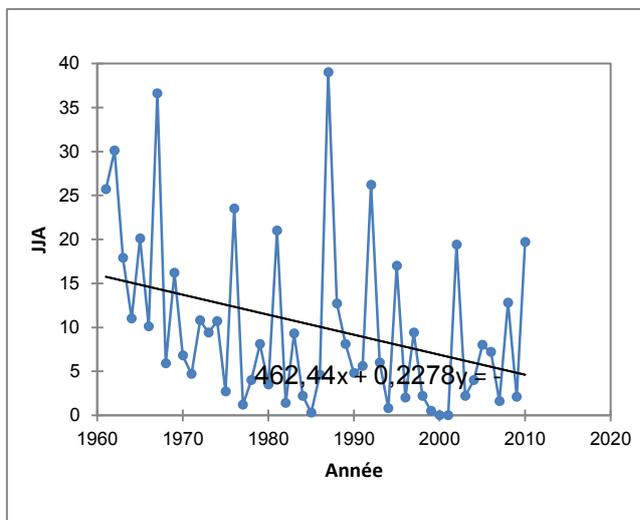


Fig 1.35 : tendance des précipitations moyenne pour la saison JJA

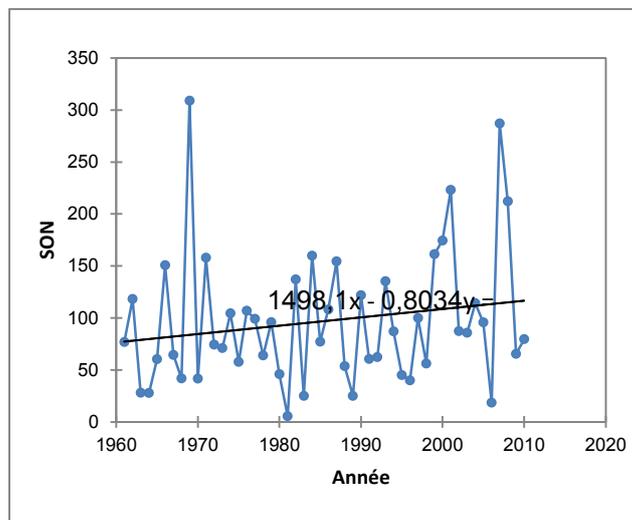


Fig 1.36 : tendance des précipitations moyenne pour la saison SON

CHAPITRE II :..... évolution et tendances observées

La tendance globale est la même pour l'ensemble des saisons à l'exception de la saison septembre-octobre- novembre, c'est-à-dire que malgré la différence de précipitations entre les saisons, leurs variations semblent assez bien corrélées.

Saison	Tau de Kendall	s	Var(S)	p-value (bilatérale)	alpha
DJF	-0.113	- 139.000	14291.6 67	0.248	0.005
MAM	-0.198	- 243.000	14291.6 67	0.043 (*)	0.05
JJA	-0.274	- 335.000	14285.0 00	0.0005 (*)	0.05
SON	0.127	156.0 00	14290.6 67	0.195	0.05

Tableau 1.5: Les résultats du test de Mann Kendall

Si on regarde la tendance générale de la chronique en appliquant la régression sur tout l'intervalle 1960-2010, on observe une tendance de diminution pour les saisons DJF, MAM et JJA alors que la saison SON présente une légère tendance à la hausse.

Conclusions sur les résultats des traitements statistiques des séries données :

On constate que :

Globalement, les températures ont augmenté depuis 1960. Ce réchauffement récent, n'a pas été homogène sur l'ensemble de l'année. Les précipitations ont aussi varié significativement.

Les paramètres climatiques ont été étudiés indépendamment de chaque saison. Voici les conclusions par saisons :

Hiver : Décembre-Janvier-Février

La station a enregistré un refroidissement léger sur les températures minimales alors que les Tmax ont augmenté. La tendance est à la diminution non significative des cumuls de pluie

.Printemps : Mars-Avril-Mai

C'est clairement la saison qui se réchauffe le plus. La quantité globale de pluie étant en diminution significative.

CHAPITRE II :..... évolution et tendances observées

Eté : Juin-Juillet-Août

Par rapport à l'hiver, la croissance est plus significative des Tmin et Tmax. Les cumuls de pluies sont en diminution significative.

Automne : Septembre-Octobre-Novembre

L'augmentation des Tmax est la moins importante et non significative. Pour les Tmin aussi l'accroissement est plus faible que pour les autres saisons. . Les précipitations ont légèrement augmenté .Cela signifie qu'en automne, il pleut globalement plus, c'est-à-dire plus souvent et en plus grande quantité.

CHAPITRE III :

Tendance des indices d'extrêmes climatiques

Chapitre III : tendance des indices d'extrêmes climatiques

3.1. Introduction :

Ce chapitre est consacré à l'analyse détaillée des indices d'extrêmes climatiques étudiés sur la période 1980-2010. Après la description des conditions moyennes, nous présentons les tendances qui ont pu être observées sur l'ensemble des indices retenus pour la station sélectionnée. Ceci peut nous aider à comprendre comment les fluctuations se sont déroulées. Enfin, nous apportons des éléments de compréhension et d'explications sur les évolutions constatées.

Les données qui figurent dans le présent travail ont été fournies par l'ONM(Office National de la Météorologie), il s'agit des données quotidiennes de températures maximales , minimales et totales pluviométriques.

Les indices considérés font partie d'une liste standard des indices extrêmes climatiques issus par CLIVAR (groupe réuni des experts de l'OIM-commission pour climatologie et le Programme de Recherche de la Variabilité et Prédicibilité du Climat ou CLImateVARIability and predictibility– 2001).

A part l'étude des séries originales de température (TX et TN) et précipitation (RR), voire la recherche des tendances dans les séries (moyennes annuelles), l'existence des données à l'échelle journalière nous permet de calculer plusieurs indices (Tab 3.1) climatiques annuels (CLIVAR 2001) et d'étudier leurs évolutions au cours des périodes observées.

CHAPITRE III : tendance des indices d'extrêmes climatiques

Les indices utilisés pour le suivi climatiques ont les suivants:

Nom d'indicateur	Définitions	Unités
SU25	Jours d'été: compte annuel quand TX (Daily maximum)>25°C	Jours
TR20	Nuits tropicales: compte annuel quand TN (Daily minimum)>20°C	Jours
TXx	Tmax maximum : valeur maximum mensuelle de la température maximale quotidienne	°C
TNx	Tmin maximum: valeur maximum mensuelle de la température quotidienne de minimum	°C
TXn	Tmax minimum: valeur minimum mensuelle de la température maximale quotidienne	°C
TNn	Tmin minimum: valeur minimum mensuelle de la température quotidienne de minimum	°C
TN10p	nuits fraîches: pourcentage des jours où percentile de TN<10th	Jours
TN90p	nuits chaudes: pourcentage des jours où percentile de TN>90th	Jours
TX90p	jours chauds: pourcentage des jours où percentile de TX>90th	Jours
RX1day	quantité d'une journée de précipitation maximale : d'une journée maximum mensuelle	Milli mètre
CDD	jours secs consécutifs :nombre maximum des jours consécutifs avec RR<1mm	Jours
CWD	jours humides consécutifs nombre maximum des jours consécutifs avec RR>=1mm	Jours
R99p	jours extrêmement humides total annuel PRCP quand percentile du RR>99th	Milli mètre
PRCPTOT	précipitation totale annuelle de humide-jour total annuel PRCP en jours humides (RR>=1mm)	Milli mètre

Tableau (3.1) : Définitions des indices d'extrêmes retenus

CHAPITRE III : tendance des indices d'extrêmes climatiques

Parmi les 27 indices proposés par CLIVAR ; On a procédé au calcul de 14 indices figurant dans le tableau 3.1 par le biais du logiciel RCLimDex sur la période 1980-2010.

Dans ce que suit nous présentons une analyse détaillée de l'évolution de ces indices concernant l'évolution des chroniques de températures (minimale, maximale, et ses indices dérivés) et précipitations (et ses indices dérivés) afin d'identifier les tendances.

3.2. La station d'Oran :

3.2.1. Analyse des tendances moyennes :

Les formes que risquent de prendre les tendances climatiques et les changements climatiques qui peuvent correspondre sont décrites de façon différente selon les auteurs. Dès 1966 l'organisation météorologique mondiale a essayé d'unifier la définition de la tendance.

La tendance climatique est un changement climatique caractérisé par une diminution ou un accroissement significatif régulier monotone des valeurs moyennes durant la période de relevé. Plusieurs tests existent pour mettre en évidence l'existence éventuelle d'une tendance, pour les besoins de cette étude on s'est intéressé au test de Mann Kendall présenté dans le chapitre deux.

Dans ce qui suit une tendance est considérée significative si la p-value relative au test est inférieure à 0.05 ; soit une significativité au seuil 95%.

On rappelle que dans le chapitre précédent la chronique utilisée pour évaluer la tendance climatique s'étale sur la période 1960-2010 (données mensuelles) alors que dans cette partie la série utilisée couvre la période 1980-2010 à l'échelle quotidienne.

3.2.1.1. La température maximale (TMAXmean):

L'évolution de la température maximale moyenne annuelle à la station d'Oran indique un réchauffement se manifestant par une augmentation significative à 95 % des températures maximales de manière régulière oscillant entre 22°C et 25°C, aucune date de changement de régime n'est observée.

3.2.1.2. La température minimale (TMINmean) :

Une évolution des températures minimales moyennes annuelles similaire à celle observée pour les températures maximales a été repérée. La différence réside dans le fait que pour les Tmin , on repère l'année 1993 comme date de changement de régime qui n'a pas

CHAPITRE III : tendance des indices d'extrêmes climatiques

changé d'allure en restant en augmentation sauf que cette dernière était plus importante avant 1993 qu'après.

3.2.1.3. Les précipitations (PRCPTOT) :

L'évolution des totaux annuels des précipitations observée à la station d'Oran sur la période 1980-2010 montre une tendance régulière non significative à la hausse estimée à 3.147mm/5 années aucune tendance locale n'a été marquée on notée.

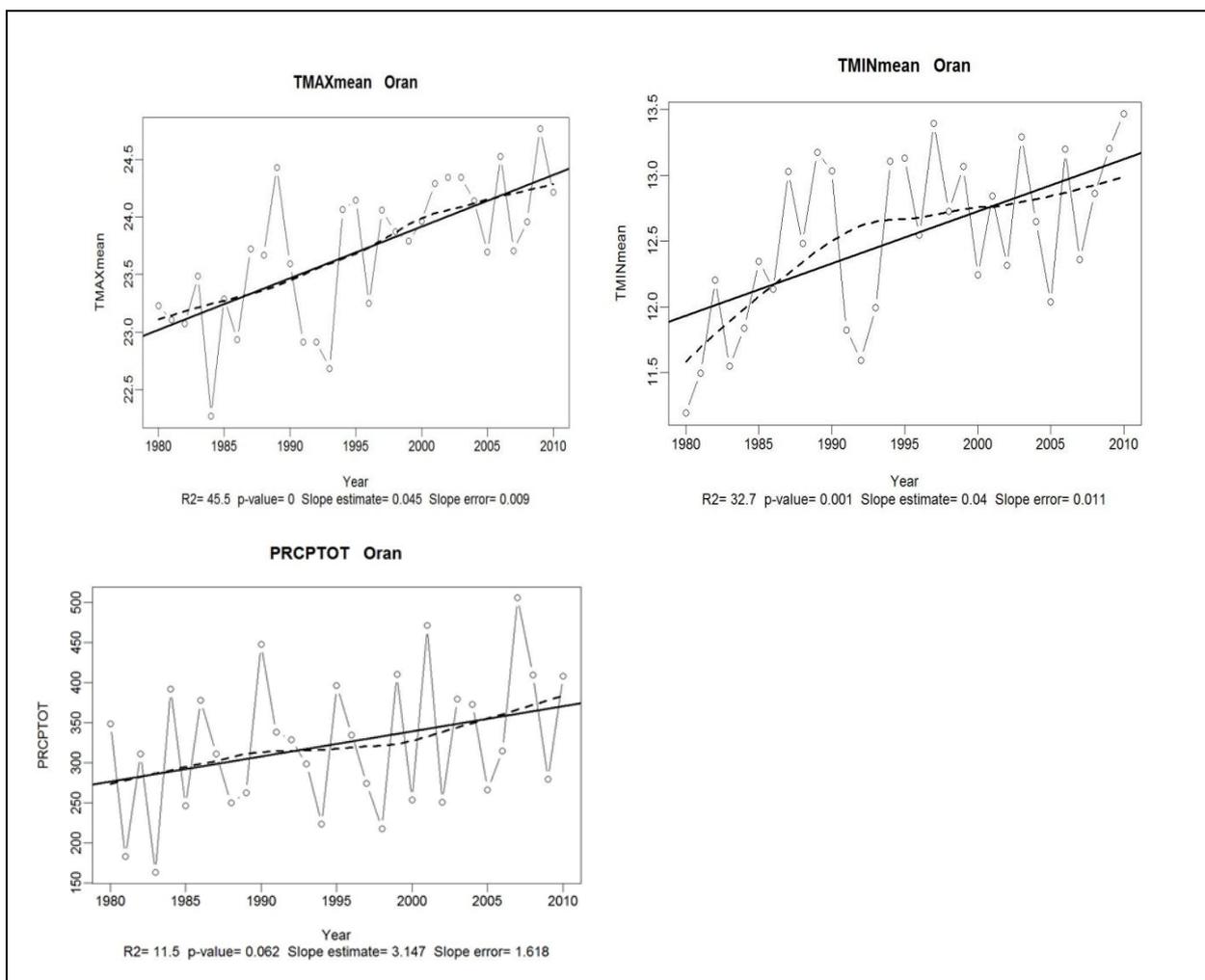


Figure (3.1) : Tendances générales de TXmean, TN mean, PRCPTOT entre 1980-2010 (ORAN)

3.2.2. Tendances des indices dérivés :

3.2.2.1. Indices liés à la température :

CHAPITRE III : tendance des indices d'extrêmes climatiques

a) TN90P :

Cet indice véhicule une information sur l'évolution des nuits chaudes ; ces dernières sont marquées par une tendance à la hausse significative à un seuil de 95 % de l'ordre de 0.196 nuit/5 Années ; une tendance locale vers une augmentation a été observée avant 1993, alors que la stationnarité a caractérisé la période 1993-2010.

b) TX90P :

L'année 1995 a été observée comme une date de changement de régime qui dénote une augmentation avant cette date et une quasi-absence de tendance locale après.

La tendance générale vers la hausse significative a été donc gérée par l'évolution au début de la période de l'étude.

c)SU25 :

La tendance ainsi détectée sur l'indice SU25 est celle d'une croissance significative. Pas de tendance locale bien identifiée sauf une petite inflexion observée vers 1999, une année à partir de laquelle l'augmentation est beaucoup plus nette.

d)TR20 :

Une tendance générale de l'indice TR20 vers une augmentation estimée à 0.0771 nuit/5 année significative statistiquement à 95%.Par ailleurs, cette tendance permet de dégager l'année 1993 comme celle séparant deux évolutions locales. La première repérée par une augmentation du TR20 plus importante avant 1993 ; alors que l'autre tendance locale se caractérise plutôt par une augmentation faible de cet indice voire presque une stationnarité.

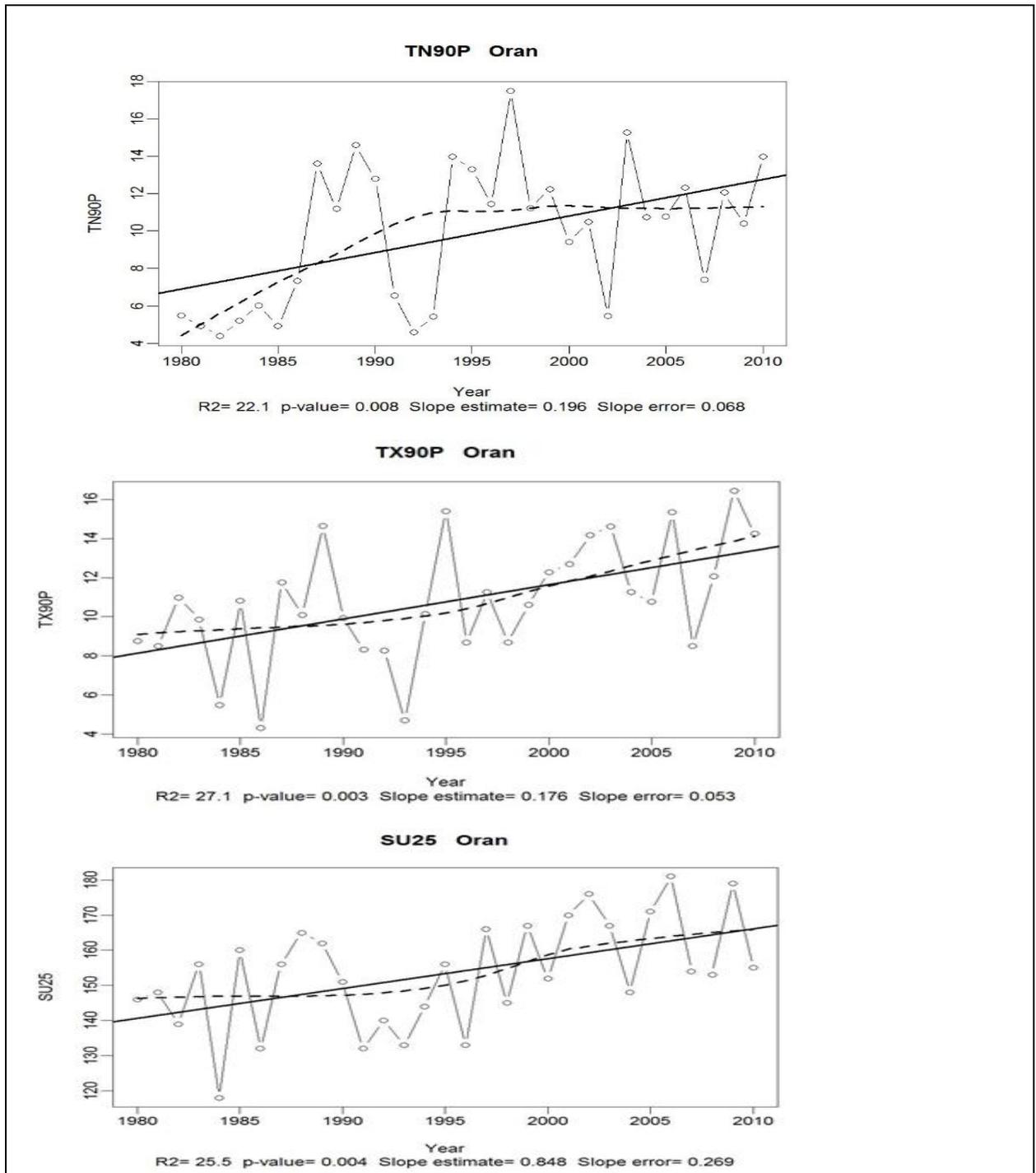
e) TXX :

Si l'on observe l'évolution des TXX dans notre période d'étude, on remarque que les maxima absolus ont pour tendance une hausse non significative au cours des 3 décennies ; il faut noter que cet indice a été caractérisé dans la première décennie par une hausse, alternée d'une baisse entre 1990-2000 et une croissance durant la période de 2000-2010.

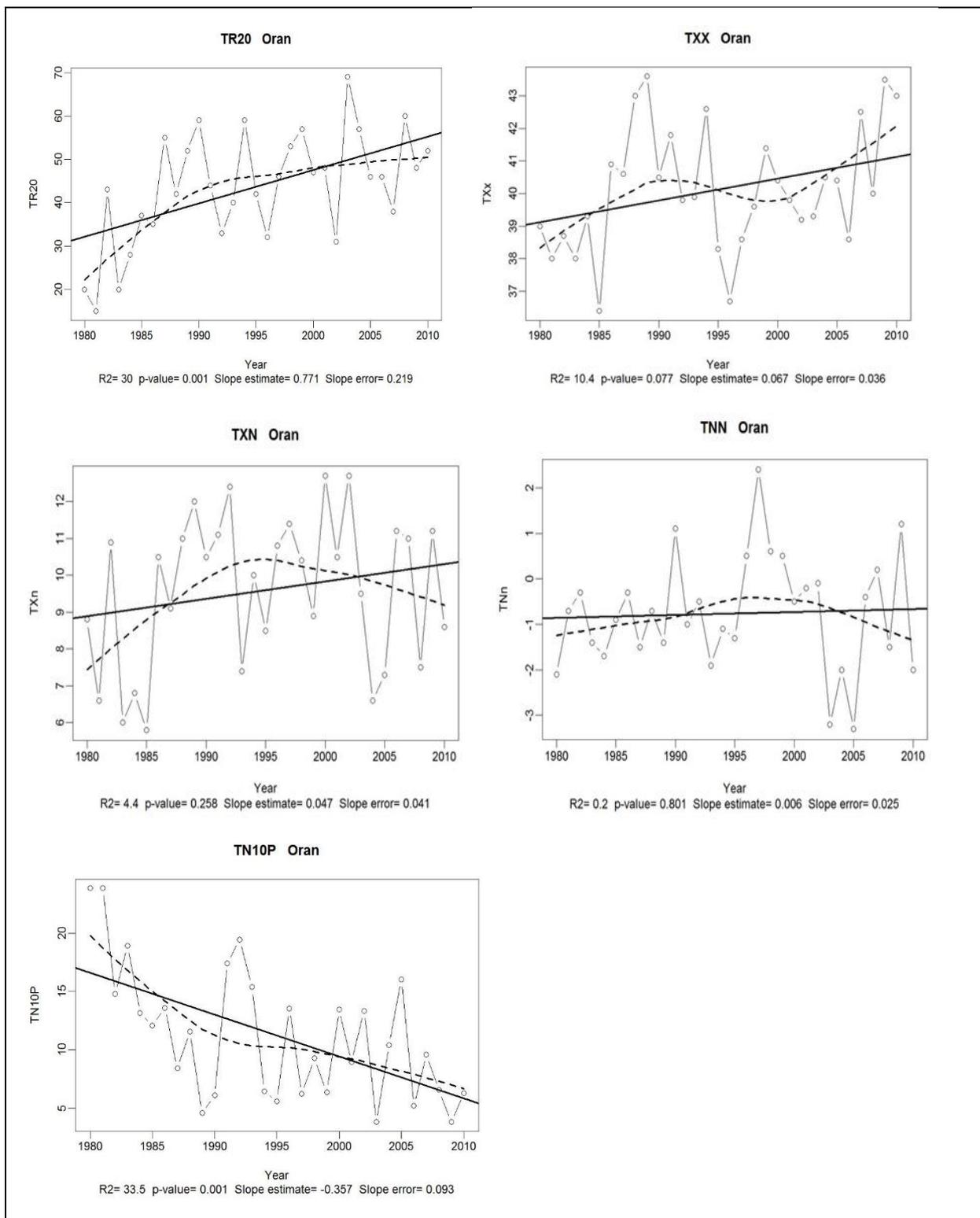
F)TXN :

Les TXN sont marquées par une tendance croissante faible non significative de l'ordre de 0.047°C/5 année, cette évolution s'est observée durant la période 1980-1995, alors que la baisse a caractérisé la seconde période de notre domaine temporel.

CHAPITRE III : tendance des indices d'extrêmes climatiques



CHAPITRE III : tendance des indices d'extrêmes climatiques



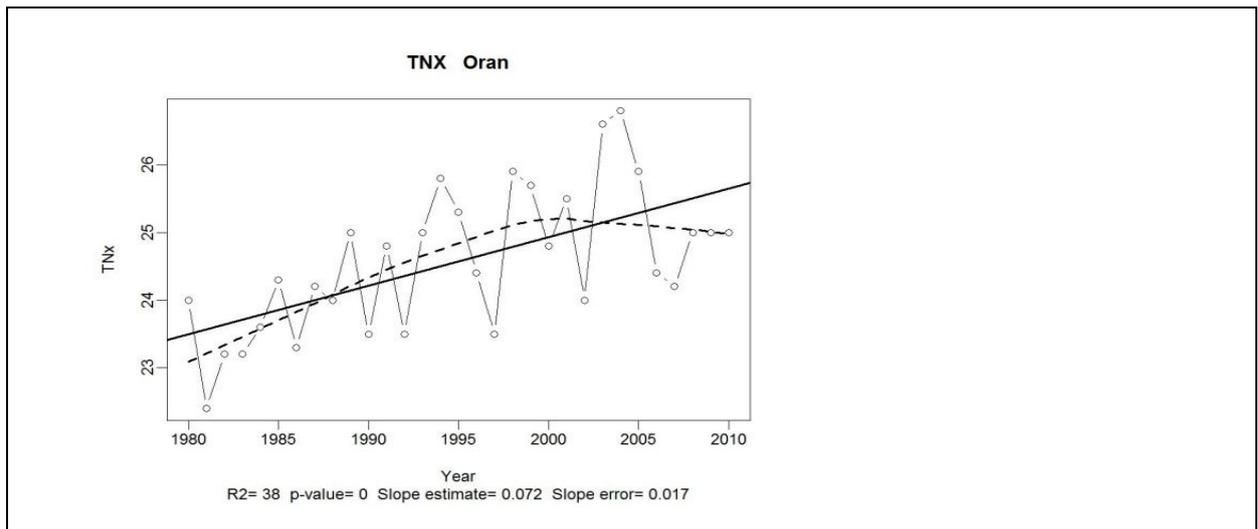


Figure (3.2) : Évolutions des indices dérivés de température entre 1980 et 2010 (ORAN)

3.2.2.2. Indices liés aux précipitations :

a)RX1 Day :

Si l'on se réfère à l'évolution dictée par cet indice, nous remarquons facilement que le maximum mensuel de la précipitation journalière a subi une croissance importante restant non significative, une petite baisse a caractérisé la période 1993-1998.

a)CDD :

L'allure générale de l'indice CDD représentant l'évolution des jours secs consécutifs à la station d'Oran, permet de mettre en évidence un caractère aléatoire d'évolution montrant une baisse trop faible non significative à 95%, suivie d'une faible hausse et une stationnarité à partir de l'année 2000.

c)CWD :

On observe une distribution assez régulière de l'indice CWD sur l'ensemble de la période d'étude. Son évolution présente une croissance significative de 0.045jours/5années.

Aucune date précise n'est identifiée comme une date de changement de régime.

d)R99P :

Les journées extrêmement humides se caractérisent par une hausse importante non significative tout en restant au dessous de 25j/5 années.

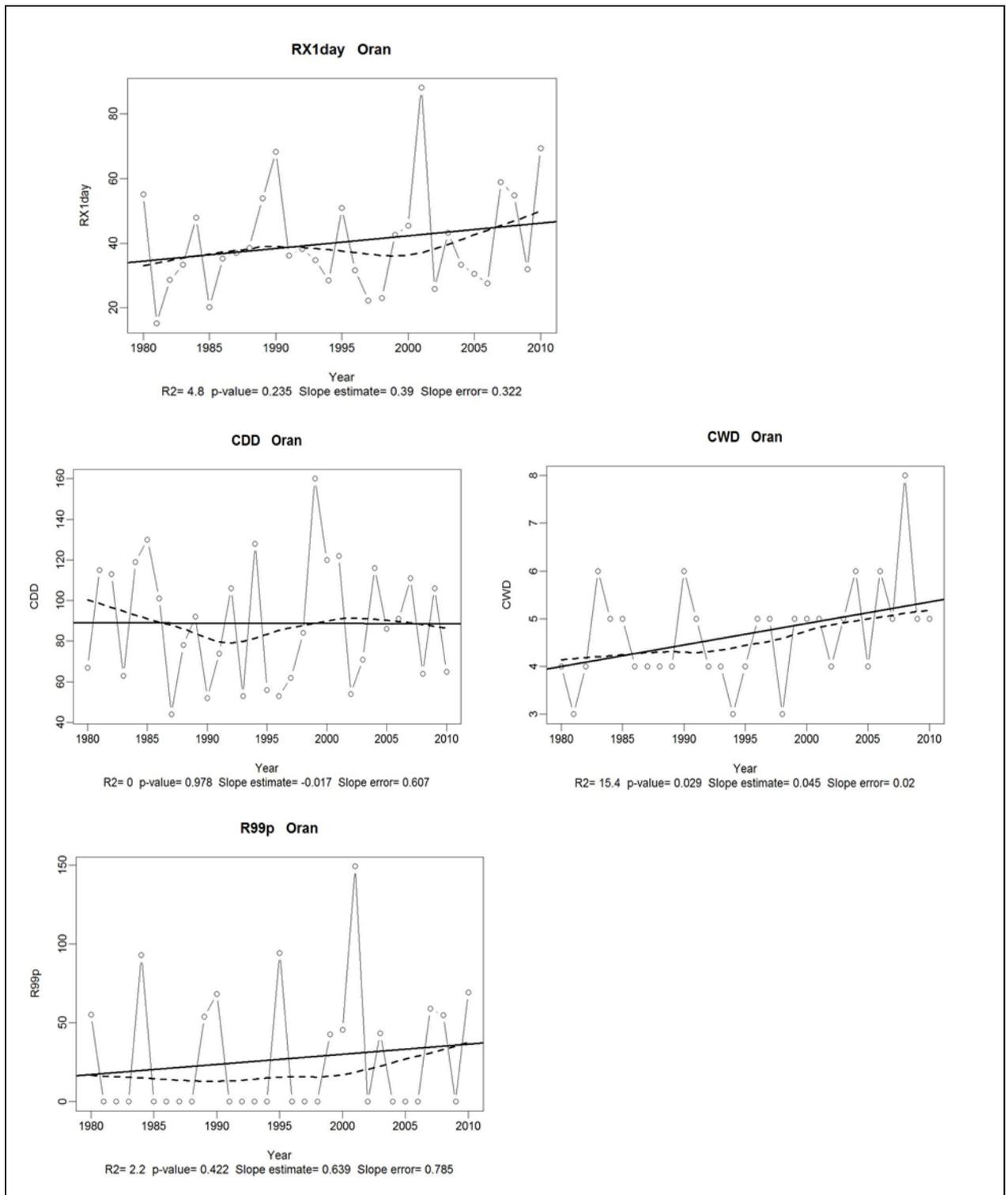


Figure (3.3) : Évolution des indices dérivés de précipitations entre 1980 et 2010 (ORAN)

CHAPITRE III : tendance des indices d'extrêmes climatiques

Station	Oran
Indices	
PRECTOT	3,147
R99p	0,639
CWD	0,045
CDD	-0,017
RX1day	0,39
TX90p	0,176
TN90p	0,196
TN10p	-0,357
TNn	0,006
TXn	0,047
TNx	0,072
TXx	0,067
TR20	0,771
SU25	0,848

Tableau récapitulatif des tendances observées des indices climatiques

Tableau (3.2) : Tendance des indices climatique pour l'ensemble des stations retenues

3.6.Conclusions

On a représenté ci-dessus les tendances des principaux indices utilisés pour caractériser les extrêmes climatiques ; certains véhiculent une information se référant à la température comme variable de base, d'autres sont plutôt liés aux précipitations. Il faut garder en esprit que 30ans est une période de temps relativement courte pour pouvoir dégager des tendances robustes. Malgré cette limitation, l'examen des tendances peut révéler certains points intéressants. Les tendances des indices d'extrêmes étaient très hétérogènes.

Sur notre zone d'étude, les précipitations moyennes annuelles ont été fortement variables mais aucune tendance significative n'a été détectée.

Afin d'avoir une image plus précise des changements éventuels sur les régimes de précipitation, nous avons analysé les indices liés aux précipitations.

Aucune tendance significative n'a été détectée sur les jours secs consécutifs, qui ont marqué une diminution pour la plupart des stations.

La tendance à la diminution des jours humides consécutifs a intéressé la région d'intérêt

En ce qui concerne l'évolution de la température et ses indices dérivés, il est intéressant de souligner l'augmentation des jours d'été sur la zone étudiée, il apparait ainsi que le nombre de nuits tropicales a subit la même évolution que les jours d'été.

Quant aux cas des nuits chaudes et journées chaudes, elles sont relativement en augmentation de 1980 à 2010.

Le nombre de nuits chaudes augmente de façon très significative ; les journées chaudes ont subit aussi une croissance significative

Une évolution assez similaire pour les maxima mensuels de la température maximale et maxima mensuels de la température minimale.

Chapitre IV :

Étude des projections climatique

Chapitre IV : étude des projections climatique

Afin d'exploiter l'information climatique de grande échelle disponible dans les scénarios proposés par les modèles climatiques globaux (MCG), pour dériver des scénarios régionaux voire locaux des variables météorologiques d'intérêt, une désagrégation statistique par la méthode de générateur stochastique des séries, sera menée dans ce chapitre.

Cette dernière va permettre la production de données quotidiennes calibrées, représentant des scénarios de changement climatique.

Données et outils :

Données :

Les données quotidiennes des précipitations, températures maximales et minimales sur la station Es-sénia Oran provenant de l'office national de la météorologie couvrant la période, seront utilisées.

Le choix de la station est dicté, par la présence des données quotidiennes (moins de 2 % de lacunes), et les données issues de la station, sont considérées comme représentatives du climat de l'Oranie.

A noter que les lacunes ont été comblées par la moyenne mensuelle du mois.

Outils :

Long Ashton Research station Weather Générateur Model (LARS-WG) Version 5.5 :

Le modèle LARS-WG est l'un des modèles météorologiques stochastiques le plus utilisé pour générer des précipitations, températures maximales et minimales à l'échelle quotidienne sous le climat actuel et futur. La première version de LARS-WG a été créé à Budapest en 1990(Semenov et Barrow).

Une étude de Semenov (2008) a validé LARS-WG sur plusieurs sites à travers le monde.

Les modèles utilisés :

1-Le modèle HADCM3 :décrit par Gordan et al(2000),ce modèle a été créé par l'institut anglais « Hadley centre ».

L'utilisation de ce modèle est la prédiction de changement de climat futur.

Sa résolution spatiale (composantes océanique et atmosphérique) est de $2,2^{\circ} \times 3,75^{\circ}$

2-Le modèle IPCM4(IPSL) : développé par l'institut Pierre Simon Laplace-France-

Chapitre IV :..... étude des projections climatique

L'utilisation de ce modèle est la prédiction de changement du climat futur.

Sa résolution spatiale (composantes océanique et atmosphériques) est de $2,5^{\circ} \times 3,75^{\circ}$

Les scénarios exploités sont A1B, A2 et B1.

Création de scénarios climatiques à partir des données du MCG :

La première étape de notre étude consiste à établir des scénarios à partir des données générés par les modèles climatiques, le but est de mener une étude comparative entre les modèles choisis et les scénarios d'émission de gaz à effet de serre exploités sur trois horizons à savoir

L'horizon 2020 : 2010/2030

L'horizon 2055 : 2046/2065

L'horizon 2090 :2080/2099

Pour chacun de ces trois horizons, la variation de la moyenne par rapport à la période de référence est calculée selon les formules suivantes :

-Pour les précipitations :

$$\text{Climat futur (local)} = \text{climat passé (local)} \times \Delta [\text{Climat futur (global)}/\text{climat passé (global)}]$$

-Pour les températures :

$$\text{Climat futur (local)} = \text{climat(local actuel)} + \Delta[\text{climat futur(global)} - \text{climat passé(global)}]$$

Les figures ci-dessous présentent l'évolution mensuelle des précipitations sur l'Oranie à différents horizons selon les trois modules utilisés.

A noter que pour le modèle BCM2 seuls les scénarios A1B et B1 qui sont exploités.

Chapitre IV : étude des projections climatiques

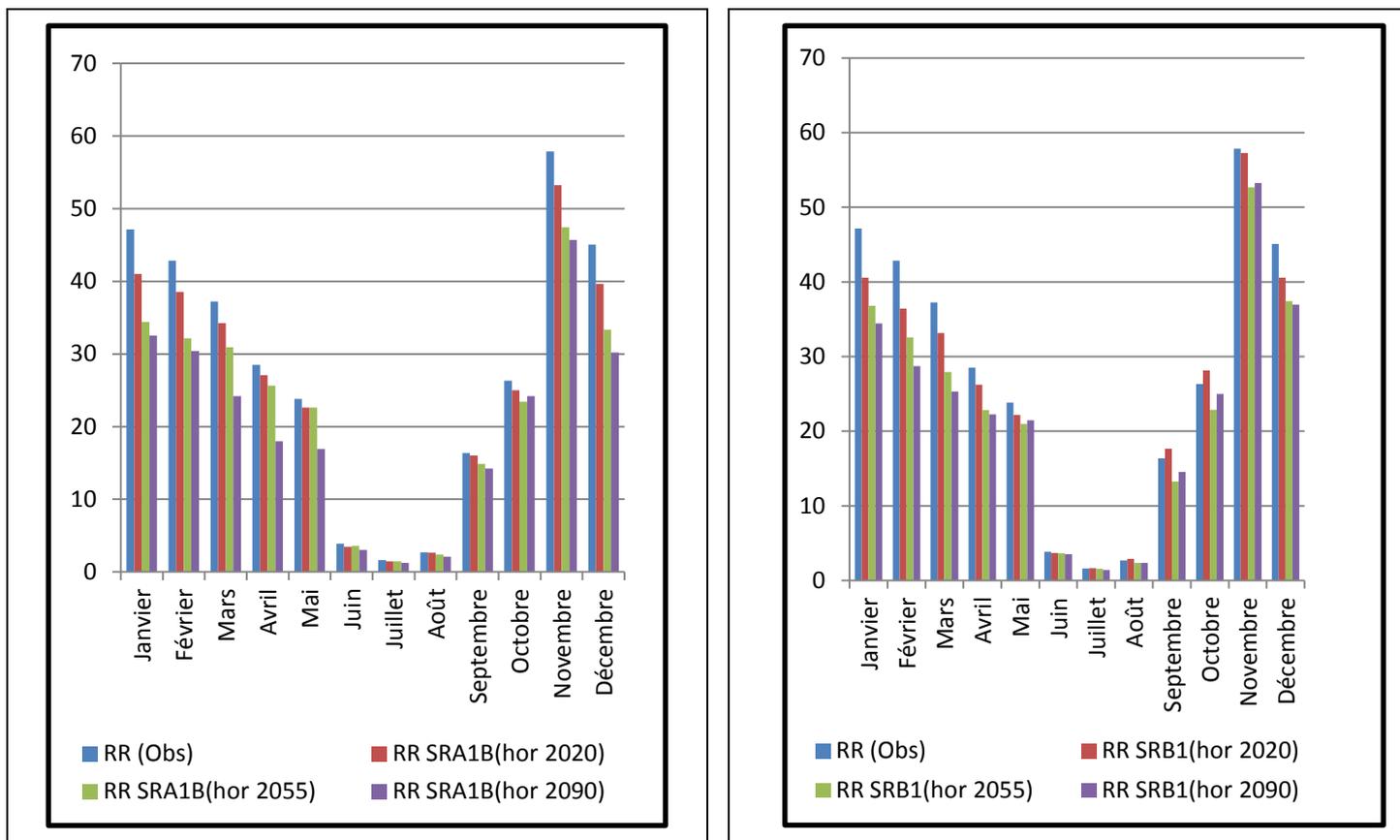
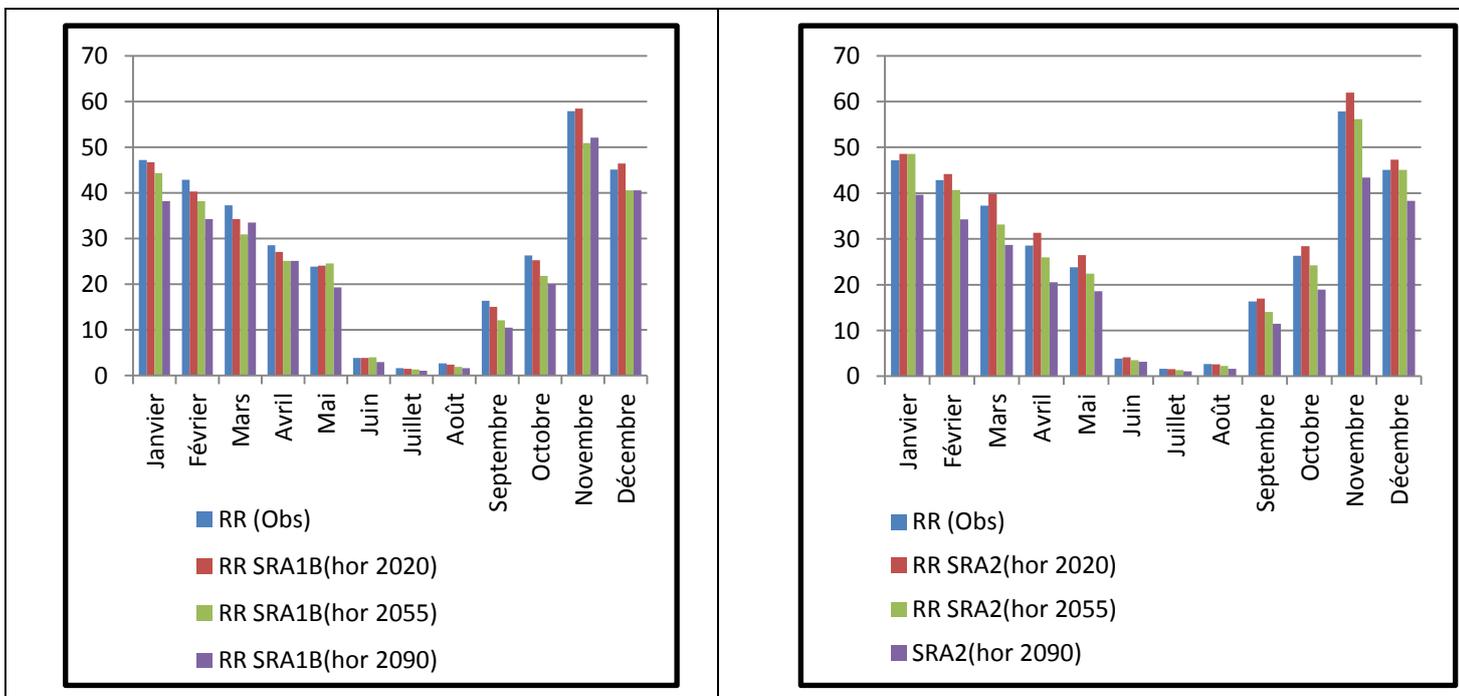
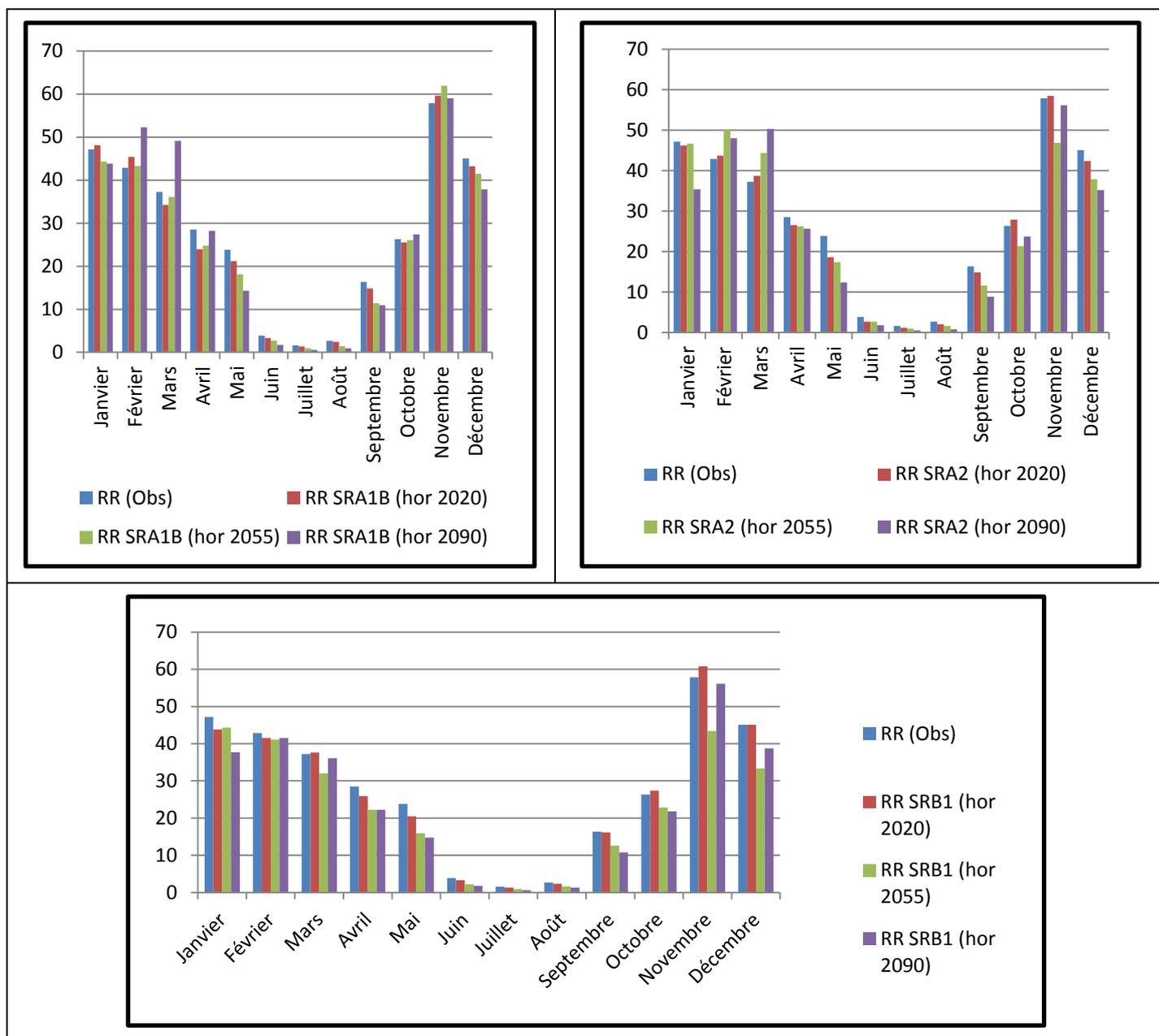


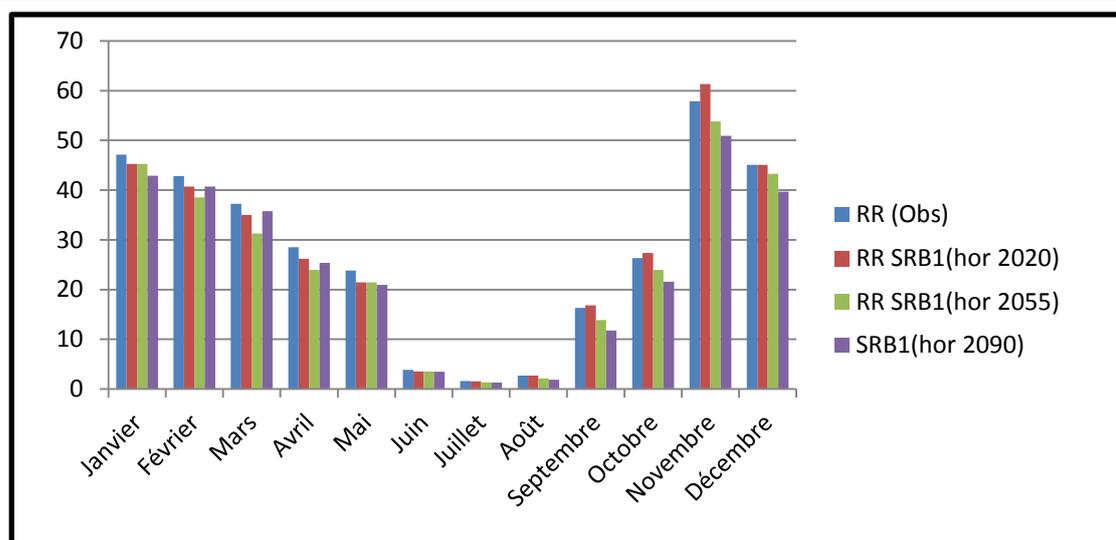
Figure1 : Evolution mensuelle des précipitations sur l'Oranie à différents horizons selon le modèle BCM2



Evolution mensuelle des précipitations sur l'Oranie à différents horizons selon le modèle IPCM4

Chapitre IV : étude des projections climatiques





Evolution mensuelle des températures maximales sur l'Oranie à différents horizons selon le modèle BCM2

Discussions :

Selon le modèle HADCM3 scénario A1B, une diminution de précipitations sur l'ensemble des mois de l'année est prévue à l'horizon 2020, à l'exception des mois de la saison d'automne, où le modèle prévoit une légère hausse de l'ordre de 2 à 6 % par rapport à la période de référence.(1980-2010).

La hausse prévue, durant cette saison est probablement due au caractère local des pluies et généralement, ces dernières prennent le caractère d'averse, donc la forte variabilité des pluies lors de la saison automnale, peut engendrer cette hausse.

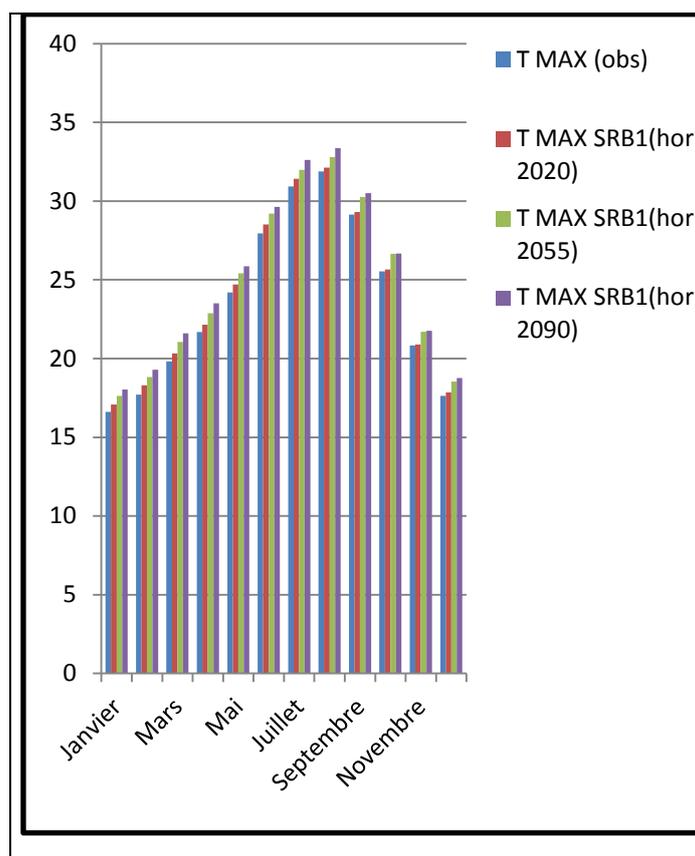
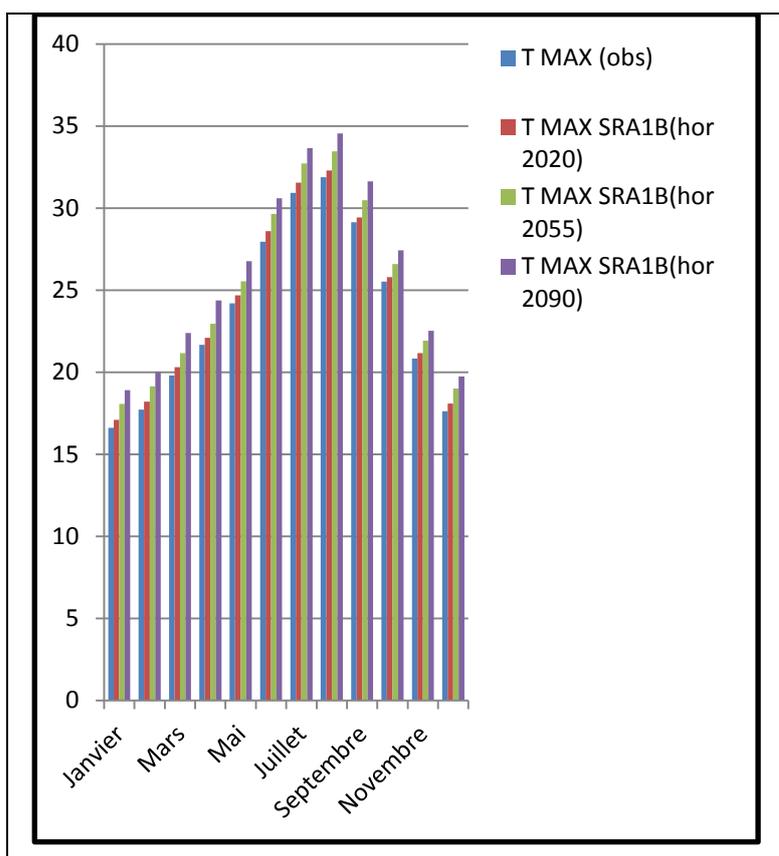
Pour les horizons 2055 et 2090, les valeurs simulées par le modèle HADCM 3 sont en diminution importante par rapport à la période de référence (1980-2010), cette diminution est plus marquée à l'horizon 2090 notamment pour les mois de la saison hivernale.

Contrairement au scénario moyen A1B, selon le scénario A2, le modèle HADCM3 simule des quantités supérieures à celles observées pendant la période de référence pour l'ensemble des mois de l'année à l'horizon 2020, alors qu'une baisse régulière est prévue sur les deux horizons 2055 et 2090.

Le scénario B1 converge vers le même résultat prévu par le scénario moyen A1B,

Chapitre IV :..... étude des projections climatique

autrement dit, une baisse selon l'ensemble des mois est prévue à l'horizon 2020 sauf, pour la saison automnale, la diminution prévue pour les horizons 2055 et 2090 n'est pas accentuée comme celle prévue selon le scénario A1B.

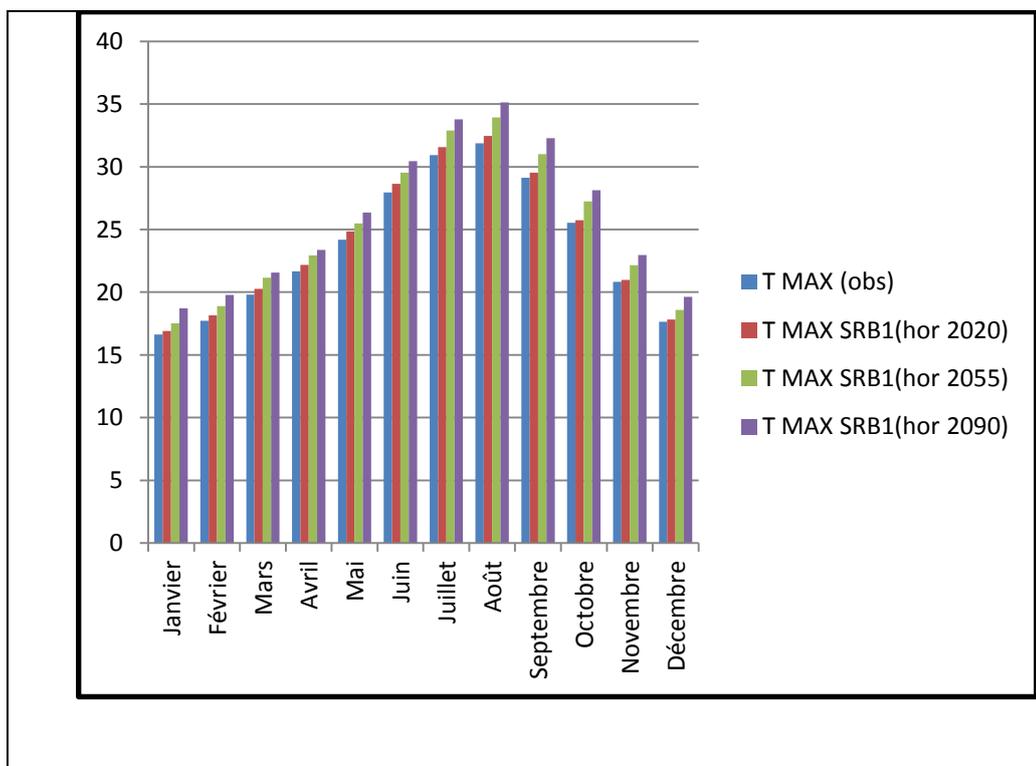
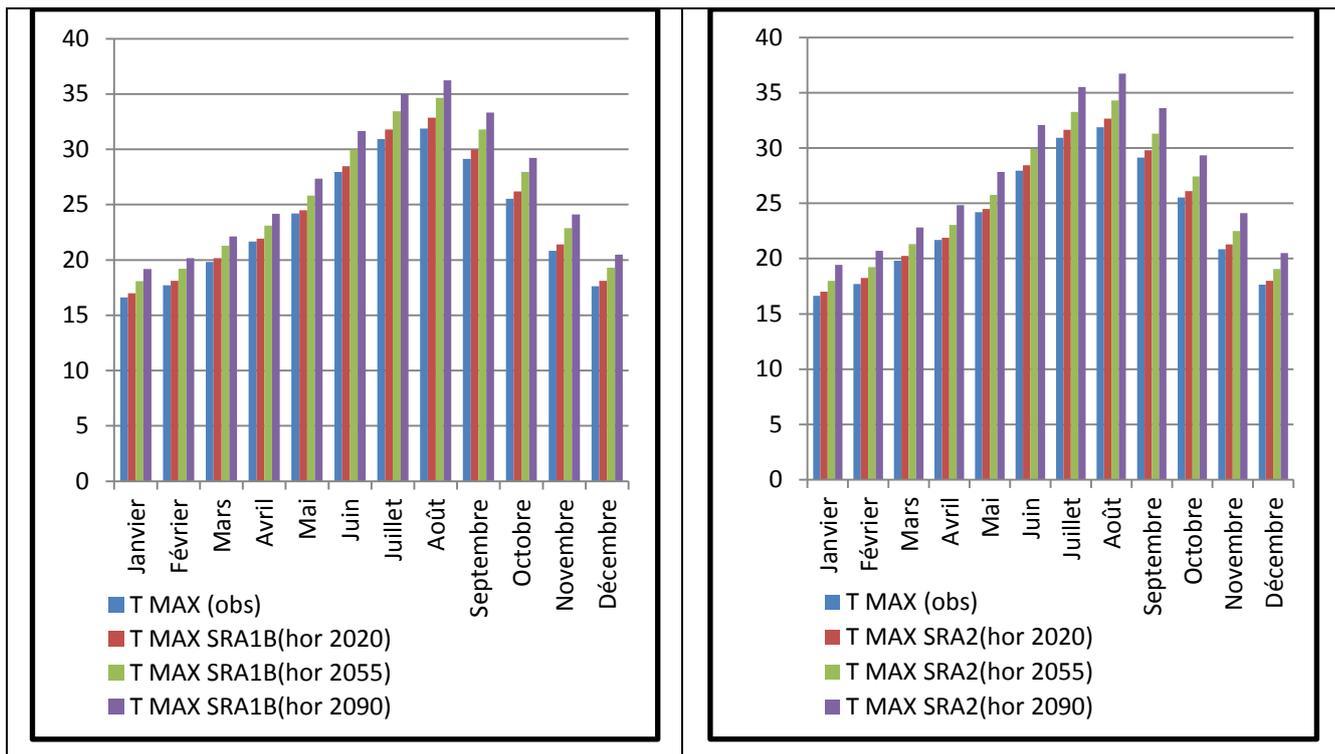


Evolution mensuelle des températures maximales sur l'Oranie à différents horizons selon le modèle IPCM4

Il s'avère que les évolutions mensuelles des températures maximales reproduites par le modèle BCM2 sur ses deux versions SRA1B et SRB1 montrent une tendance vers la hausse des températures maximales pour l'ensemble des périodes d'horizon examinées et pour l'ensemble des mois de janvier à décembre.

Il est important de noter que l'évolution mensuelle positive de la température maximale continue à accroître en considérant une période de simulation plus longue de telle façon que celles simulées pour l'horizon 2020 sont plus basses que celles simulées pour l'horizon 2090.

Chapitre IV :..... étude des projections climatiques



Evolution mensuelle des températures maximales sur l'Oranie à différents horizons selon le modèle HADCM3

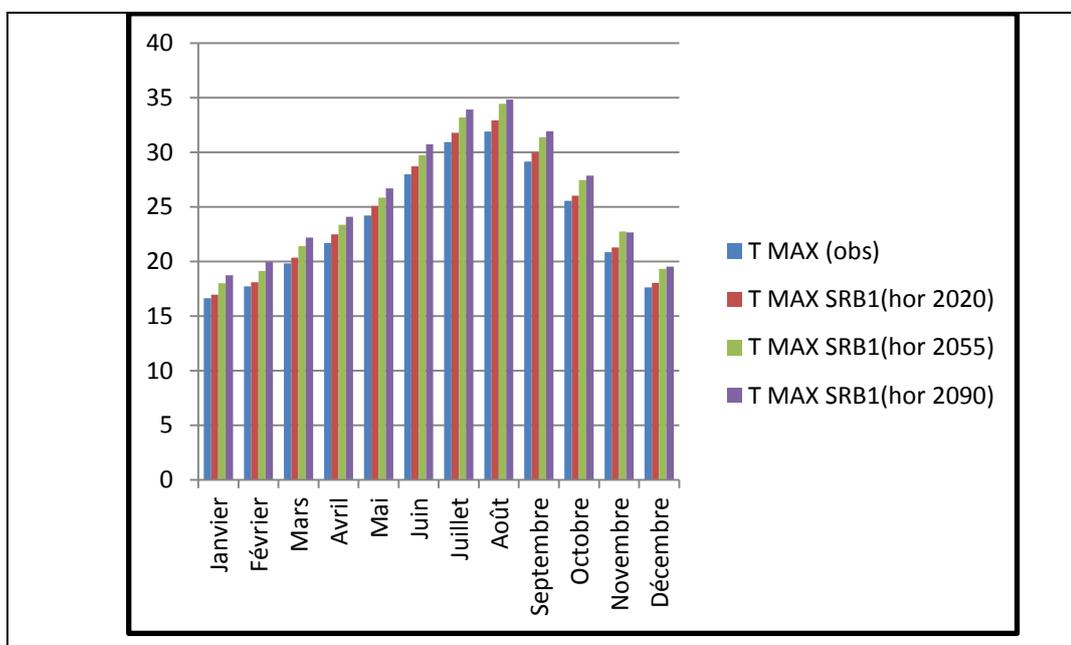
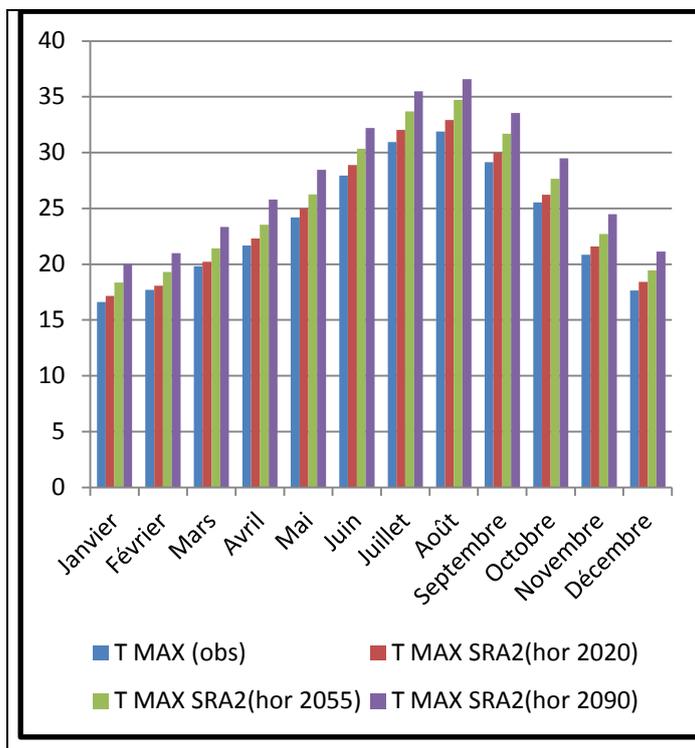
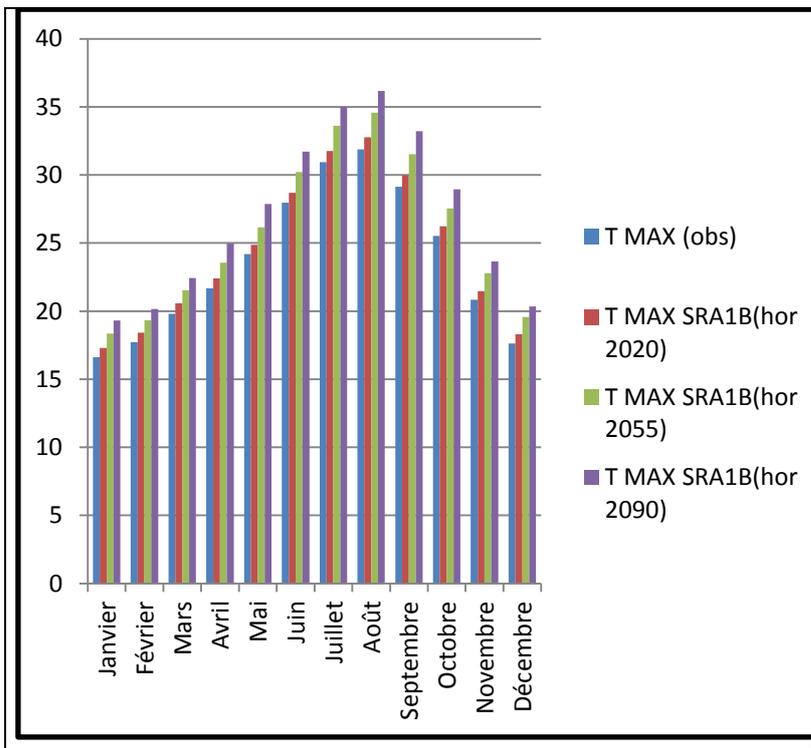
Chapitre IV :..... étude des projections climatique

Afin de bien montrer l'évolution thermique et l'empreinte du changement climatique, les trois scénarios relatifs aux trois périodes d'horizon sont comparés (Figure ***).

L'analyse des courbes montre que l'augmentation des températures maximales mensuelles est certaine, L'ensemble des scénarios sont pessimiste et montre que les températures pourraient augmenter de manière statistiquement continue dans le futur : les températures maximales évolueraient d'une façon régulière pour atteindre des valeurs maximales au cours de la saison estivale.

On note de plus que ces résultats sont en accord avec les conclusions du GIEC (2007) annonçant un réchauffement plus intense vers q 2100 avec un changement climatique bien prononcé et non lissé par la variabilité interannuelle après 2020.

Chapitre IV :..... étude des projections climatiques



Evolution mensuelle des températures minimales sur l'Oranie à différents horizons selon le modèle BCM2

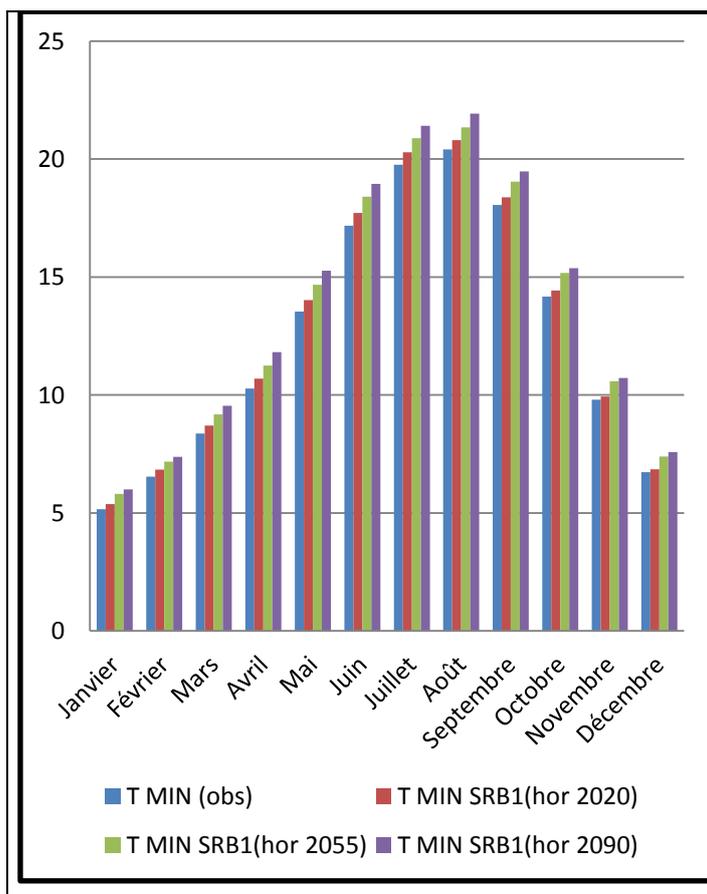
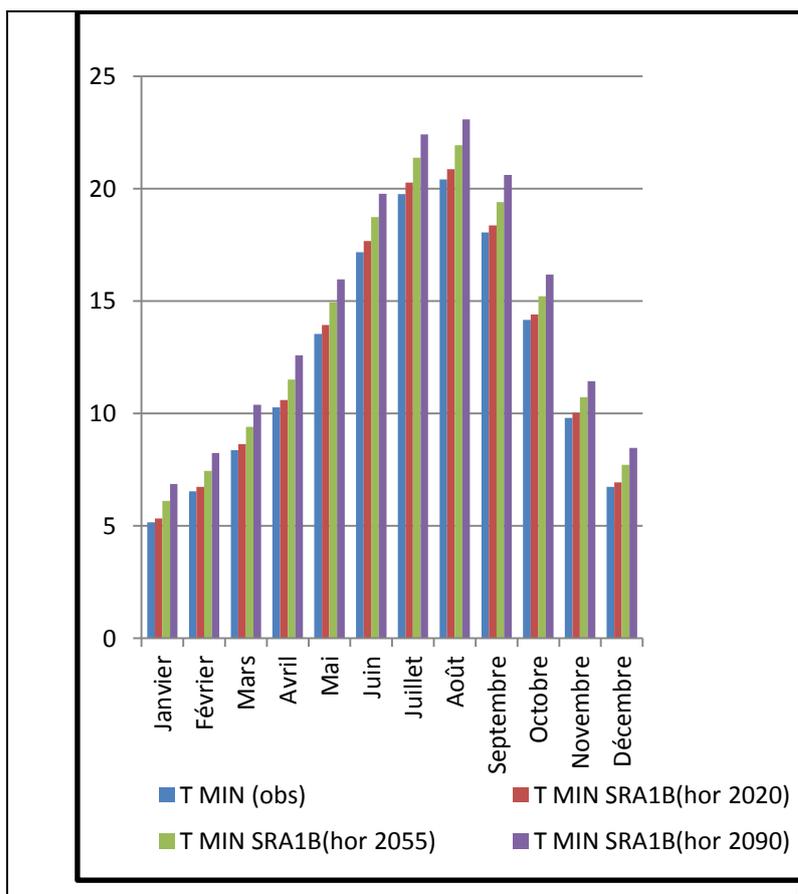
Chapitre IV :..... étude des projections climatiques

Dans le futur, l'accroissement des températures maximales mensuelles est clairement lisible sur les trois scénarios du modèle HADCM3 (Figure ***). ils présentent tous une tendance à l'augmentation. Cette augmentation est plus nette et marquée à partir des années 2020 notamment pour le scénario SRB1, le plus pessimiste des scénarios, alors qu'il apparaît que le scénario SRA2, est le plus proche de la décennie de référence de la station d'Oran.

Même si les représentations graphiques des trois scénarios envisagent le même mode d'évolution, elles tendent à marquer une augmentation plus nette et plus accentuée au cours de la saison d'été.

On note que les trois scénarios ne présentent pas de période de confusion montrant ainsi de différence de comportement du modèle vis-à-vis la température maximale mensuelle.

La forte variabilité interannuelle est marquée pour les trois scénarios et la tendance au réchauffement est beaucoup plus nette en fin de siècle conformément à la bibliographie (GIEC, 2007 ; Dufresne *et al.*, 2006 ; Déqué et Somot, 2010).

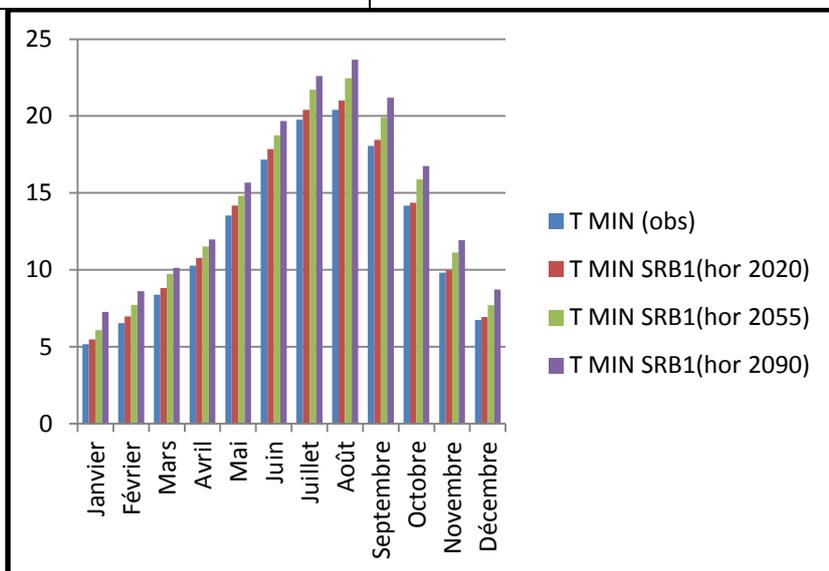
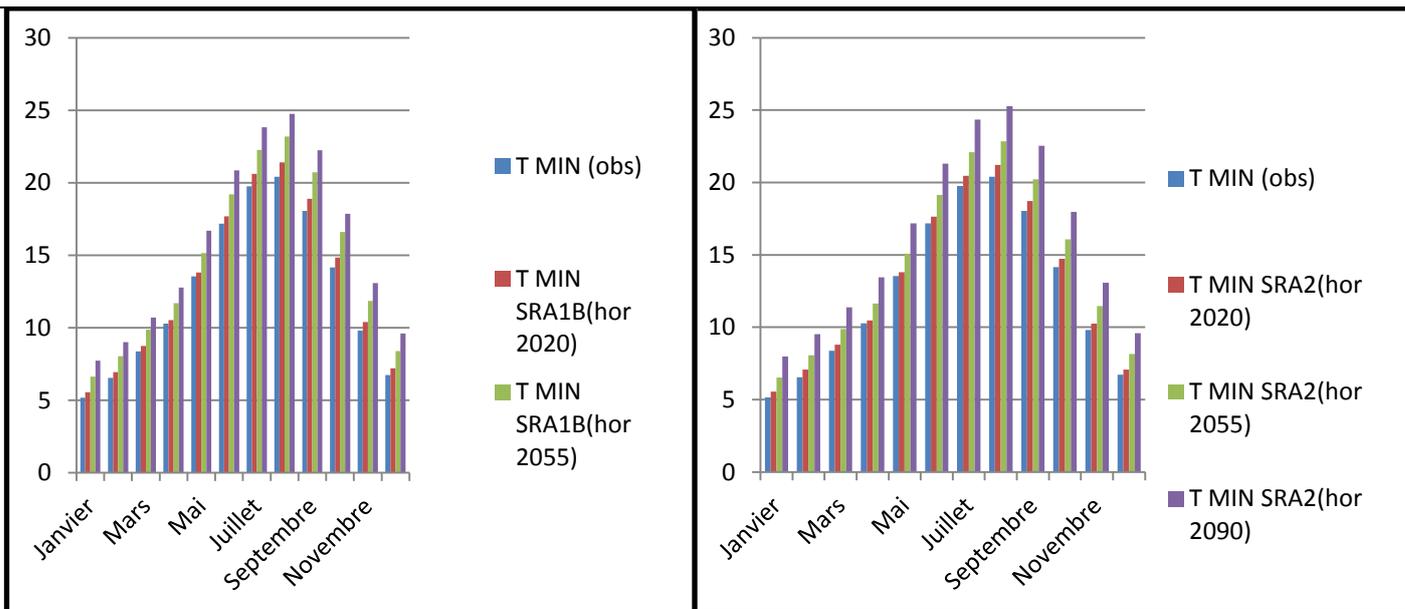


Evolution mensuelle des températures minimales sur l'Oranie à différents horizons selon le modèle HADCM3

La figure montre la distribution des températures minimales mensuelles futurs pour les deux scénarios du modèle BCM2 : ils présentent tous une tendance à l'augmentation. Cette augmentation est plus nette et marquée à partir des années 2020 notamment pour le scénario SRA1B, le plus pessimiste des scénarios.

De plus, pour les trois scénarios, une forte variabilité interannuelle est observée avec une hausse importante après 2020.

Ces observations valident les conclusions du GIEC (2007) à l'échelle globale qui prévoient une hausse importante ainsi qu'une variabilité interannuelle plus forte dans le futur.



Evolution mensuelle des températures minimales sur l'Oranie à différents horizons selon le modèle IPCM4

Chapitre IV :..... étude des projections climatique

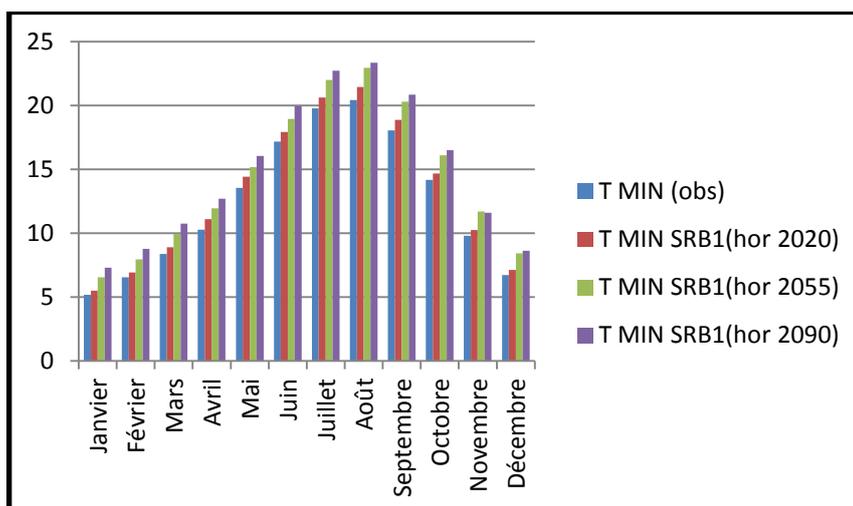
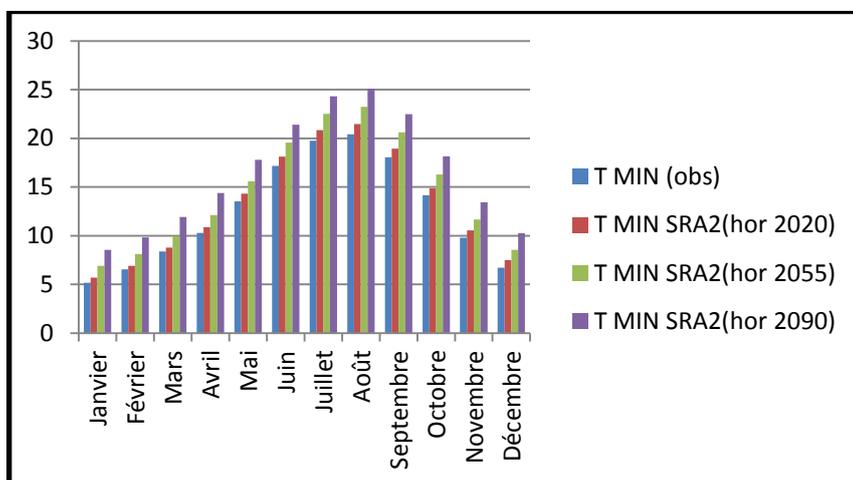
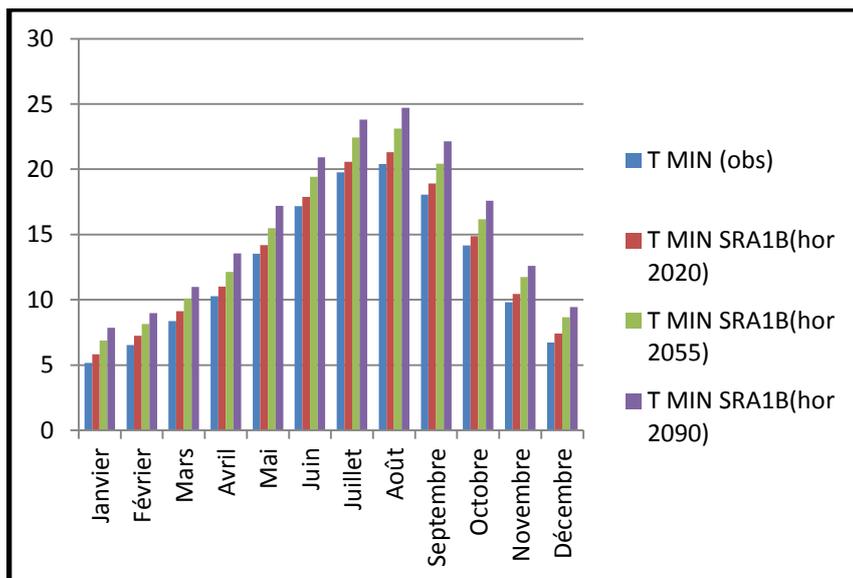
Les figures ci-dessus présentent l'exemple de l'évolution des températures mensuelles minimales annuelles possibles pour le modèle HADCM3 pour trois scénarios différents.

Les trois courbes montrent une tendance à la hausse des températures minimales futures aussi bien hivernales qu'estivales et sans présenter aucune rupture pouvant noter une évolution différente.

Elle est bien marquée pour les températures supérieures à 20°C et correspond à la logique de l'ensemble des scénarios.

En effet, le signal de changement climatique n'apparaît réellement qu'à partir des années 2020, il est masqué par la variabilité interannuelle observée.

Cette hausse des températures minimales signifierait également la hausse possible des aléas extrêmes froids, voire les vagues de froid, défavorables pour certaines espèces.



Les trois scénarios présentent les mêmes tendances mais de manière moins homogène, en effet, la courbe du scénario SRA2 se démarque beaucoup plus des deux autres scénarios.

Chapitre IV :..... étude des projections climatique

Sur la période 2020-2090, les scénarios SRB1 et SRA1B préconisent presque les mêmes chances d'apparition des températures mensuelles minimales voisines.

Il y a beaucoup de chances d'avoir dans le futur, en moyenne, des températures pouvant dépasser une température minimale de 20°C durant l'été.

Les prévisions futures différentes selon les scénarios climatiques sont conformes aux conclusions du GIEC (2007) à l'échelle globale : une forte variabilité interannuelle, un signal de changement climatique mieux détecté après 2050, des canicules estivales plus fréquentes.

Chapitre V :

Vulnérabilité aux changements Climatiques et stratégies d'adaptation

Après avoir étudié la variabilité des précipitations et des températures minimales et maximales, sur deux périodes distinctes, à savoir la période instrumentale basée sur les observations et les projections climatiques à différents horizons issues des modèles climatiques globaux selon les différents scénarios, le présent chapitre sera dédié à la présentation de la vulnérabilité de la région étudiée au changement climatique et la proposition de quelques stratégies d'adaptation, ces derniers proviennent d'une synthèse de quelques études dans le même contexte.

V-1 . Vulnérabilité aux changements climatiques

En Algérie, et en particulier sur la région étudiée la vulnérabilité aux Changements Climatiques s'exprime à travers plusieurs aspects, dont nous citons:

- La rareté des ressources établie par le stress hydrique que connaît le pays La demande en croissance permanente en eau potable, en eau agricole et en eau industrielle, générée par une démographie et un développement industriel sans cesse croissants.
- La diminution probable des écoulements des eaux.
- L'évaporation des eaux de surface, d'où l'augmentation de la demande en eaux souterraines. La vulnérabilité des eaux de surface peut se traduire également en cas d'augmentation de la température à leur réchauffement d'où la réduction de leur capacité à biodégrader certains polluants entraînant une baisse de la qualité.
- La dégradation de l'infrastructure hydraulique, vu l'absence fréquente du couvert végétal des bassins versants. Une dégradation rapide des infrastructures hydrauliques vu les rejets de pollution d'origine urbaine et industrielle et la qualité médiocre de gestion technique des ouvrages provoque des pertes énormes d'eaux.
- Les inondations et divers phénomènes extrêmes, qui ont d'ores et déjà touché plusieurs parties du territoire national
- Les menaces aux zones humides, malgré leur importance dans les processus vitaux et l'accueil de poissons et oiseaux migrants, de nombreuses menaces pèsent sur ces zones, tel le pompage excessif, construction irréfléchie de barrages qui drainent au profit de l'agriculture.

- L'accroissement des températures et la fluctuation des régimes pluviométriques aura des conséquences directes sur l'agriculture du pays par l'approfondissement des déficits hydriques
- Augmentation de la fréquence des feux de forêts due à l'augmentation des périodes caniculaires
- Augmentation de la fréquence des sécheresses météorologiques et agricoles

En Algérie, des pratiques d'adaptation sont déjà utilisées, car les épisodes de sécheresse, d'inondations, d'augmentation anormale de température de l'air se manifestent continuellement. Ces actions, doivent être intégrées dans une politique globale d'adaptation du pays, du fait que les initiatives d'adaptation qui seront prises dans ce secteur auront des conséquences importantes dans plusieurs autres secteurs.

Les principales mesures quantitatives (économie d'eau et amélioration des techniques d'irrigation), qualitatives (lutte contre la pollution) et de gestion, prises par l'Algérie et celles en cours de développement peuvent être décrites par ce qui suit :

V-2. Mesures quantitatives

- Recours aux techniques d'économie d'eau en particulier en agriculture tel que l'irrigation du goutte à goutte et de l'aspiration contrôlée ainsi le choix de cultures moins consommatrices d'eau.
- Mobilisation des eaux conventionnelles non mobilisées à ce jour.
- Valorisation des eaux usées traitées à travers leur utilisation maîtrisée pour l'arrosage de certaines cultures et le développement des activités industrielles,
- L'accélération de construction de barrages,
- Lancement de programmes de forage supplémentaires et réhabilitation de certains forages abandonnés,
- Réglementation du prélèvement d'eau au niveau des nappes souterraines,
- Réhabilitation des réseaux de distribution d'eau,
- Amélioration de modes de gestion d'eau industrielle (Recyclage, réutilisation, ...),
- Construction d'usines de désalinisation et de traitement des eaux usées,
- Diminution de l'évaporation sur les lacs des barrages- réservoirs ou sur les lacs collinaires [plusieurs expériences ont été menées mais n'ont pas eu un grand succès],

- Reprise de la technique de « la pluie provoquée » fin d'accroître le rendement en eau précipitée à partir des nuages,
- Application des techniques de recharge artificielle des nappes aquifères dans les régions du Sud. Ces techniques, appliquées en Hollande, en Californie et en Floride, et qui nécessitent un transfert de technologies en Algérie, consistent à stocker, en hiver, dans les nappes phréatiques, l'eau des rivières pour les utilisées en été, par pompage, pour l'irrigation ou la consommation urbaine.

V-3.Mesures qualitatives

- Dépollution des systèmes hydriques et épuration des eaux usées avant rejet,
- Protection des eaux contre la pollution (agricole, industrielle et humaine),
- Renforcement des systèmes de surveillance des ressources en eau,
- Amélioration de la qualité des eaux de consommation humaine par déminéralisation et par élimination des risques de contamination au niveau des transports, du stockage et de distribution,
- Protection des zones humides en tant que lieu d'habitat des espèces faunistiques locales et migrantes,
- Réajustement de modes de gestion
- Amélioration de l'accès des citoyens aux services d'alimentation en eau potable en mettant l'accent sur la gestion intégrée de la ressource (gestion de l'offre, de la demande et de la conservation),
- Réforme du mode de gestion de l'eau agricole,
- Renforcement du partenariat public-privé,
- Amélioration des stratégies de planification et de préparation en vue des sécheresses et inondations sévères,

➤ Actualisation de l'état de connaissance des eaux souterraines à travers le lancement des études d'actualisation des inventaires dans l'objectif d'améliorer les connaissances et renforcer les actions de prospection des systèmes aquifères non connus et étendre la possibilité de leur utilisation, En Algérie, des mesures préventives, pour lutter contre les effets néfastes des phénomènes extrêmes, sont aussi au centre des préoccupations de l'Etat depuis l'adoption de la loi relative aux risques naturels et technologiques majeurs (loi 04-20 du 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable.

Conclusion

générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Un des objectifs de cette étude était d'établir une prospective des conditions météorologiques futures à partir de données simulées de sorties de modèles du climat.

L'analyse devait mettre en évidence les accords ainsi que les biais inhérents aux modélisations climatiques dans une démarche critique.

L'étude montre que les modèles simulent correctement l'allure des distributions de températures mensuelles sur les périodes clés étudiées de la station de référence. Cependant, il témoigne d'un biais entre les scénarios et tend à accentuer les différences de comportement pour certaines saisons.

La tendance au réchauffement est principalement accentuée au cours de la saison estivale.

Néanmoins des prospectives sur les scénarios de changement climatique sont possibles :

- Le réchauffement des températures minimales et maximales prévu est envisagé pour l'ensemble des modèles, des scénarios et pour l'ensemble des périodes d'horizon examinées qui pourront augmenter selon les scénarios,
- la période future témoigne d'une forte variabilité interannuelle,
- les tendances thermiques du futur ne sont pas linéaires, les différents scénarios traduiront néanmoins la plus forte augmentation sur les températures maximales

Cette évolution de la température est probablement liée à l'influence croissante des systèmes de hautes pressions, qui favorisent des conditions de stabilité, de subsidence et de stabilité de la masse d'air et une insolation maximale.

Même si les approches du changement climatique par les modélisateurs du climat sont aujourd'hui encore trop approximatives pour apporter des réponses aux échelles locales, donnent une vision prospective en s'intéressant aux modifications futures liées aux températures extrêmes auxquels plusieurs secteurs sont particulièrement sensibles.

A l'échelle mensuelle, les précipitations ont diminué. L'affaiblissement de la cyclogenèse dans le bassin méditerranéen occidental lié à une diminution en fréquence des régimes de temps associés au flux de sud - sud-est semble être à l'origine de la baisse des précipitations hivernales. Cette évolution est confirmée par l'analyse des tendances sur les indices pluviométriques retenus, qui indique que la diminution des totaux et du nombre de jours de fortes précipitations est responsable de la diminution des précipitations hivernales

Conclusion générale

dans ces bassins.

Cette étude a permis de compléter les résultats obtenus à partir des modèles précédents.

Qui ont permis à leur tour leur capacité à reproduire des structures dans la répartition des températures minimales et des températures maximales.

La discussion portée sur la qualité de l'information issue des différents modèle ne peut être que partielle, les sorties de modèles présentent des marges d'incertitudes liées à la complexité de prendre parfaitement en considération les phénomènes météorologiques et climatique à cette échelle d'analyse. Ces simulations futures vont permettre de compléter les travaux réalisés dans le cadre de cette étude afin d'analyser la probable répartition spatiale des températures dans le futur.

Ce type d'étude, au carrefour entre les sciences de la modélisation climatique et de la manifestation météorologique met en évidence les limites inhérentes à l'utilisation de sorties de modèles.

Malgré les incertitudes qui en résultent, il apparaît une tendance robuste à l'augmentation de la température maximale et minimale.

La disponibilité de projections climatiques avec des résolutions spatiales fines est donc une nécessité de plus en plus forte pour préparer les mesures d'adaptation nécessaires.

Ces mesures d'adaptation aux changements climatiques sont d'ailleurs actuellement la préoccupation majeure des nouveaux contrats de recherche.

Enfin, nous pouvons conclure que l'étude menée dans le cadre de ce projet de fin d'études peut être étalée sur une zone géographique plus importante qui englobe des stations de région côtière, et proche côtière, les hautes plaines et les hauts plateaux, vu l'existence d'une grande différence dans le cumul pluviométrique annuel et les températures extrêmes (maximale et minimale).

entre ces régions, ce qui va permettre par la suite de cartographier les résultats obtenus que ce soit pour les précipitations, températures minimales, et maximales

ainsi que les indices climatiques exposés auparavant, concernant la cartographie, une carte de vulnérabilité sera conçue afin de faciliter les tâches pour les géographes, climatologues et même les prévisionnistes, sachant que ces cartes obtenues vont contribuer à élucider les régions favorables aux développements de canicules, et aux précipitations intenses par conséquent la vigilance sera facile à établir en couplant cette information avec les sorties des modèles numériques de prévision du temps, en outre on peut noter que la cartographie des différents indices à des horizons futurs va permettre aux décideurs de prendre des mesures d'adaptations adéquates, pour lutter contre le changement climatique

Conclusion générale

on propose aussi de développer un travail à échelles plus fines avec des mesures de terrain complémentaires, voire même itinérantes pour compléter la modélisation spatiale obtenue et ainsi affiner l'analyse et la comparaison aux données observées. Il s'agira de prendre en considération les autres variables que la température et de poursuivre plus en détails le travail de validation et comparaison.

L'étude réalisée dans le cadre de ce travail pourrait être également complétée par une étude ciblée non plus sur la seule évolution mais sur la perception du changement climatique et de ses répercussions sur les autres secteurs dans le but de les mettre en relation avec les données quantitatives et d'établir des champs d'actions possibles.

La bibliographie

- [1] Amadou I Bokoye 2007, Description sommaire des méthodes de mise à échelle statistique (MAS).
- [2] Julien BOE 2007, changement global et cycle hydrologique : une étude de régionalisation sur la France.
- [3] Goubanova Katerina 2007, une étude des événements climatiques extrême sur l'Europe et le bassin Méditerranéen et leur évolution future.
- [4] Marie PIAZZA, christan PAGE, Emilia SANCHEZ Lournet TERRAY 2011, Comparaison des méthodes de désagrégation statistique et dynamique pour l'évaluation du changement climatique sur les zones de montagnes en France.
- [5] Edgar Herrera, Taha B.M.J Ouardaet Bernard Bobée 2006, méthode de désagrégation Appliquées aux modèles du climat global Atmosphère-océan (MCGAO).
- [6] Mikhail A. Semenov and Elaine M. Barrow 2002: A Stochastic weather generator for use in climate Impact Studies.
- [7] Roy Spencer 2009, comment Fonctionnent les modèles du climat ?
- [8] Cédric Cuccia 2008, changements climatiques observés en Bourgogne depuis 1961 : Etude des variations de températures et de précipitations Mémoire pour l'obtention du Master Recherche Géobiosphère.
- [9] Projet ACCLIMATE, ETUDE SIM-CLIM : Etat de l'art sur la modélisation du climat et synthèse sur les techniques de descentes d'échelle climatiques.
- [10] Wanli Wu, Yubao Liu, Ming Ge, Dorita Rostkier-Edelstein, Gael Descombes, Pavel Kunin, Thomas Warner, Scott Swerdlin, Amir Givati, Thomas Hopson, David Yates, 2012 : Statistical downscaling of climate forecast system seasonal predictions for the Southeastern Mediterranean
- [11] « Vulnérabilité aux Changements Climatiques des secteurs nationaux prioritaires » du projet « GEF/PNUD » établi entre le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE), le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) et le Fonds pour l'Environnement Mondial (FEM) au titre de la « Seconde Communication Nationale sur les Changements Climatiques ».