

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPABLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**

جامعة سعد دحلب – البليدة 1-

UNIVERSITE SAAD DAHLEB -BLIDA 1-

Faculté de technologie

Département Des Sciences De L'eau et Environnement



MEMOIRE DE MASTER

Spécialité : Ressources Hydraulique

Thème :

*Corrections de biais appliquées aux sorties des modèles climatiques
régionaux CORDEX- AFRICA pour la prévision des précipitations :
cas du bassin du Haut Cheliff*

Présenté par : **RAMDANI FATIHA**

Devant le jury :

Mr MERABTIA	MCB, U. BLIDA 1	Président
Mr HADDAD.A	MCB, U. BLIDA 1	Examineur
Mme TAIBI-FEDDAL.S	MCA, U. BLIDA 1	Promotrice
Mr ZEROUAL.A	MCA, ENSH-BLIDA	Co-promoteur

Promotion 2020 /2021

Remerciements

Je remercie Dieu tout puissant de m'avoir donné tout de patience et de courage
pour accomplir ce travail.

J'exprime toute ma gratitude à ma promotrice **M^{me} Taibi S.**, qui a accepté de
diriger ce travail. Je tiens à lui exprimer ma profonde reconnaissance.

Je remercie mon co-promoteur **Mr Zeroual A.** pour sa disponibilité

Un remerciement à **Mr Merabti B.** et **Mr Haddad A.** d'avoir accepté de juger
ce travail

Je remercie tout particulièrement **M^{me} Benkaci S.** chef de département SEE.

Mes vifs remerciements pour les enseignants du département des sciences de
l'eau et environnement

Merci à vous

Dédicaces

*A l'âme de ma mère Qui a toujours été l'étoile de
mon ciel, Que dieu l'accueille en son vaste
paradis.*

*Je dédie ce travail en signe de reconnaissance
et de respect A mon père*

À mes chers frères BILEL ET KARIM

*A mes chères sœurs ZOHOR, ILHEM ET
FERIEL*

A mes chères amis (e)

Ramdani fatiha

ملخص

يمكن أن يؤدي استخدام النماذج المناخية ذات الدقة العالية إلى تحسين عمليات المحاكاة الإقليمية لهطول الأمطار بشكل كبير، ومع ذلك، مخرجات النموذج تحتوي على تحيزات كبيرة، من أجل جعلها قابلة للاستخدام فإن تقنية التصحيح ضرورية. وتم تقييم عمليات محاكاة هطول الأمطار من نموذجين مناخيين إقليميين لبرنامج AFRICA-CORDEX في ست محطات لقياس سقوط الأمطار في للحوض العلوي شلف. وأظهرت النتائج أن كلا النموذجين CNRM و MPI متحيزان خلال الفترة 1981-2005. قمنا بتطبيق أساليب التصحيح (basic quantile و gamma mapping) لضبط المخرجات الشهرية لهطول الأمطار وذلك من أجل دراسة التغيرات في كلا الأفقين (2046-2070) و (2076-2100) تحت تأثير السيناريوهين RCP4.5 و RCP 8.5. تظهر النتائج بشكل عام انخفاضا في هطول الأمطار بنسبة 17% إلى 65% بالنسبة للسيناريو RCP 4.5 وانخفاضا بنسبة 26% إلى 70% ل سيناريو RCP 8.5 ، خاصة في فصل الشتاء.

الكلمات المفتاحية: النماذج المناخية ، هطول الأمطار، تصحيح التحيز، السيناريوهين RCP4.5 و RCP 8.5

Résumé :

L'utilisation des modèles climatiques à haute résolution permet d'améliorer considérablement les simulations des précipitations régionales. Cependant les sorties du modèle présentent des biais important, afin de les rendre utilisables les techniques de correction sont nécessaires. Les simulations des précipitations issues de deux modèles climatiques régionaux du programme AFRICA-CORDEX ont été évaluées sur six stations pluviométriques sur bassin du haut Cheliff. Les résultats ont montré que les deux modèles CNRM et MPI sont biaisés sur la période 1981-2005. Les méthodes de correction (basic-quantile et gamma mapping) ont été appliquées pour ajuster les sorties des précipitations mensuelles et pour étudier l'évolution aux deux horizons (2046-2070) et (2076-2100) sous l'effet de deux scénarios d'émissions RCP4.5 et RCP 8.5. Les résultats montrent dans l'ensemble une baisse des précipitations de 17% à 65% pour le scénario RCP 4.5 et une baisse de 26% à 70% pour le scénario RCP 8.5, particulièrement en hiver.

Mots clés : modèles climatiques, précipitations, correction de biais, scénarios RCP4.5 et RCP 8.5

Abstract:

The use of high-resolution climate models allows to improve considerably the simulations of regional precipitation. However, the model outputs have significant biases, and in order to make them usable, correction techniques are necessary. Precipitation simulations from two regional climate models of the AFRICA-CORDEX program were evaluated at six rainfall stations in the Upper Cheliff basin. The results showed that the two models CNRM and MPI are biased over the period 1981-2005. The correction methods (basic-quantile and gamma mapping) were applied to adjust the monthly precipitation outputs and to study the evolution at both horizons (2046-2070) and (2076-2100) under the effect of two emission scenarios RCP4.5 and RCP 8.5. The results show an overall decrease in precipitation of 17% to 65% for the RCP 4.5 scenario and a decrease of 26% to 70% for the RCP 8.5 scenario, particularly in winter.

Keywords: climate models, precipitation, bias correction, scenarios RCP4.5 and RCP 8.5

Liste des abréviations

ABH C-Z : Agence des bassins hydrographiques Chellif-zahrez

ANRH : Agence nationale des ressources hydraulique

GES : gaz a effet de serre

CCNUCC : Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques

GIEC: Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat

PNUD: Programme des Nations Unies pour le Développement

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

RCP : Representative concentration pathways

SRES: Spécial Report on Emission Scenarios.

MCR : Modèle climatique régionale

MGC : Modèle climatique globale

CIAT : International Center for Tropical Agriculture.

GISS : Goddard Institute for Space Studies

CNRM: centre nationale de recherche en météorologie

MPI : Institut Max-Planck de météorologie

Liste des figures

Figure I.1 : Emissions de CO ₂ mondiales par source d'activité	5
Figure I.2 : Émissions de CO ₂ issues de combustibles fossiles en 2018.....	6
Figure I.3 : Simulation des variations de température de la terre et comparaison des résultats aux changements	7
Figure I.4 : Les risques de catastrophes climatiques dans le monde.	9
Figure I.5 : Evolution des températures moyennes annuelles de l'Algérie (1901-2000)	11
Figure I.6 : Evolution des totaux annuels de précipitations de l'Algérie (1901-2000)	11
Figure I.7 : Carte pluviométrique selon l'ANRH pour la période 1922-1989	12
Figure I.8 : Carte pluviométrique selon l'ANRH pour la période 1965-2004	12
Figure I.9 : Evolution attendue de la température selon les scénarios RCP du GIEC	14
Figure I.10 : Moyenne multimodèle de la différence de la température (°C) de l'air près de la surface, entre la fin du XXI ^e siècle (moyenne des années 2080 à 2099) et la fin du XX ^e siècle (moyenne des années 1980 à 1999), pour le scénario d'émission A1B	15
Figure I.11 : Moyenne multimodèle de la différence de précipitations (mm/j) entre la fin du XXI ^e siècle (moyenne des années 2080 à 2099) et la fin du XX ^e siècle (moyenne des années 1980 à 1999), pour le scénario d'émission A1B.	15
Figure I.12 : Changement prévisible des températures de surface de la mer en hiver (a) et en été (b) en 2070-2099 par rapport à 1961-1990.....	16
Figure I.13 : Évolution des précipitations en Méditerranée et en Europe en 2080-2099 comparées à la période 1980-1999, suivant un scénario d'émissions A1B	17
Figure I.14 : Incertitudes sur l'élévation attendue du niveau de la mer au cours du XXI ^e siècle.....	17
Figure I.15 : Guidage du modèle climatique régional par le modèle climatique global	22
Figure I.16 : Schéma de la première phase de l'expérience CORDEX	24
Figure I.17 : Schéma de la procédure générale de la correction de biais.	26
Figure I.18 : Exemple de la méthode de correction par delta. Le changement relatif entre la période de référence et la période future est calculé (A) et appliqué à la série temporelle observée (B)	28
Figure I.19 : Schéma de correction de biais (température et précipitation) par méthode gamma mapping(Hakala et al,2020).	29
Figure II.1 : Carte de localisation du Bassin versant du Haut Cheliff	30
Figure II.2 : les sous bassin hydrographique du haut Cheliff	31
Figure II.3 : Réseau Hydrographique du Haut Cheliff.....	33
Figure II.4 : Carte des étages bioclimatiques du bassin Cheliff.	34
Figure II.5 variation des précipitations période (mensuelle 1981-2011)	35
Figure II.6 : Localisation de la nappe du Haut Cheliff.	37

Figure III.1 : Représentation du cycle saisonnier par les modèles climatiques.....	40
Figure III.2 : Différence entre les pluies passées (1981-2005) et futures (2046- 2070) simulées par CNRM et MPI pour les deux scénarios climatiques (RCP 4.5 et RCP 8.5).	42
Figure III.3 : Différence entre les pluies passées (1981-2005) et futures (2075- 2100) simulées par CNRM et MPI pour les deux scénarios climatiques (RCP 4.5 et RCP 8.5).	45
Figure III.4 : Différence entre les pluies observées et simulées(A), simulations futures après correction gamma mapping , simulation après correction basic-quantile (c) : cas du modèle CNRM, RCP 4.5, station Theneit el Had	47
Figure III.5 : comparaison entre les précipitations brutes et précipitation futures corrigées (2046-2070) par rapport aux observations après correction de biais par méthodes basic quantile et gamma mapping.....	48
Figure III.6 : comparaison entre les précipitations brutes et précipitation futures corrigées (2076-2100) par rapport aux observations après correction de biais par méthodes basic quantile et gamma mapping.....	51

Liste des tableaux

Tableau I.1: Projections climatiques saisonnières des températures et des pluies sur l'Algérie l'horizon 2020 et 2050	18
Tableau I.2 : Projections climatiques pour la pluviométrie en Algérie à l'horizon 2071-2100 sous trois scénarios du GIEC.....	19
Tableau II.1 : présentation des stations pluviométriques dans le bassin haut Cheliff	31
Tableau II.2 : Caractéristiques morpho métriques des bassins versants de la région d'étude.	32
Tableau II.3 : Distribution saisonnière des précipitations	34
Tableau II.4 : les précipitations mensuelle au cours de la période (1981- 2011).	35
Tableau II.5 : les températures mensuelle des 2 stations (Ain defla et Ghrib Bge).....	36
Tableau III.1 : le biais estimé en (%) entre les pluies observées et simulées au cours de période (1981-2005).....	39

Table des matières

Introduction générale	Error! Bookmark not defined.
I.1.Définition	3
I. 2.Cause de la variabilité climatique	3
I.2.1. Cause d'origine naturelle	3
I.2.2. Causes d'origine anthropique	4
I.3.1.Variabilité climatique a l'échelle globale	6
I.3.2.Variabilité climatique dans la région méditerranéenne	9
I.3.3.Variabilité climatique en Algérie.....	10
I .4.Les projections climatique	13
I.4.1.Scénarios d'émission	13
I.4.1.1.Construction des scénarios climatiques futurs	13
I.4.1.2.Representative Concentration Pathways" (RCP).....	13
I.4.2.Evolution du climat futur a l'échelle globale	13
I.4.3. Evolution du climat futur dans le bassin méditerranéen	16
I.4.4. Evolution du climat futur en Algérie	17
I.5.La gestion de l'eau en Algérie.....	19
I.6. Modélisation climatique.....	20
I.6.1 Différents types de modèles	21
I.6.2. Les différents scénarios utilisés par les modèles climatiques	22
I .6.3. Les scénarios « SRES » (Spécial Report on Emissions Scenarios) :	23
I.6.4. Modèles climatiques régionaux (CORDEX).....	23
I.6.5. Sources d'incertitudes dans les projections climatiques	Error! Bookmark not defined.5
I.7. corrections de biais a la sortie d'un modèle climatique	Error! Bookmark not defined.5
I.7.1. Les principales méthodes de correction	27
I.7.1.1. La méthode « delta ou des anomalies ».....	27
I.7.1. 2 .La méthode de correction de variables ou méthode gamma mapping	28
II.1 .Situation géographique	30
II.2. Morphologie du bassin du Haut Cheliff	31

II.3. Réseau hydrographique	33
II.4. Climat du bassin du Haut Cheliff	33
II.5 .Ressources en eau.....	36
II .5.1. Les eaux conventionnelles	36
II.5. 2 .Eaux non conventionnelles	37
III.1 Analyse des Performances des modèles climatiques régionaux	38
III.2 .Evolution future précipitations	41
III.3 Correction de biais des précipitations simulées	46
Conclusion générale.....	54

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

On observe actuellement des changements climatiques particulièrement rapides qui ne sont pas d'ordre astronomique. Ces modifications sont observées depuis la fin du 19^{ème} siècle et sont dues à la pression historique de l'homme sur les ressources de l'enveloppe terrestre superficielle qui a abouti, avec un très grand degré de certitude, à la perturbation de l'équilibre énergétique qui régit le climat sur terre. Actuellement, la communauté scientifique admet que le changement climatique observé ces dernières décennies est le fait d'une augmentation de la concentration en dioxyde de carbone (CO₂) et autres gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère, à laquelle les activités humaines ont très fortement contribué (IPCC, 2013).

L'Algérie est un pays situé au Nord de l'Afrique. Son climat est essentiellement semi-aride mais subit aussi une influence méditerranéenne importante. Or, les régions semi-arides et méditerranéennes devraient être plus vulnérables aux changements climatiques, en partie à cause de leur grande variabilité climatique intrinsèque (kartoubi et al., 2017). Aussi, une modification des pluies va probablement entraîner une modification de la disponibilité des ressources en eau.

Plusieurs phénomènes climatiques ont poussé la communauté mondiale à s'intéresser aux changements climatiques sur les ressources en eau. Parmi elles, on peut citer la sécheresse qui a affecté les pays du Maghreb, l'Algérie en particulier, depuis les années 1970. L'Algérie a connu durant son histoire de nombreuses périodes de sécheresses. Les plus sévères et les plus persistantes sont celles relevées durant les années 1980 à 90 où le déficit pluviométrique a été estimé à 50% pour les régions du centre et de l'Ouest de l'Algérie et à 30% à l'est (khoualdia et al., 2014).

Les précipitations représentent le facteur le plus important du climat tant pour les populations que pour les écosystèmes. Elles sont faciles à mesurer. Autant de raisons qui font que la plupart des études et analyses portent sur les précipitations bien plus que sur d'autres paramètres du climat. Toutes les ressources sont conditionnées par les précipitations très irrégulières dans l'espace et dans le temps. La caractérisation de la tendance de la variabilité annuelle des précipitations est importante pour la prévision, la gestion des ressources hydriques, et l'étude des changements climatiques (khoualdia et al., 2014).

Des travaux scientifiques ont porté sur le développement de modèles climatiques de circulation globale MCG et de circulation régionale MCR, qui, utilisant les scénarios développés par (GIEC) arrivent à projeter le climat futur, nombreux projets ont œuvré pour mettre à la disposition des utilisateurs une multitude de simulations d'un ensemble de

variables climatiques issues de sorties de Modèles climatiques régionaux, CORDEX est un programme international mis en œuvre par plusieurs centres de recherches dans le but de produire des scénarios de changement climatique fiables à des fins d'études d'impact. Ce projet met ainsi à la disposition de la communauté scientifique des scénarios haute résolution de changement climatique à l'échelle régionale

Afin de rendre utilisables les données des simulations provenant des MCR pour une étude d'impact, une étape de correction de biais est donc nécessaire. Les méthodes de correction de biais sont basées sur la comparaison entre les données simulées et observées sur une période passée. L'écart entre les deux est considéré comme le biais ou l'erreur du modèle. Cette correction permet ainsi d'augmenter le degré de confiance dans l'estimation des moyennes et des extrêmes climatiques tirés des simulations du climat futur.

Notre travail a pour objectif d'évaluer la performance des deux modèles climatiques CNRM et MPI en fonction de deux scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5, nous présentons deux méthodes de correction de biais (basic quantile et gamma mapping) pour les sorties simulées des deux modèles cités au-dessus, le bassin du haut Cheliff a été sélectionné comme étude de cas.

Ce travail est structuré en trois chapitres :

- Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique sur la variabilité climatique, ses causes et conséquences ainsi que les projections climatiques et les modèles climatiques régionaux.
- Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude du bassin du haut Cheliff.
- Le troisième chapitre présente les résultats de simulation des modèles climatiques régionaux et les projections des précipitations après correction de biais

CHAPITRE I

• *SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE*

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Le changement climatique observé ces dernières décennies est étroitement lié aux variations d'un certain nombre de composantes du cycle hydrologique, telles que la modification du régime de l'intensité et des extrêmes des précipitations, la fonte généralisée de la neige et de la glace, l'augmentation de la vapeur d'eau atmosphérique et de l'évaporation ainsi que les modifications de l'humidité du sol et du ruissellement. Tous les éléments du cycle hydrologique sont sujets à une forte variabilité naturelle sur des échelles de temps interannuelles à décennales qui masque souvent les tendances à long terme (Bates et al., 2008), ce chapitre a pour objectif de présenter une vue générale sur le changement climatique observé et projeté à l'échelle globale, à l'échelle méditerranée et avec attention particulière sur l'Algérie.

I. 1. Définition

La variabilité climatique désigne des variations de l'état moyen et d'autres statistiques (écarts standards, phénomènes extrêmes, etc.) du climat à toutes les échelles temporelles et spatiales au-delà des phénomènes climatiques individuels. La variabilité peut être due à des processus internes naturels au sein du système climatique (variabilité interne), ou à des variations des forçages externes anthropiques ou naturels (variabilité externe) (Farah, 2014).

La variabilité climatique se réfère à la variation naturelle intra et interannuelle du climat, alors que les changements climatiques désignent un changement du climat attribué directement ou indirectement aux activités humaines qui altèrent la composition de l'atmosphère globale et qui s'ajoutent à la variabilité climatique naturelle observée sur des périodes de temps comparables (Farah, 2014).

I. 2. Cause de la variabilité climatique

Le changement climatique est le résultat d'une dynamique entre un ensemble de différents facteurs dont la contribution dépend surtout de l'importance de leurs actions dans le temps. Les causes du changement climatique peuvent être d'origine naturelle ou anthropique (Chourghal, 2016).

I.2.1. Cause d'origine naturelle

- Périodicité astronomique

Les variations à long terme des paramètres de l'orbite et de la rotation terrestre engendrent des variations de l'ensoleillement reçu à la surface de la Terre, ces variations pouvant entraîner des changements climatiques. Trois paramètres contrôlent cette distribution d'ensoleillement (**L'excentricité**, **L'obliquité** et **La précession** climatique) (Benjamin, 2005).

- **Variation de l'activité solaire**

La source d'énergie essentielle pour la surface de la Terre est le flux d'énergie solaire. L'augmentation de l'activité solaire se traduit par un grand nombre de taches à sa surface et une hausse des éruptions solaires. Pour le dernier millénaire, il semble que les fluctuations solaires soient à l'origine de changements climatiques importants tels l'optimum médiéval (période plus chaude centrée sur le XIIe siècle) ou le petit âge glaciaire (période de froid qui a touché l'Europe entre environ 1550 et 1850) (Lhuillier, 2015).

- **Activité volcanique**

Les éruptions volcaniques explosives peuvent injecter dans l'atmosphère des millions de tonnes de poussière et de cendre (Viner et al., 2006). Cette poussière absorbe le rayonnement solaire et provoque donc un réchauffement de l'atmosphère (stratosphère), l'éruption du Tambora le 10 avril 1815 dans l'île indonésienne est considérée comme la plus meurtrière du dernier millénaire (Chourghal, 2016).

- **Les courants océaniques**

Les courants océaniques jouent un très grand rôle dans le transport d'énergie à plus haute altitude, ce qui signifie que tout changement dans cette composante impliquera inévitablement d'importants changements dans le climat, les variations de la température de la surface de la mer et du vent affectent dramatiquement le climat et par conséquent la Biosphère (Chourghal, 2016).

- **La cryosphère**

Le changement de la couverture globale de neige et de glace, mis à part la couverture neigeuse saisonnière, Les observations depuis 1972 montrent que la couverture neigeuse de l'hémisphère nord a régressé depuis 1987. Cela a induit une diminution de l'albédo régional, en conséquence une augmentation de la température hivernale dans l'hémisphère nord (Chourghal, 2016).

I.2.2. Causes d'origine anthropique

- **Gaz à effet de serre (GES)**

La terre reçoit l'énergie de soleil sous forme de lumière et de chaleur. Environ la moitié de ce rayonnement de courtes longueur d'ondes est réfléchi par l'atmosphère et la surface terrestre. C'est l'effet albédo. L'autre moitié est absorbée par la surface terrestre et réchauffe la terre. Cette chaleur est ensuite renvoyée sous forme de rayonnement ascendant de grande longueur d'onde. Une partie de cette chaleur part dans l'espace, mais une autre est absorbée dans l'atmosphère par les gaz à l'effet de serre et renvoyée vers la terre (Taibi, 2020).

L'atmosphère est naturellement composée d'un ensemble de gaz induisant une température d'équilibre de -18°C . Certains de ces gaz sont transparents au rayonnement solaire incident, mais opaques au rayonnement terrestre sortant, il s'agit des gaz à effet de serre, qui en dehors de la vapeur d'eau sont principalement : le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et l'oxyde nitreux (N_2O). Depuis les débuts de l'ère industrielle, la concentration de CO_2 augmente de 30 % partant de 228 (ppm) en 1750 elle est montée à 370 (ppm) en 2003 (Guesnerie, 2002).

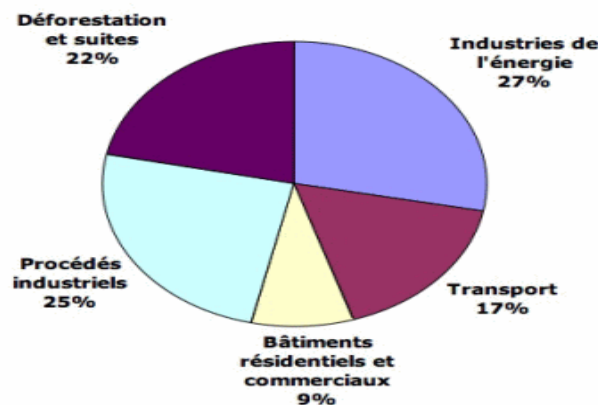


Figure I.1 : Emissions de CO_2 mondiales par source d'activité

<https://www.econologie.com/emissions-co2-mondiales-source-activite>.

Les émissions de CO_2 , l'année 2018, (figure I.2) montrent un dérapage inquiétant d'après le « Global Carbon Project » (www.globalcarbonproject.org), qui réalise régulièrement un atlas des émissions de GES, dont sont tirées ces informations. Les émissions de CO_2 des énergies fossiles, qui sont la première cause du réchauffement mondial ont connu une hausse inédite depuis 7 ans, de 2,7 %, après une hausse de 1,6% l'an dernier et trois années de stabilité. Il faut remonter à 2011 et la sortie de la crise financière de 2008 pour trouver pire taux. La hausse de cette année 2018 est alimentée par un boum d'émissions en Chine (4,7%), premier émetteur mondial, Le deuxième pays émetteur : les États-Unis voit son bilan augmenter de 2,5 % en 2018, alors que les autres pays : l'Inde est à 6,5% (centrales à charbon), tandis que l'Europe (3ème pollueur, 10 % du total) recule de 0,7%, avec des disparités nationales (Juvanon, 2019).

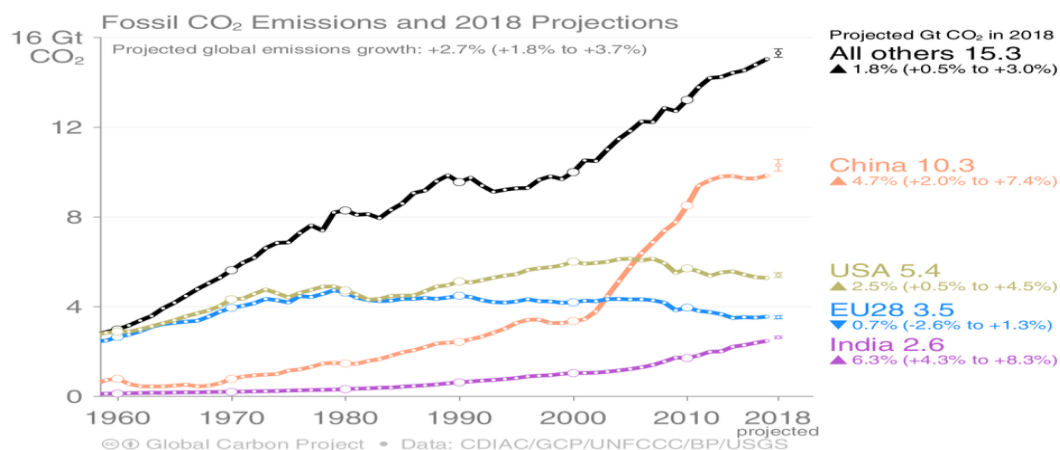


Figure I.2 : Émissions de CO₂ issues de combustibles fossiles en 2018(GCP, 2019)

I.3.Variabilité climatique

I.3.1.Variabilité climatique a l'échelle globale

Depuis 1850, les relevés instrumentaux de la température à la surface du globe constatent une tendance claire au réchauffement, Les mesures terrestres de température réalisées au cours du 20^{ème} siècle montrent une élévation de la température sur la majorité de la surface terrestre. Entre 1905 et 2006, le réchauffement moyen est estimé à 0.74°C L'élévation de cette température est constatée en mesurant en divers points du globe l'écart entre la température actuelle et une température prise comme référence (le plus souvent la température moyenne sur une période donnée au point considéré), puis en calculant la moyenne pondérée de ces écarts. On observe alors que la moyenne de ces écarts a tendance à augmenter au cours des dernières décennies (Elmeddahi , 2016).

Ce réchauffement planétaire semble de plus corrélé avec une forte augmentation dans l'atmosphère de la concentration de plusieurs gaz à effet de serre, dont le dioxyde de carbone, le méthane et le protoxyde d'azote (Elmeddahi, 2016).

Selon le (GISS) de la NASA, 2015 a été l'année la plus chaude depuis le début des statistiques (1880) jusqu'en 2016, d'après les analyses convergentes des scientifiques de la NASA et (NOAA), avec une certitude statistique à 94 % ; elle a dépassé de 0,13 °C le précédent record établi en 2014 ; les 16 années les plus chaudes enregistrées sont postérieures à 2000, l'exception étant 1998. Depuis 1880, la température moyenne à la surface de la Terre s'est réchauffée de 1,0 °C.

L'OMM a estimé que 2017 détenait moins de records que 2016, mais serait probablement parmi les trois années les plus chaudes jamais enregistrées jusque-là (surtout dans le nord de la zone circumpolaire arctique et en Russie), et aussi selon le rapport publié le 15 janvier 2020 par la (NOAA), l'année 2019 a été la deuxième plus chaude depuis le début des analyses météorologiques en 1880. La température mondiale annuelle en 2019 a surpassé de 1,1 °C la moyenne enregistrée à l'époque préindustrielle, Les différents rapports du GIEC, et en particulier dans le 4^{ème} 2007 (Trenberth et al., 2007) donnent de nombreuses illustrations sur la tendance au réchauffement (figure I.3)

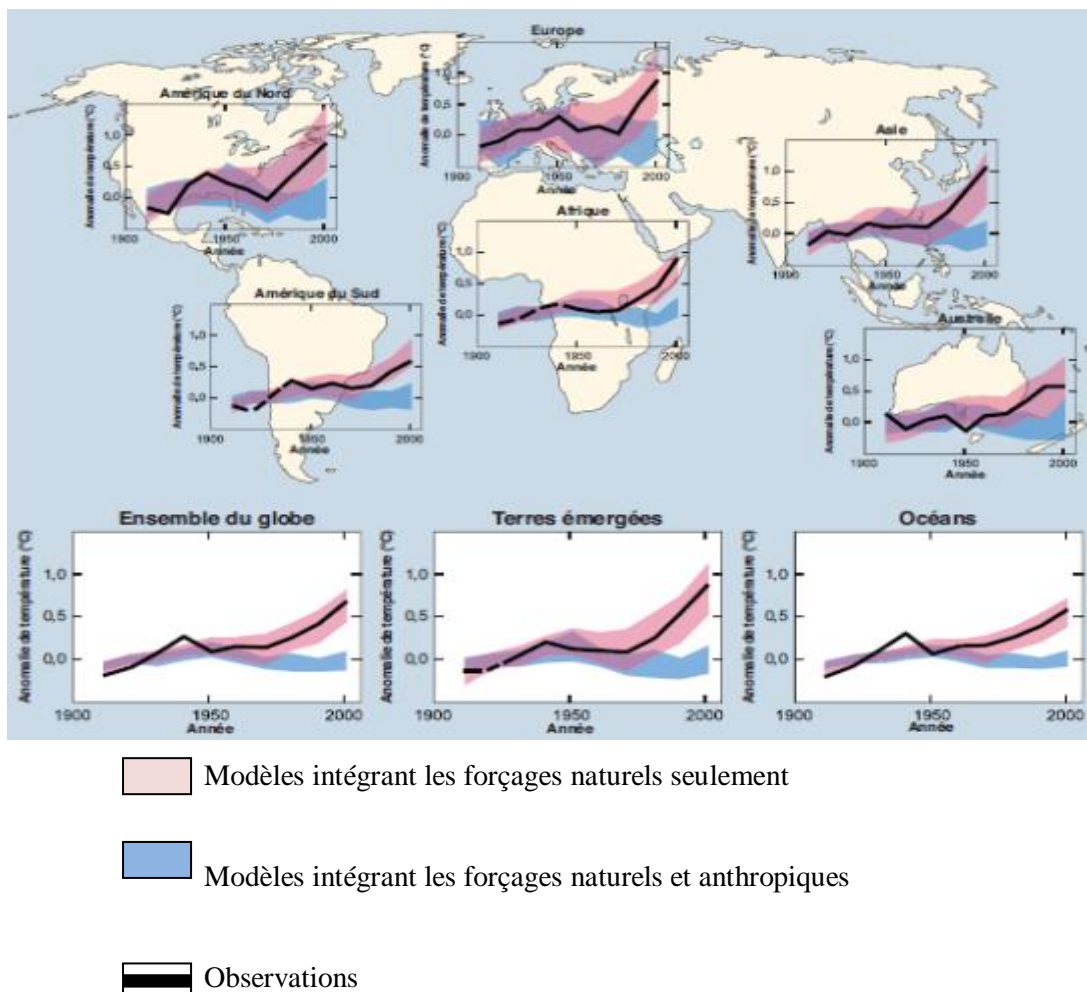


Figure I.3: Simulation des variations de température de la terre et comparaison des résultats aux changements (GIEC, 2007).

A cours de du 20^{ème} siècle la répartition des précipitations s'est modifiée, les précipitations auraient fortement augmenté dans l'est de l'Amérique du Nord et du Sud, dans le nord de

l'Europe et dans le nord et le centre de l'Asie, tandis qu'elles diminuaient au Sahel, en Méditerranée, en Afrique australe et dans une partie de l'Asie du Sud (GIEC, 2007).

Selon l'organisation météorologique mondiale, la plus faible pluviométrie au monde est rapportée à Arica (Chili) où il n'est pas tombé une goutte octobre 1913 à janvier 1918. Les endroits les plus secs par accumulation annuelle sont :

- Afrique : Wadi Halfa, Soudan, moins de 2,54 mm ;
- Antarctique : Station Amundsen-Scott, 2 mm (estimée avec l'équivalent en eau de la neige tombée) ;
- Asie : Aden, Yémen, 5,7 mm ;
- Australie : Troudaninna, Australie-Méridionale, 104,9 mm (4.13 pouces), années 1893-1936
- Amérique du Nord : Batagues, Mexique, 30,5 mm ;
- Amérique du Sud : Arica, Chili, 0,76 mm ;
- Europe : Astrakhan, Russie, 162,6 mm ;
- Océanie : Observatoires du Mauna Kea, Hawaï, 188 mm.

Les scientifiques impliqués dans les recherches du "Panel intergouvernemental sur le changement climatique" (*Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*) s'attendent à une remontée du niveau de la mer comprise entre 14 et 80 cm pour le siècle en cours.

<http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/niveau-de-la-mer-elevation>

Le réchauffement climatique multiplie les phénomènes météorologiques extrêmes : les catastrophes d'origine naturelle seraient décuplées à cause de l'augmentation de la température sur la terre et dans les mers. Cyclones, ouragans, sécheresse, canicule, pluies diluviennes, inondations, tempêtes ont vu leur nombre et leur intensité progresser de façon significative depuis les années 1980, et cette progression serait une conséquence directe du réchauffement planétaire. (<http://www.vedura.fr/environnement/climat/catastrophes-naturelles-rechauffement-climatique>)

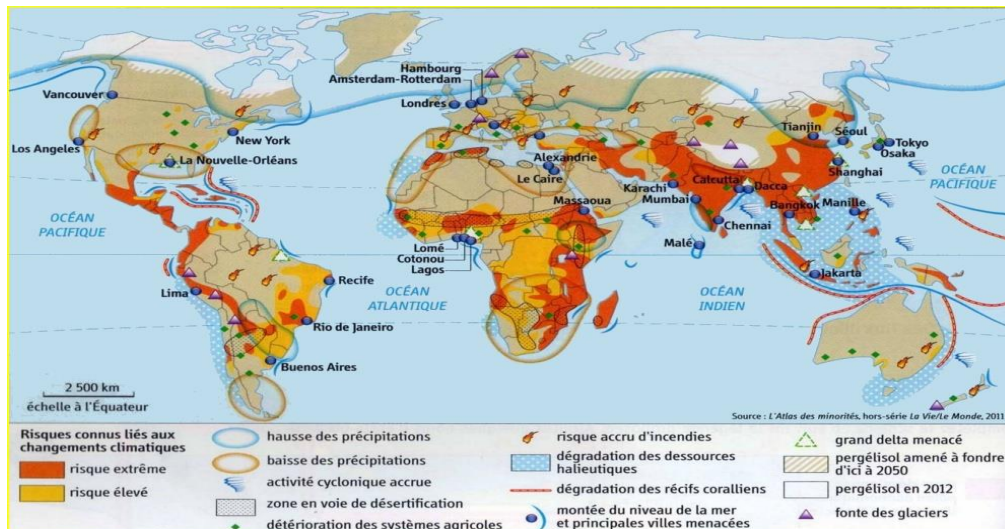


Figure I.4 : Les risques de catastrophes climatiques dans le monde.

<http://soutien67.fr/svt/terre/climat/climat.htm>

I.3.2. Variabilité climatique dans la région méditerranéenne

La Méditerranée sera particulièrement touchée par le changement climatique au cours 21^{ème} siècle (Giorgi et Lionello, 2008). Pendant les années 1980 et 1990, le réchauffement a été plus prononcé au niveau du bassin Méditerranéen, avec une hausse plus importante en hiver, surtout en ce qui concerne les températures minimales. Les précipitations ont diminué avec une baisse de 20% dans certaine région (Elmeddahi, 2016).

Au cours du 20^{ème} siècle et avec une accélération manifeste depuis 1970, le Sud-ouest de l'Europe a connu un réchauffement de près de 2 C°. Ce réchauffement est également perceptible sur le Nord de l'Afrique, même s'il est plus difficilement quantifiable en raison d'un manque de données. La seule exception est la Grèce qui, jusqu'au début des années 2000, a vu sa température diminuer. L'augmentation de température est plus marquée en hiver qu'en été et sur les minimales de température que sur les maximales. L'amplitude du cycle diurne diminue donc. Concernant les précipitations, les pluies ont augmenté au nord des Alpes et diminué au sud de l'Europe. En Méditerranée, certaines régions ont vu le niveau des précipitations ont diminué de 20 %. La tendance est plus contrastée sur l'Afrique du Nord (UNEP(DEPI)/MED, 2009).

Sur la base des analyses du climat récent durant les 50 dernières années, la région méditerranéenne apparaît comme un point chaud (hot spot) possible dans les décades à venir. Le changement climatique à travers cette région est caractérisé par une augmentation des

températures, un accroissement de la fréquence d'occurrence des stress thermique et hydrique (sécheresse), et par une tendance négative concernant les événements froids (IPCC, 2007).

Côté élévation du niveau de la mer, de nombreuses incertitudes planent encore. Les chercheurs constatent cependant que le niveau de la Méditerranée semble augmenter de plus en plus vite. Il s'est élevé de 0,7 mm par an entre 1945 et 2000, de 1,1 mm par an entre 1970 et 2006 et de 3 mm par an ces deux dernières décennies (<https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/changement-climatique-mediterranee-rechauffe-plus-vite-reste-planete-57341/>)

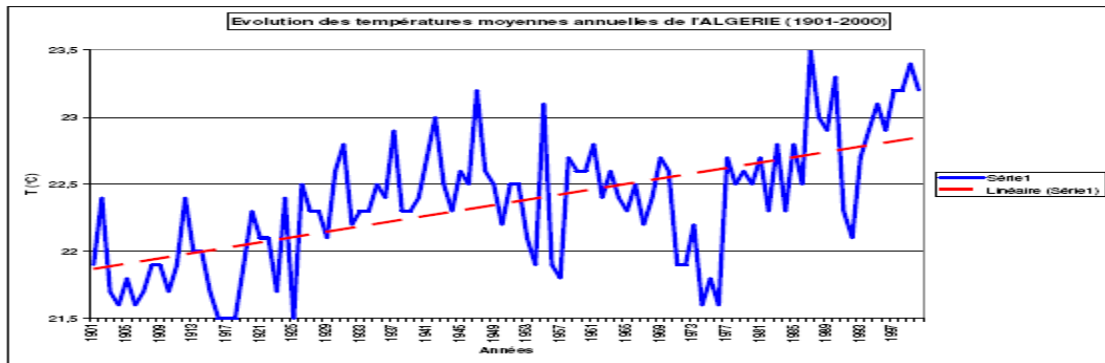
I.3.3. Variabilité climatique en Algérie

Le Maghreb a été identifié comme une zone particulièrement vulnérable face aux risques liés au changement climatique, l'Algérie, pays dont la plus grande partie est désertique, les changements climatiques constituent une préoccupation majeure. En effet, de par sa position géographique, l'Algérie est exposée aux effets négatifs des changements climatiques et des émissions des gaz à effet de serre, notamment les inondations, la sécheresse et les températures élevées (Farah, 2014).

L'évolution des températures en Algérie montre une hausse sur l'ensemble du territoire au cours des saisons d'hiver et d'automne et une hausse nette des températures minimales et maximales dans toutes les stations de l'Algérie du Nord et se prolonge jusqu'à nos jours. Durant ces 20 dernières années, les températures maximales ont augmenté plus que les minimales.

Dans la période 1990-2005 la pluviométrie recule de 12% en comparaison avec 1961-1990, causant une sécheresse à grande échelle au moment même où d'autres régions enregistrent des inondations dont celle de Bab El Oued en 2001 (Farah, 2014)

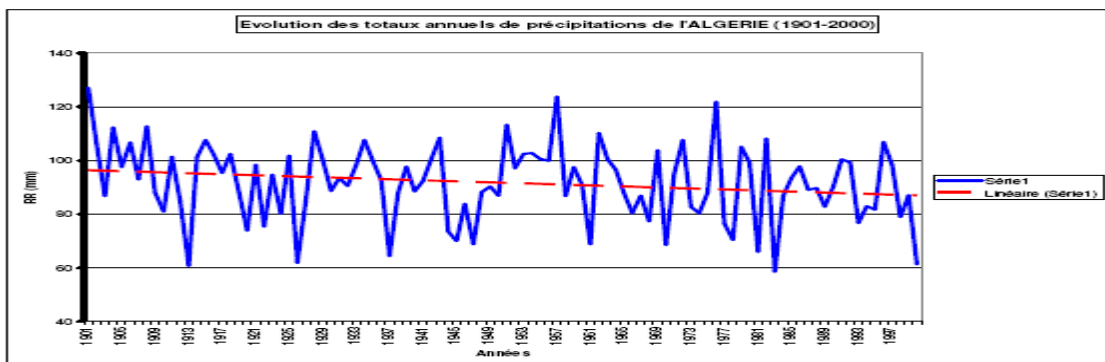
La tendance des températures est généralement positive dans toute l'Algérie. Les températures annuelles oscillent entre 21.5°C (1916) et 23.5°C (1985). Les années les plus froides sont respectivement 1904, 1907, 1916, 1917, 1925, 1974 et 1976, et les années les plus chaudes sont 1945, 1954, 1985, 1988 et 1997 (figure I.5) (Elmahi et al., 2011).



Figure

I.5 : Evolution des températures moyennes annuelles de l'Algérie (1901-2000)(Djellouli, 2008)

La tendance générale des précipitations en Algérie est en baisse. Les précipitations annuelles oscillent entre 59mm (1984) et 128mm (1901). Les années où on a enregistré des hauteurs de précipitations minimum sont: 1914, 1926, 1938 et 1984. Les années où on a enregistré des hauteurs de précipitations maximum: 1901, 1952, 1957 et 1976(figure I.6) (Elmahi et al., 2011) .



Figure

I.6 Evolution des totaux annuels de précipitations de l'Algérie (1901-2000) (Djellouli, 2008)

L'étude menée par Taibi et al. (2017) sur la variabilité temporelle des précipitations afin de montrer la persistance de la sécheresse au Nord de l'Algérie a mis en évidence:

- Une diminution des précipitations à l'Ouest au cours de la période 1936-2016 marquée par un déficit pluviométrique de 18 à 29% à partir des années 70 et 80. Tandisqu'à l'Est aucun changement significatif de la variabilité pluviométrique n'est observé.
- Un déficit pluviométrique plus important est observé au cours de la période 1961-2016. Ceci montre que les années 60 et début 70 ont été les plus excédentaires.

- Une stabilité du régime pluviométrique au cours de ces 30 dernières années (1986-2016), avec une augmentation significative des précipitations depuis 2002 pour la moitié des stations

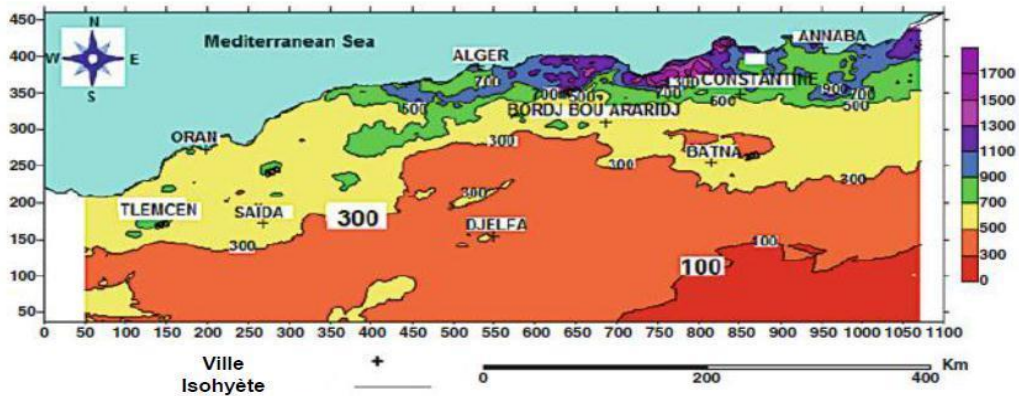


Figure I. 7 : Carte pluviométrique selon l'ANRH pour la période 1922-1989(ANRH BLIDA)

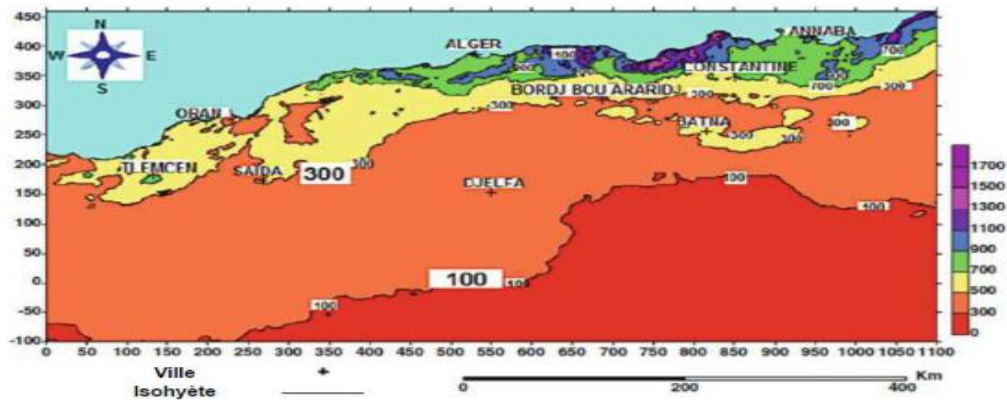


Figure I.8 : Carte pluviométrique selon l'ANRH pour la période 1965-2004(ANRH BLIDA)

Les deux figures 7 et 8 ci-dessus montrent que les isohyètes 100 et 300mm évoluent de manière significative vers le Nord. Cette évolution est un indicateur de changement climatique en Algérie. En effet, l'examen des isohyètes 100 et 300 mm montre que le déplacement vers le Nord peut atteindre des distances de plus de 100 km (Elmeddahi, 2016). La tendance générale dans le Nord du pays est la diminution de la pluviométrie qui est devenue plus marquée depuis le milieu des années 1970 (Béthoux et Gentili 1996, 1999). Ce phénomène est encore plus marqué dans la partie occidentale du pays que dans les autres régions (Meddi et Meddi, 2007).

I .4.Les projections climatiques

I.4.1.Scénarios d'émission

I.4.1.1.Construction des scénarios climatiques futurs

Pour caractériser le changement climatique, évaluer les impacts anthropiques et quantifier leurs effets sur le climat présent et celui du futur, le recours à des simulations par des modèles climatiques globaux (GCM) et régionales (MCR) sont aujourd'hui très fréquent. Le Programme Mondial de Recherche sur le Climat (PMRC) a notamment mis en place le projet CMIP visant à caractériser le changement climatique par comparaison de résultats de modèles climatiques. Ce projet est en lien étroit avec le GIEC, et participe largement à l'élaboration des rapports d'évaluation du changement climatique réalisés par ce groupement d'experts. La construction des scénarios climatiques réalisée dans l'étude décrite par le présent rapport a mobilisé une approche similaire, par analyse des résultats de plusieurs modèles climatiques après simulations de climats futurs (Léo,2015).

I.4.1.2.Representative Concentration Pathways" (RCP)

Dans les études menées par le GIEC sur le changement climatique, 4 scénarios distincts sont testés, correspondant à des typologies d'émissions et concentrations de gaz à effet de serre et aérosols, de gaz chimiquement actifs, d'utilisation des terres et de la couverture terrestre jusqu'à 2100 (Vanvuuren ,2011; GIEC, 2013). Ces 4 scénarios d'émission correspondent à des forçages radiatifs variés :

- RCP 2.6 : le forçage est faible et atteint un pic de 3 W.m⁻² avant 2100, puis décroît jusqu'à la valeur de 2,6 W.m⁻² en 2100. La concentration en CO₂ équivalent atteint alors 475 ppm.
- RCP 4.5 : le forçage se stabilise à 4,5 W.m⁻² après 2100, avec une concentration de 630 ppm (eq- CO₂).
- RCP 6.0 : le forçage se stabilise à 6 W.m⁻² après 2100, avec une concentration de 800 ppm (eq- CO₂).
- RCP 8.5 : le forçage radiatif dépasse 8,5 W.m⁻² en 2100 et l'augmentation se poursuit encore après cette période. La concentration en CO₂ équivalent atteint 1313 ppm en 2100.

I.4.2. Evolution du climat futur à l'échelle globale

Il est extrêmement difficile de prévoir le climat futur car on ne peut pas anticiper l'évolution des forçages radiatifs liés aux éruptions volcaniques ou aux variations du rayonnement solaire. Le forçage dû à l'augmentation des concentrations de GES devrait rester

prépondérant. Les émissions anthropiques de gaz à effet de serre sont très dépendantes des évolutions des sources d'énergie, des pratiques agricoles, de l'économie, de la démographie... et sont donc incertaines (Salas et Dufresne ,2011).

Le 5ème rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2013), les projections de changement climatique attendu au niveau global à l'horizon 2100 seraient :

- Une augmentation de la température moyenne annuelle à la surface de la Terre, variant dans un intervalle de (1 à 4,2 °C) figure I.9 ;
- Une élévation du niveau moyen des océans et des mers suite au réchauffement des eaux et à la fonte des glaciers et des calottes glaciaires, variant entre 20 et 70 cm ;
- Une augmentation globale des précipitations accompagnée d'une disparité régionale importante

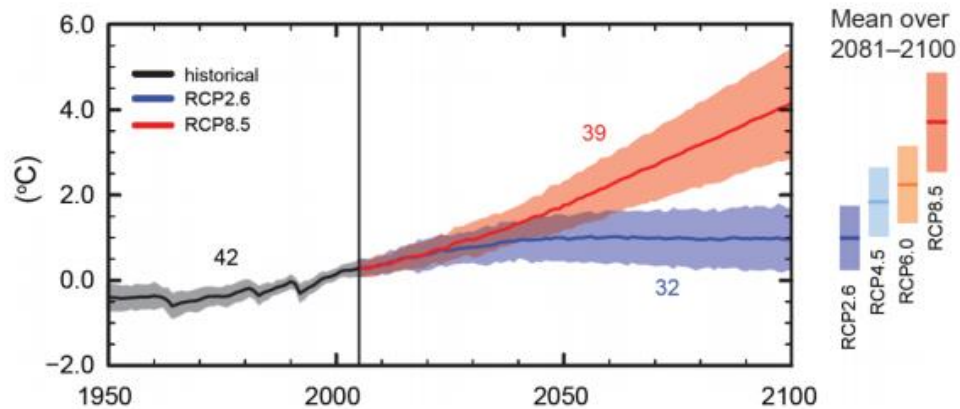


Figure I.9 : Evolution attendue de la température selon les scénarios RCP du GIEC (GIEC, 2013 : 5ème rapport d'évaluation)

La figure I.10 montre que, pour le scénario A1B, l'augmentation de la température est plus élevée sur les continents que sur les océans. C'est une conséquence de l'assèchement des sols, qui réduit leur capacité à se refroidir par évaporation de l'eau qu'ils contiennent. On voit également que le réchauffement est particulièrement marqué en Arctique, en raison d'une disparition complète de la glace de mer en été à la fin du XXI^e siècle (Salas et Dufresne ,2011).

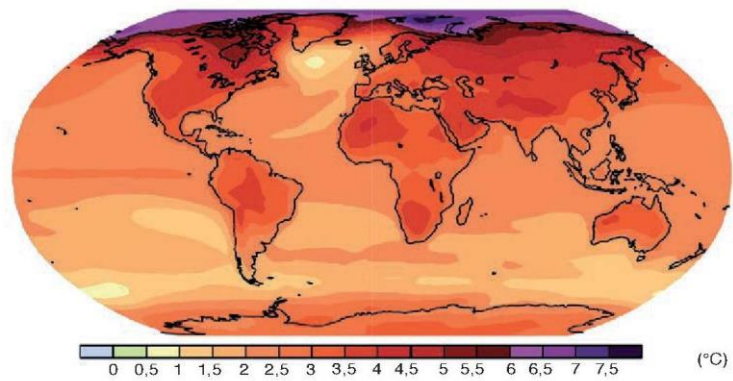


Figure I.10 : Moyenne multi-modèle de la différence de la température (°C) de l’air près de la surface, entre la fin du XXI^e siècle (moyenne des années 2080 à 2099) et la fin du XX^e siècle (moyenne des années 1980 à 1999), pour le scénario d’émission A1B (GIEC, 2007)

Quant aux précipitations (figure I.11), une augmentation du total des précipitations avec la température. Par exemple, pour le scénario A1B, les modèles simulent un accroissement des précipitations globales de $4,5 \pm 1,5$ % en 2100 par rapport aux conditions actuelles (Salas y Melia et Dufresne ,2011). Les précipitations augmenteront très probablement aux latitudes élevées, alors qu’elles diminueront probablement dans la plupart des régions continentales et subtropicales. Les événements climatiques extrêmes deviendront plus fréquents (GIEC, 2013).

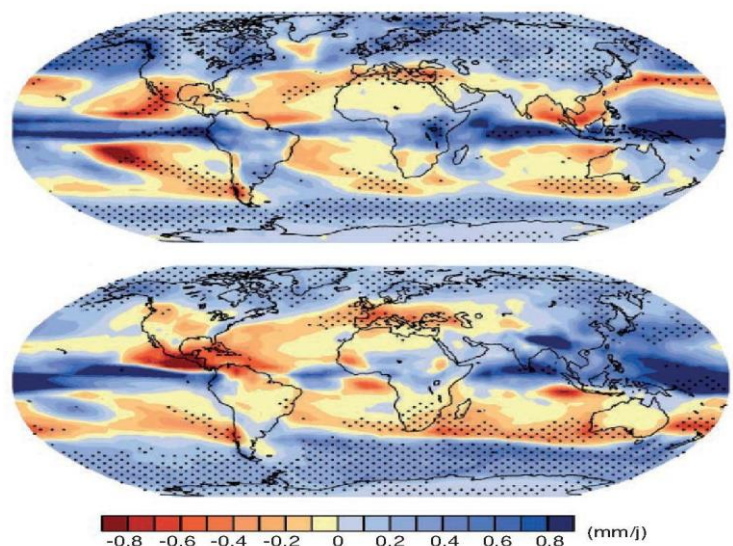


Figure I.11 : Moyenne multi-modèle de la différence de précipitations (mm/j) entre la fin du XXI^e siècle (moyenne des années 2080 à 2099) et la fin du XX^e siècle (moyenne des années 1980 à 1999), pour le scénario d’émission A1B. (GIEC, 2007)

Selon les projections à l'horizon 2050, le stress hydrique diminuerait sur 20% -29% de la surface totale et augmenterait sur 62%-76% de la surface totale. La diminution serait essentiellement due à la hausse des précipitations tandis que l'augmentation proviendrait de la hausse des quantités d'eau extraites (Bates et al., 2008).

I.4.3. Evolution du climat futur dans le bassin méditerranéen

Selon le 4^{ème} rapport de GIEC. La méditerranée serait l'une des régions du monde qui accuserait l'augmentation de la température la plus importante. Cette augmentation serait accompagnée d'une variabilité plus marquée à savoir une fréquence plus accrue de vagues de chaleur. A l'échéance 2100, la valeur la plus probable de l'augmentation de la température moyenne annuelle serait de l'ordre de 3,5°C. Cette augmentation serait très contrastée entre les saisons, de 2,6 °C durant l'hiver, elle atteindrait les 4,1 °C durant l'été

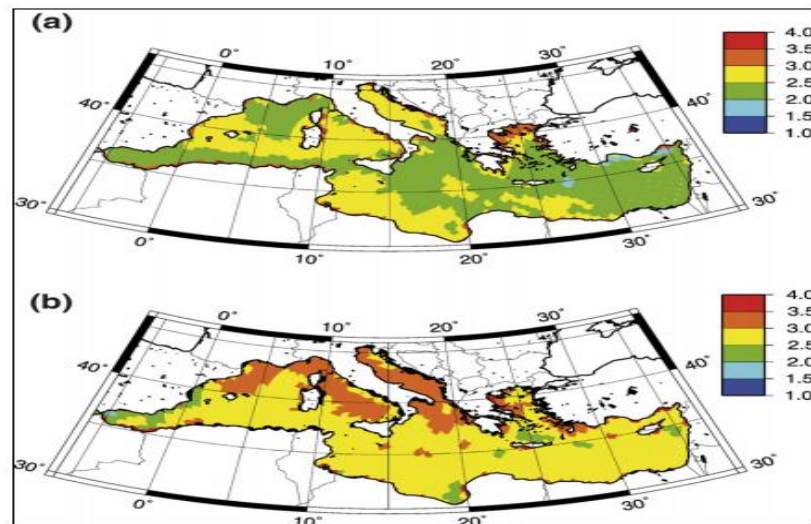


Figure I.12 : Changement prévisible des températures de surface de la mer en hiver (a) et en été (b) en 2070-2099 par rapport à 1961-1990 (Somot et al., 2007).

Selon le même rapport de GIEC, au niveau des précipitations une baisse modérée des volumes moyens annuels pouvant toutefois atteindre, voire dépasser les 30% pour certaines régions. La valeur la plus probable de la diminution des précipitations serait de 12%. Cette diminution serait dans ce cas également, très contrastée entre les saisons, de 6% durant l'hiver, elle chuterait à 24 % durant l'été.

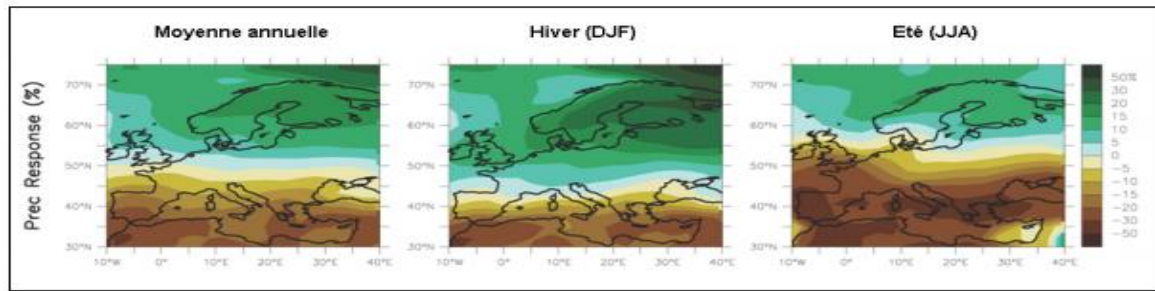


Figure I.13 : Évolution des précipitations en Méditerranée et en Europe en 2080-2099 comparées à la période 1980-1999, suivant un scénario d'émissions A1B (IPCC, 2007).

La Terre a connu de multiples épisodes de variations du niveau de la mer au cours de son histoire. Les modèles globaux utilisés dans le cadre du GIEC s'accordent ainsi sur une fourchette d'élévation à l'échelle du globe comprise, pour l'ensemble des scénarios SRES, entre 18 cm et 59 cm à l'horizon 2100, alors qu'elle n'a été pour la Méditerranée que de 11 à 13 cm sur l'ensemble du 20^{ème} siècle. Mais les marges d'incertitude restent extrêmement fortes, notamment en ce qui concerne les rythmes de la fonte des glaces (Alexandre et al.,2015).

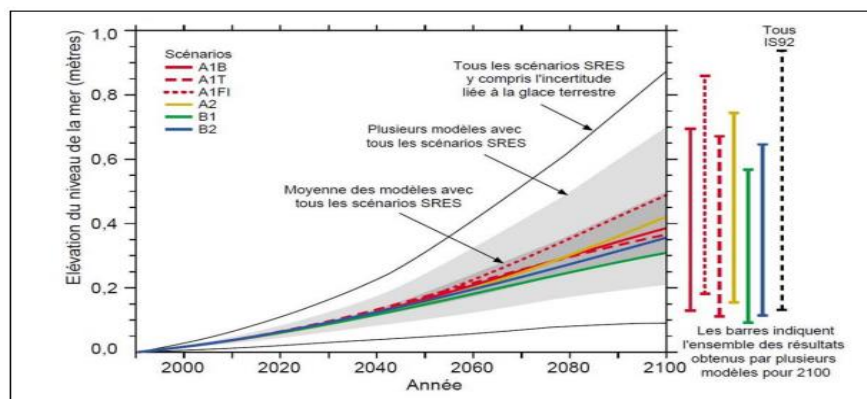


Figure I.14 Incertitudes sur l'élévation attendue du niveau de la mer au cours du 21^{ème} siècle (IPCC, 2001)

I.4.4. Evolution du climat futur en Algérie

Pour la période 1990 – 2020, la hausse de la température moyenne sera comprise entre 0,8°C et 1,1°C et la baisse des précipitations moyennes seront de l'ordre de 10 %. L'élévation du niveau de la mer sera comprise entre 5 cm et 10 cm (farah,2014).

Selon le CIAT (2010), l'Afrique du Nord subira les impacts les plus négatifs liés au changement climatique, ainsi selon la même source 80 % des cultures montreront des pertes de productivités en 2050.

A l'horizon 2020, les projections climatiques saisonnières indiqueraient les variations résumées dans le Tableau I.3 .Un réchauffement de l'ordre de 0.8 à 1.1°C est estimé pour l'année 2020 en automne accompagné d'une fluctuation de la pluviométrie avec une tendance à la baisse, de l'ordre de 6 à 8 % ., une diminution pluviométrie a été envisagée qui varie entre 10 a 15% d'ici 2050. En hiver, l'augmentation de la température est de l'ordre de 0.6 à 0.8 °C d'ici 2020 et 0.9 à 1.6 ° C pour 2050, par contre les précipitations diminuent de 10 % à 20 % de 2020 à 2050 (Elmeddahi , 2016).

Tableau I.1: Projections climatiques saisonnières des températures et des pluies sur l'Algérie l'horizon 2020 et 2050 pour le modèle UKHI et 2020 pour le modèle ECHAM3TR du GIEC

<i>Modèle</i>		<i>paramètre</i>	<i>automne</i>	<i>hiver</i>	<i>printemps</i>	<i>été</i>
Modèle UKHI	2020	<i>T(C°)</i>	<i>0.8-1.1</i>	<i>0.65-0.8</i>	<i>0.85-0.95</i>	<i>0.85-1.05</i>
		<i>P(%)</i>	<i>-6 a -8</i>	<i>-10</i>	<i>-5 a -9</i>	<i>-8 a -13</i>
	2050	<i>T(C°)</i>	<i>1.2 -2.2</i>	<i>0.95- 1.6</i>	<i>1.25-1.9</i>	<i>1.25 -2.1</i>
		<i>P(%)</i>	<i>-10 a-15</i>	<i>-16</i>	<i>-10 a-20</i>	<i>-15 a1.22</i>
Modèle ECHAM3TR		<i>T(C°)</i>	<i>0.3 -1.3</i>	<i>0.9 -1</i>	<i>0.95 -1.1</i>	<i>0.95-1.45</i>
		<i>P(%)</i>	<i>Pas de changement</i>	<i>-5</i>	<i>-7 a -10</i>	<i>-5</i>

Source : (Elmeddahi, 2016)

Les travaux de (Giorgi et Lionello ,2008) constituent une synthèse des résultats majeurs des simulations climatiques intéressant la région méditerranéenne. Plusieurs conclusions peuvent être déduites pour l'Algérie (Tableau I.4).

A l'horizon : 2011-2040 et 2041-2070, des réductions de précipitations s'échelonnent entre 0% à 30% et de 1% a 40 % pour les scénarios B1 et A1B respectivement. Ces projections prévoient, pour l'Algérie, une baisse de l'ordre de 25% a 40% d'ici la période 2071-2100 pour le scénario A2. Cette baisse est bien marquée à la région Ouest de l'Algérie.

Tableau I.2 : Projections climatiques pour la pluviométrie en Algérie à l’horizon 2071-2100 sous trois scénarios du GIEC

<i>Saison</i>	<i>Scénario AIB</i>	<i>Scenario BI</i>	<i>Scenario A2</i>
Hiver (DJF)	-20 à -30% Ouest et Centre de l’Algérie -10 à -20% Est de l’Algérie	-10 à -20%	-20 à -30%
Printemps (MAM)	-30 à -40% Ouest de l’Algérie -20 à -30% Centre de l’Algérie	-20 à -30% Ouest de l’Algérie -10 à -20% Est et Centre de l’Algérie	-30 à -40% (supérieure à -40% sur l’Ouest algérien)
Été (JJA)	-30 à -40% Ouest et Est de l’Algérie -20 à -30% Centre de l’Algérie	-10 à -20% Ouest et Est de l’Algérie 0 à -10% Centre de l’Algérie	-30 à -40%
Automne (SON)	-10 à -20% Algérie du Nord	-10 à -20% Algérie du Nord	-20 à -30%

Source : Adapté de Giorgi et Lionello (2008)

I.5.La gestion de l’eau en Algérie

Les activités qui nécessitent l’utilisation d’eau sont indispensables à l’existence humaine et son développement (Yebdri, 2006). Pour pouvoir soutenir toutes les utilisations, une politique de gestion des ressources en eau est à développer afin d’attribuer la priorité à l’utilisation de l’eau suivant des critères bien établis.

Les objectifs, les moyens et les horizons d’une politique de l’eau et de l’environnement forment les critères essentiels pour l’élaboration d’une base décisionnelle laquelle est étroitement liée à un certain nombre d’élément dont les activités de production et de consommation générale. De ce fait on peut caractériser le besoin en eau des milieux physiques et humains et tenir compte de la disponibilité des ressources en eau en matière quantitative et qualitative. A partir de ces éléments il est possible de dégager des conditions susceptibles d’assurer la cohérence des futurs choix possibles en matière d’eau (Yebdri, 2006):

- La gestion de l'eau doit intégrer les grandes tendances de l'évaluation du système socioéconomique ;
 - Les objectifs de réduction globale de la pollution on doit substituer dans le futur des objectifs qualitatifs tenant compte :
 1. Des effets à court et à long terme liés à chaque polluant ;
 2. Du coût de leur élimination ;
 3. De leur localisation et leur dispersion potentielle.
 - Les modes d'intervention du public sont des éléments importants quant à l'opportunité des décisions futures. Ils concernent :
 1. L'impact des recherches scientifiques sur la sensibilisation du public ;
 2. L'organisation du mouvement de participation ;
 3. L'importance des conflits de valeur entre centres d'intérêt diversement préoccupées par l'eau et l'environnement ;
 4. L'évolution des attitudes face aux risques.
 - L'orientation et l'efficacité des actions publiques jouent un rôle central dans la problématique de l'eau. L'état et les organismes publics sont appelés à intervenir pour :
 1. Organiser la recherche et définir la nature des besoins ainsi que les stratégies à les satisfaire ;
 2. Assurer l'exécution de la politique de l'eau au niveau de la production, de la distribution et de l'épuration.
 - Les conditions de réactions du système socio-économique sont des facteurs importants sur l'effet des décisions futures. L'existence d'informations, claires dans le domaine de l'eau est un facteur décisif dans la rapidité et la pertinence des décisions, notamment pour faciliter les négociations entre parties prenantes et permettre un arbitrage entre systèmes de valeurs opposées ;
 - Le temps joue un rôle majeur dans la gestion de l'eau : l'effet d'une décision en matière d'eau ne peut le plus souvent se faire sentir qu'à long terme chaque fois qu'elle suppose des transformations lentes de technologie ou de comportement (Mami ,2020)

I.6. Modélisation climatique

Pour représenter l'ensemble des processus du système climatique, les scientifiques ont développé des modèles climatiques qui sont des outils numériques basés sur des équations mathématiques qui prennent en compte les principes fondamentaux de la conservation de la masse, de l'énergie, de l'eau et de la quantité de mouvement. Ces équations, donc les modèles climatiques, décrivent le comportement et les interactions entre les différentes composantes

du système climatique (l'atmosphère, les océans, les fleuves, le sol, etc.) sous des forçages externes tels que la radiation solaire, les aérosols, ainsi que les émissions naturelles et anthropiques de gaz à effet de serre (GES). Pour la modélisation, l'atmosphère et l'océan sont divisées en boîtes distinguées ou cellules de grille ou encore mailles. La taille des mailles détermine la résolution du modèle. Dans chaque maille on simule des variables (mouvement de l'air, les radiations, les températures, les précipitations, etc.) pour les climats passés, présents et à venir. Ainsi, les modèles climatiques constituent actuellement des outils indispensables pour l'analyse de la vulnérabilité des populations. Avec de telles informations, il devient possible de prévoir les impacts négatifs potentiels des changements climatiques tout en favorisant un développement résilient au climat (Chourghal, 2016).

I.6.1 Différents types de modèles

Il existe deux grands types de modèles climatiques. Les modèles de circulation générale (GCM ou modèles globaux) et les modèles climatiques régionaux (RCM). Les premiers offrent la possibilité de simuler le climat de la planète entière alors que les deuxièmes ne simulent qu'une partie du globe. Les GCM sont grandement utilisés dans l'étude du changement climatique et permettent ainsi de faire des projections climatiques sur plusieurs centaines d'années avec différents scénarios d' mission (IPCC, 2014). Bien qu'utiles dans ce type d'applications, ils n'offrent pas la possibilité d'étudier correctement les climats régionaux. En effet, leur résolution temporelle et spatiale (de l'ordre de la centaine de kilomètres) grossières ne permettent pas de prendre en compte les phénomènes de petites échelles comme les nuages convectifs, les brises de mer ou encore les effets locaux de la topographie. Par exemple, en Afrique, les GCM peuvent représenter correctement la tendance des précipitations lors de la deuxième moitié du 20^{ème} siècle mais affichent tout de même des difficultés à simuler des phénomènes complexes comme la MOA (mousson Ouest-africaine). Les RCM, avec leur résolution bien plus fine (10 Km), sont quant à eux capables de résoudre les phénomènes négligés ou fortement paramétrés par les GCM.

Un RCM doit être forcé chaque pas de temps, c'est-à-dire qu'il faut fournir humidité, température et vents (direction et vitesse) aux frontières de son domaine d'intégration. Pour obtenir ces données de forçage, il est nécessaire d'utiliser les sorties d'un modèle de plus grande échelle et donc le plus couramment d'un GCM. Ainsi on part de la résolution grossier des GCM pour produire des résultats à la résolution plus fine des RCM (Figure I.15). Au final, les RCM permettront de prendre en compte les phénomènes de méso-échelles et de corriger certains biais des GCM (Prignon, 2016).

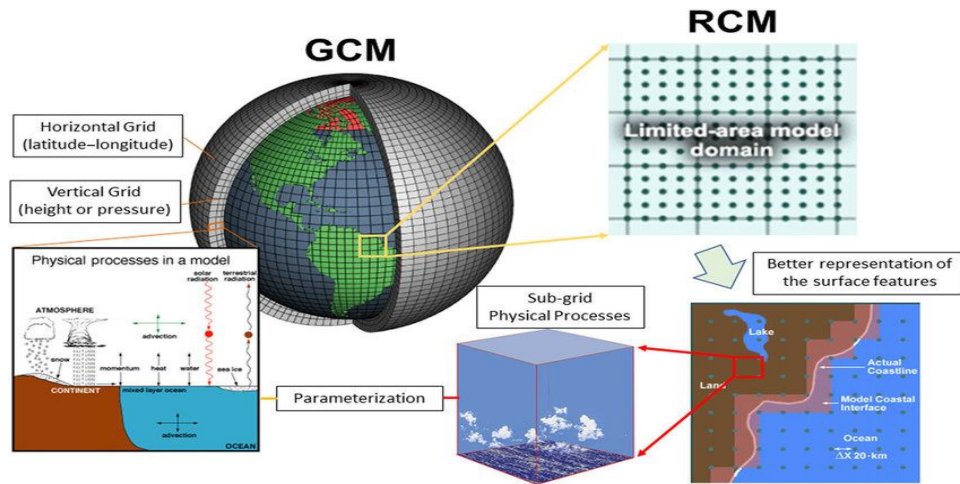


Figure I.15 : Guidage du modèle climatique régional par le modèle climatique global
https://www.researchgate.net/figure/Illustration-of-a-GCM-RCM-physical-processes-in-a-model-and-refinement-of-coastline_fig1_326711713.

Les MRC sont largement applicable pour obtenir des informations climatiques à haute sur une zone géographique limitée en utilisant des conditions aux limites issues des MCG (Danis et al., 2002, Min et al., 2013). Leur résolution spatiale plus fine permet une résolution qui tient compte des modèles globaux et des connaissances locales précieuses consistent à utiliser des modèles régionaux (MCR). Il s'agit de modèles atmosphériques exécutés simuler plus fine permet de simuler plus précisément les conditions climatiques locales en intégrant les impacts de L'orographie (montagne, littoraux, plans d'eau, végétation) et l'utilisation des terres, et les processus dynamiques et de couche limite à petit échelle (Zeghoud, 2018).

I.6.2. Les différents scénarios utilisés par les modèles climatiques

Généralement, les scénarios sont obtenus à partir de projections qui sont souvent fondés sur des informations complémentaires provenant d'autres sources ; quatre genres de scénarios sont communément utilisés dans l'étude du changement climatique : le scénario climatique, le scénario d'émissions, le scénario de forçage radiatif et le scénario du RSSE.

Ces scénarios socio-économiques consistent à faire diverses hypothèses sur le développement économique futur et ses conséquences sur l'environnement. Ils sont fournis par des modèles d'évaluation intégrée qui prennent en compte l'évolution de la population, l'économie, le développement industriel et agricole, ainsi que la chimie atmosphérique et le changement climatique. Ces modèles d'évaluation intégrée fournissent des scénarios d'évolution des gaz à effet de serre et des aérosols, qui sont introduits comme forçage dans les simulations climatiques (Charron, 2014).

I.6.3. Les scénarios « SRES » (Spécial Report on Emissions Scenarios) :

Lors du 4^e rapport d'évaluation publié en 2007, la stratégie suivie était séquentielle. Le point de départ était une synthèse des travaux de modélisation économique qui conduisit à définir un ensemble de scénarios d'évolution possible de nos sociétés et modes de vie, prenant en compte des choix en matière d'énergie et de rapports à la mondialisation. Ces scénarios, appelés SRES (du nom du rapport spécial publié en 2000 pour les présenter, Spécial Report on Emissions Scenarios) proposaient plusieurs évolutions (A1, A2, B1, B2, A1B, etc.) se traduisant ensuite en termes de mission de gaz à effet de serre. Ces évolutions de missions de GES étaient alors utilisées par les climatologues comme données d'entrée des modèles de projections climatiques. Enfin, les projections climatiques alimentent les modèles d'impact.

La famille de scénario A1 qui dispose de trois variantes énergétiques, vont du scénario le plus optimiste A1T (faible émission) avec une faible utilisation des énergies fossiles au scénario le plus pessimiste A1FI (forte émission) avec une forte croissance

démographique et une utilisation à outrance des énergies fossiles. Le scénario moyen ou scénario intermédiaire est le scénario A1B qui repose sur une utilisation équilibrée des sources d'énergie, fossiles et non fossiles. La famille A2 décrit un monde hétérogène, avec une orientation régionale du développement économique. Tandis que le scénario B1 a la même évolution démographique que la famille A1. La famille B2 est caractérisée par une évolution de la population plus lente que la famille A2.

I.6.4. Modèles climatiques régionaux (CORDEX)

Des programmes internationaux impliquant plusieurs centres de recherche ont été entrepris pour produire des scénarios de CC dans le cadre d'expériences coordonnées utilisant plusieurs MCR : PRUDENCE (prediction of regional scenarios and uncertainties for defining european climate change risks and effects) avait pour objectif de regrouper les divers modèles climatiques régionaux européens pour faire une expérience coordonnées, une synthèse et une base de données sur le changement climatique des années 2071-2100 puis il y a eu le projet ENSEMBLE-AMMA Démarré en 2002, AMMA est un programme de recherche international et interdisciplinaire qui étudie la variabilité de la Mousson d'Afrique de l'Ouest et ses impacts sur les populations etc. Cependant, ces expériences ont été réalisées sur des régions limitées. Le programme CORDEX (Coordinated Regional climateDownscaling EXperiment) vise essentiellement deux objectifs: fournir un cadre d'évaluation et de vérification de l'efficacité des modèles et concevoir une série d'expériences destinées à obtenir des projections climatiques pouvant servir aux études d'impacts et d'adaptation (Giorgi, 2009).

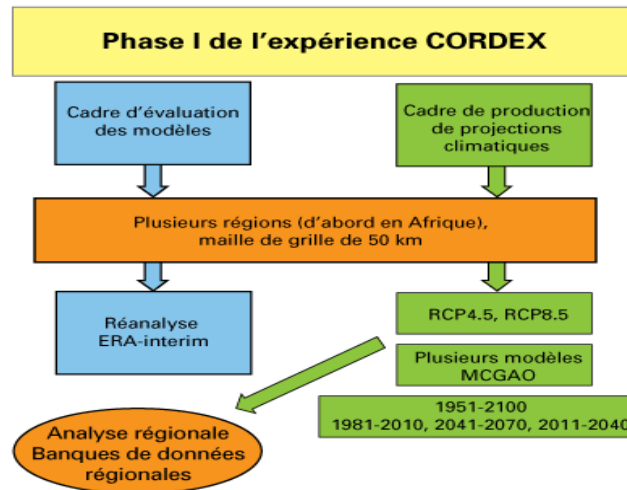


Figure I.16 : Schéma de la première phase de l'expérience CORDEX(Giorgi, 2009).

Un grand nombre d'études antérieures ont fourni des évaluations détaillées des Performances des MRC, Mectar et al. (2013) sur la période 1998-2008 analyse montre enfin que la majorité des MCR simulent de façon réaliste les champs de pluies observés à l'échelle intra saisonnière suggérant qu'ils sont adéquats pour l'étude du climat futur en Afrique de l'Ouest. Une autre étude récente est celle d'Endris et al. (2014), qui a évalué la performance des MCR de CORDEX dans la simulation des précipitations, couvrent en totalité les continents africain, australien, sud-américain, nord-américain et européen, où les résultats du modèle ont été comparés avec des jeux de données d'observation quadrillés à 0,5° par résolution spatiale de 0,5 ° obtenus par Global Climatic research unit dataset l'unité de recherche (CRU) et le projet Global Climatology Precipitation (GPCP) (Zeghoud, 2018). Au nord d'Algérie sur la période (1979-2009), L'analyse de la performance de MPI-M-MPI-ESM-LR_SMHI-RCA4 et CNRM-CERFACS-CNRM-CM5_SMHI-RCA4 nous a permis de conclure que l'application de ces modèles est possible et qu'ils donnent une bonne simulation au nord de l'Algérie avec une légère modification pour les mois d'octobre, novembre et décembre pour les deux modèles (Zeghoud,2018).

I.6.5. Sources d'incertitudes dans les projections climatiques

L'incertitude des projections climatiques provient de trois grandes sources :

La variabilité naturelle du climat, les imprécisions des modèles climatiques et les émissions. L'évolution du climat est influencée par des fluctuations naturelles importantes et imprévisibles, qui se produisent même en l'absence de changement dans la concentration des gaz à effet de serre. De plus, les modèles génèrent leur propre climat, qui diffère de la réalité

(plus ou moins, selon le modèle, voir encadré sur le biais) et les modèles climatiques diffèrent tous dans leur réponse aux émissions de gaz à effet de serre. Enfin, l'évolution des émissions de GES est également incertaine et il est impossible à l'heure actuelle de déterminer lequel, le cas échéant, des quatre RCP sera réalisé (Charron, 2016).

I.7. corrections de biais appliquées aux sorties d'un modèle climatique

Une correction de biais est généralement effectuée sur les sorties des modèles climatiques pour la majorité des études d'impacts du changement climatique. Cette correction est généralement univariée et corrige chaque variable d'intérêt indépendamment des autres. Pour évaluer l'impact potentiel de cette approche, une méthode de correction de biais qui corrige les corrélations inter-variable est comparée à sa contrepartie univariée (méthode par quantiles). Cette comparaison est effectuée sur les variables corrigées (précipitation et température) sur des périodes de calibration et validation, ainsi que sur les sorties d'un modèle d'impact (débits provenant d'un modèle hydrologique) utilisant les séries corrigées (Chen et al., 2017). De nombreuses méthodologies de correction des biais statistiques ont été développées pour éliminer les erreurs systématiques du modèle (Boé et al., 2007)

Si l'on compare sur une période donnée et un espace donné, pour un paramètre donné, la moyenne des simulations climatiques à celle observée, on constate généralement un assez bon accord. Cependant l'accord n'est pas parfait. Non seulement il existe des erreurs systématiques sur les moyennes, mais encore certaines valeurs extrêmes sont assez mal reproduites, à cause des différents types d'incertitude déjà discutés (Terray et al., 2012).

Les sorties correspondant à la période de référence (R) et aux scénarios futurs (S) des RCM doivent subir un post traitement par rapport aux observations réelles (O) pour donner naissance à de nouvelles données corrigées (R* et S*) pouvant être utilisées dans les études d'impact du changement climatique (Dequé, 2007).

Les sorties des modèles climatiques ou des simulations ne peuvent pas être comparées directement avec les observations (figure I.18) étant donné que les résultats des modèles climatiques sont toujours légèrement différents ou biaisés par rapport aux véritables observations. En outre, pour les précipitations, les projections des modèles simulent la quantité totale de précipitations dans l'atmosphère, qui tomberait sur une cellule entière de la grille, tandis que l'observation mesure seulement la quantité qui tombe sur le capteur à un emplacement précis de station (Charron, 2014).

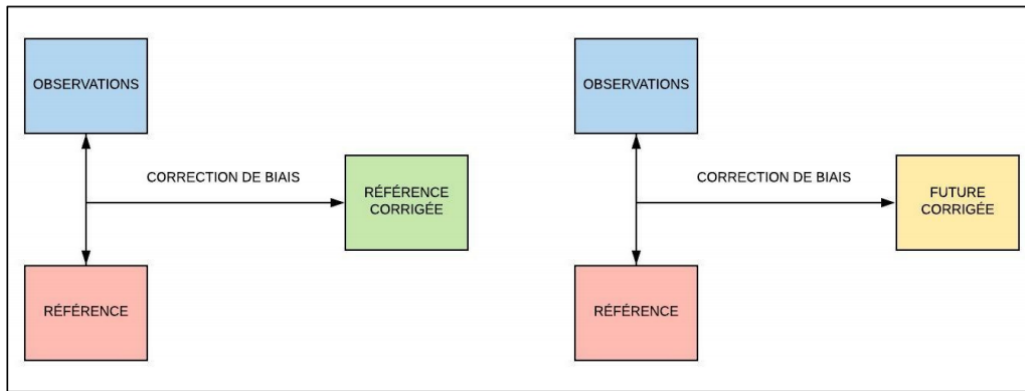


Figure I.17 : Schéma de la procédure générale de la correction de biais (Magali, 2020)

Les méthodes de correction sont souvent utilisées pour éliminer une partie du biais dans les simulations climatiques afin d’avoir une meilleure correspondance entre les valeurs simulées et les valeurs observées (Charron, 2014). Les méthodes par correction de biais consistent à calculer un biais entre les données climatiques observées et celles de la période de référence. Ce biais est ensuite appliqué aux données climatiques futures pour obtenir les simulations corrigées. Quant à elles, les méthodes par perturbations consistent à déterminer le delta entre les sorties du modèle climatique pour la période de référence et pour la période future. Par la suite, le delta est appliqué aux données climatiques observées afin de produire la série d’observations perturbées (Dallaire, 2019). On estime l’erreur par la différence entre la moyenne d’un nombre fini de valeurs mesurées et une valeur de référence il est donné par la formule suivante.

$$Biais = \bar{P}_{sim}(mm) - \bar{P}_{obs}(mm) \dots \dots \dots (1)$$

L’estimation de biais relatif par la formule suivante :

$$Biais(\%) = \frac{\bar{P}_{sim} - \bar{P}_{obs}}{\bar{P}_{obs}} \cdot 100 \dots \dots \dots (2)$$

D’où

P_{sim} : précipitation simulée

P_{obs} : précipitation observée

I.7.1. Les principales méthodes de correction

Les méthodes de correction sont basées sur une fonction d’ajustement entre les données observées et simulées : l’idée est simplement de supposer que le modèle climatique régional prédit correctement le rang et non pas nécessairement la valeur d’une variable. La fonction d’ajustement pour une variable donnée (par exemple, les précipitations) est estimée pour le

climat actuel en comparant les fonctions de distribution observée et simulée avant d'être ensuite appliquée aux projections climatiques.

- **La méthode de confiance** : on fait aucune post-correction n'est appliquée. Si les sorties du modèle sont assez linéaires, cette approche est la plus appropriée.

- **La méthode de débiaisage** : cette méthode corrige l'erreur moyenne mais suppose que la variabilité du RCM est bonne, L'avantage par rapport à la méthode des anomalies est que cette méthode permet facilement d'avoir la variabilité climatique à l'échelle journalière dans certaines régions.

- **La méthode des types de temps ou TT** : le j1 et j2 sont des dates proprement choisies dans la série d'observation. Cette méthode regroupe des techniques analogues. La limite de cette méthode est qu'elle peut changer la fréquence des événements météorologiques sans pouvoir produire des événements jamais enregistrés, ce qui ne convient pas par exemple aux températures extrêmes estivales.

Dans cette partie de travail nous présentons deux méthodes de correction qui sont largement utilisées : la méthode de Delta et la méthode Quantile-Quantile.

I.7.1.1. La méthode « delta ou des anomalies »

C'est la plus simple des méthodes de correction. Pour chaque variable climatique, des perturbations sont calculées mensuellement, comme le rapport (ou la différence dans le cas de la température) entre le climat mensuel moyen simulé sous changement climatique et celui simulé pour le temps présent pris comme référence. Ces perturbations mensuelles servent à modifier les séries actuelles observées, en étant appliquées uniformément pour tout le mois considéré :

$$R^*(j)=O(j) \text{ et } S^*(j) = O(j) \times (S/R) \dots \dots \dots (3)$$

Ou

$$S^*(j) = [O(j) + (S-R)] \dots \dots \dots (4)$$

Cette stratégie ne rend compte que du changement de climat moyen. Sa limitation principale est donc qu'elle ne permet pas de rendre compte des changements possibles de la fonction de distribution des variables climatiques à l'échelle journalière. Elle ne considère pas non plus les modifications éventuelles de la variabilité interannuelle.

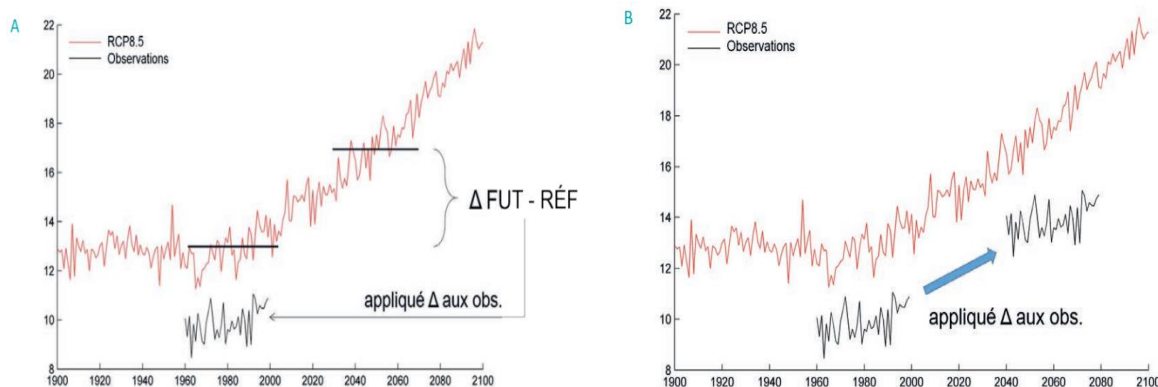


Figure I.18 : Exemple de la méthode de correction par basic quantile. Le changement relatif entre la période de référence et la période future est calculé (A) et appliqué à la série temporelle observée (B)(Ouranos,2014).

I.7.1. 2 .La méthode de correction de variables ou méthode gamma mapping

Les méthodes de correction de biais sont basées sur la comparaison entre les données simulées et observées sur une période passée, l'écart entre les deux est considéré un erreur du modèle,

La méthode gamma mapping consiste à élaborer une fonction de correction pour ramener la distribution statistique des données simulées à celle des valeurs observées, pour chaque variable, saison et période concomitante. Cette méthode non paramétrique revient à considérer que le modèle est capable de prédire la distribution des variables climatiques mais pas la valeur exacte de chaque quantile (Déqué et al., 2007).

$$R^*(d)=f(R(j)/O).....(5)$$

et

$$S^*(j)=f(S(j)/O).....(6)$$

Avec f une fonction construite avec les données observées « O ». Cette méthode généralise la précédente et recouvre plusieurs techniques (régression, décomposition des valeurs singulières...). Dans la méthode de débiaisage, f est prise égale à x-y avec x la donnée à corriger et y le biais (R-O).

La correction des variables simulées est réalisée par la méthode Quantile-Quantile. Le principe de la méthode repose sur la transformation des données « biaisées » simulées en de nouvelles données qui préservent la même distribution de fréquence observée (Déqué, 2007).

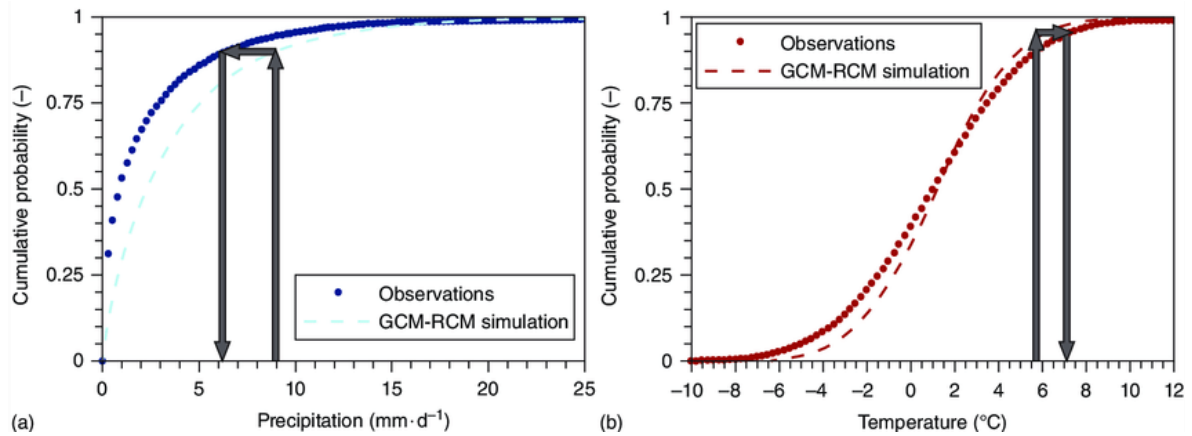


Figure I.19 : Schéma de correction de biais (température et précipitation) par méthode quantile mapping(Hakala et al,2020).

Dans les deux cas, la distribution ajustée aux valeurs simulées par GCM-RCM (ligne pointillée) est transformée pour s'adapter à la distribution ajustée aux données observées (cercles).

Conclusion

Le réchauffement planétaire est désormais une réalité incontestable et ses effets sur le climat global et les climats régionaux sont pratiquement inévitables dans le siècle à venir, une augmentation des températures mondiale, tandis que les précipitations diminuaient en plusieurs pays (méditerranée, l'Afrique, l'Asie de sud....).

L'Algérie est un pays semi-aride soumise aux aléas du climat et subit depuis longtemps les conséquences de sécheresses chroniques. Le changement climatique ressenti depuis le milieu des années 1970.

Plusieurs études menées dans les différentes régions se sont intéressées à l'analyse des simulations issues des sorties de projet cordex-africa pour évaluer d'une part leur performance mais aussi pour anticiper sur l'évolution future à l'horizon 2050 jusqu'à 2100 des précipitations moyennes, afin de rendre les données de simulations fiable pour une étude d'impact, la correction de biais est recommandé parmi ces méthodes : basic quantile et gamma mapping sont couramment utilisées.

CHAPITRE II

- *PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE*

CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Dans ce chapitre on présente la localisation de notre zone d'étude, de ses caractéristiques géomorphologies, climatiques ainsi que la disponibilité des ressources en eau dans la région.

II.1 .Situation géographique

Le grand bassin du Cheliff numéroté 01 selon la nomenclature adoptée par l'ANRH correspond à une cuvette intra montagneuse située au Nord de l'Algérie, Ce bassin est drainé par l'oued Cheliff qui le traverse sur une longueur de 750km avant qu'il se déverse dans la méditerranée à proximité de Mostaganem. Notre région d'étude correspond au bassin du Haut Cheliff, elle fait partie du bassin hydrographique du Cheliff. Elle est limitée au Nord par le bassin du Côtier Dahra, au Sud par le bassin amont du Cheliff, à l'Est par le bassin hydrographique de l'Algérois et à l'Ouest par le bassin du Moyen Cheliff.

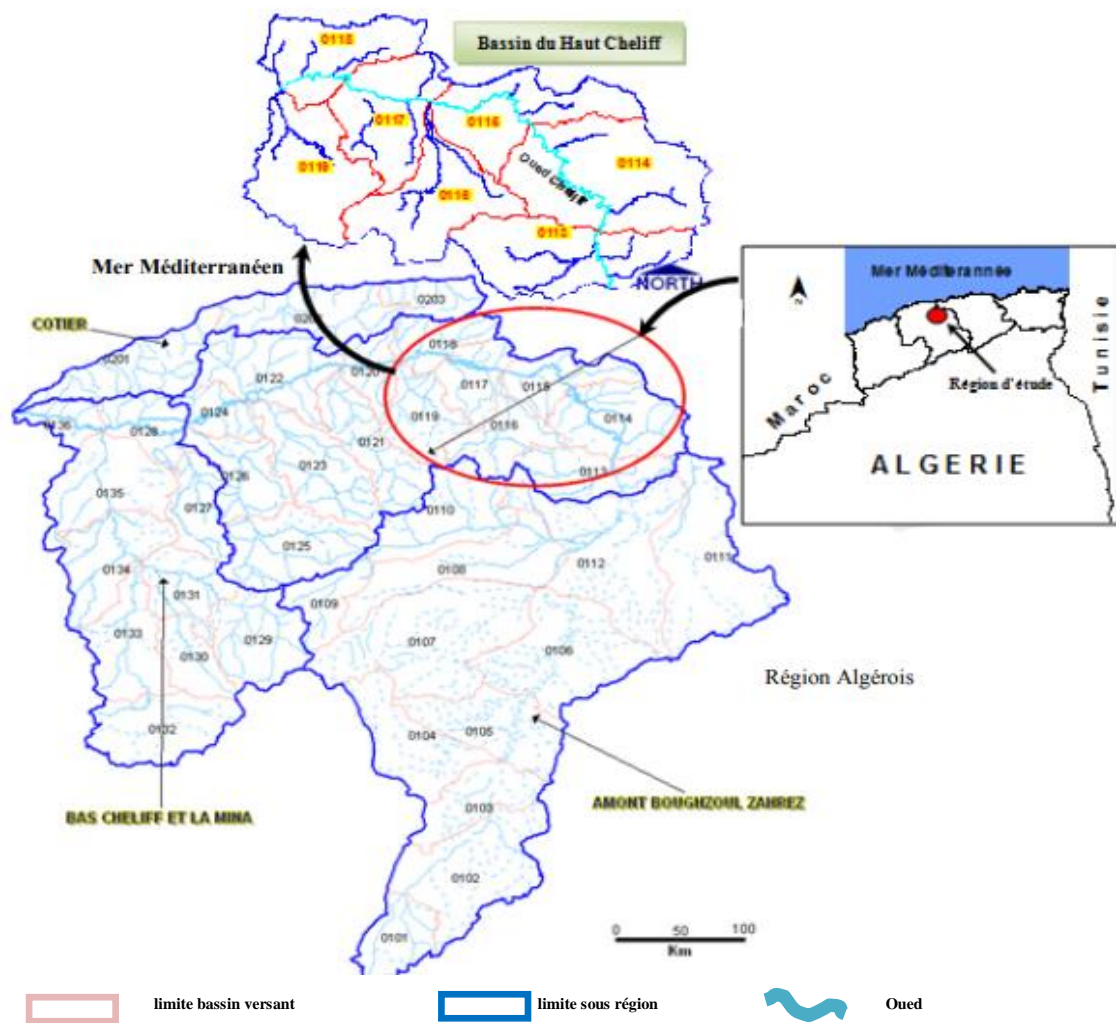


Figure II.1 : Carte de localisation du Bassin versant du Haut Cheliff (ABH-CZ,2004)

L'agence nationale des ressources hydrauliques a placé des stations pluviométrique pour suivre les précipitations, le bassin du haut Cheliff regroupe 7 bassins versants codés de 0113 a 0119 dans notre aire d'étude on prend : Oued Cheliff Ghib (0114); Oued Deurdeur (0116); Oued Cheliff Harraza (0117); Oued Ebda (0118); Oued Rouina Zeddine (0119), dont les limites sont reportées sur la (figure II.2).



Figure II.2 : les sous bassins hydrographiques du haut Cheliff (ABH-CZ, 2004).

Les séries pluviométriques observées des six stations présentées au tableau suivant données par ANRH Blida au cours de la période 1975 -2014.

Tableau II.1 présentation des stations pluviométriques dans le bassin haut Cheliff.

<i>Bassin</i>	<i>Station</i>	<i>Code</i>	<i>X(Km)</i>	<i>Y (Km)</i>	<i>Z(m)</i>
Bassin haut Cheliff	<i>Ain defla</i>	<i>011804</i>	<i>434.60</i>	<i>329.90</i>	<i>270</i>
	<i>Ghib Bge</i>	<i>011405</i>	<i>487.25</i>	<i>318.40</i>	<i>460</i>
	<i>Arib Cheliff</i>	<i>011702</i>	<i>439.50</i>	<i>332.55</i>	<i>230</i>
	<i>B.el Amir AEK</i>	<i>011603</i>	<i>461.10</i>	<i>285.30</i>	<i>1080</i>
	<i>El Touaibia</i>	<i>011901</i>	<i>430.85</i>	<i>313.35</i>	<i>350</i>
	<i>Thneit el Had</i>	<i>011605</i>	<i>439.80</i>	<i>285.65</i>	<i>1150</i>

II.2. Morphologie du bassin du Haut Cheliff

le bassin de haut Cheliff est caractérisé par substratum simple au sud, formé de vastes étendues sédimentaires d'où émergent des massifs calcaires isolés, et un édifice beaucoup plus complexe au Nord, constitué de nombreuses séries hétérogènes empilées au cours de phases tectoniques successives (PNUD, 2009).

La zone d'étude est caractérisée par l'hétérogénéité des unités géomorphologiques, Les reliefs littoraux sont formés par de vastes collines. On y trouve les monts du Dahra qui forment une dorsale entre la dépression du Cheliff et la mer Méditerranée. A l'Ouest, le Dahra est formé de collines de 300 à 600 mètres d'altitude, les crêtes atteignent 800 m. A l'Est, la région

devient plus montagneuse et boisée, avec des altitudes dépassant 1000 mètres et culminant au Djebel Bou-Maad (1415 m) et au Djebel Zaccar (1579 m) (Touahri, 2015).

Les bassins intérieurs sont éloignés de la mer de 20 à 70 Km. Isolés des influences maritimes par les chaînons montagneux qui s'allongent du massif des Traras à celui de l'Ouarsenis, ils s'élèvent entre 350 et 800 m d'altitudes. Aux pieds des plateaux Telliens d'Oranie, on trouve les plaines du Cheliff qui forment une véritable gouttière de 190 km de long. Bien plus qu'une vallée, c'est un chapelet de bassins légèrement étagés séparés par de modestes rétrécissements bassins du Haut Cheliff entre 250 et 300 m d'altitude, bassin du Moyen Cheliff entre 150 et 200 m d'altitude et le bassin du Bas Cheliff entre 60 et 150 m d'altitude (PNUD, 2009).

L'altitude moyenne des sous bassins du Haut Cheliff est de l'ordre de 739 m dans le sous bassin Oued Deurdeur (Touhari, 2015).

Le bassin du haut Cheliff est de forme assez allongé (k_c varie entre 1,3 et 1,75).

Le tableau suivant présente les caractéristiques de ce bassin.

Tableau II.2 Caractéristiques morpho métriques des bassins versants de la région d'étude.

<i>Bassin</i>	<i>Sous bassin</i>	<i>Surfac(A)</i> <i>(km²)</i>	<i>Périmètre(P)</i> <i>(km)</i>	<i>Altitude</i> <i>moyenne (m)</i>	<i>Altitude</i> <i>Minimale (m)</i>	<i>Altitude</i> <i>Maximale (m)</i>	<i>indice de</i> <i>compacité (kc)</i>
Cheliff Bassin haut	0113	992,85	179,96	900	600	1800	1,60
	0114	1383,69	176,81	870	500	1600	1,33
	0115	767,29	168,95	600	300	1300	1,70
	0116	743,97	142,68	980	300	1800	1,46
	0117	857,64	185,65	575	300	1600	1,76
	0118	690,55	141,10	610	200	1500	1,51
	0119	898,54	173,69	640	200	1700	1,62

(Source : Mehaiguene, 2013)

La répartition par tranches d'altitude de la superficie des bassins, plus significative que l'altitude moyenne, Il s'avère que les secteurs, d'altitude supérieure à 1200 m, sont peu étendus dans le bassin du Haut Cheliff ; Elles correspondent à des massifs montagneux importants, seuls les sommets des monts de l'Ouarsenis et des monts de Zaccar dépassant les 1600 m d'altitude (Boudjefna , 2018).

II.3. Réseau hydrographique

L'Oued Cheliff résultant de la jonction des deux grands cours d'eau Oued Touil et Nahr Ouassal, prend d'abord une direction Sud-Nord et franchit la chaîne de Médea (Boughar). Ensuite, suivant une orientation SE-NW il traverse le massif de Gantas, et enfin il coule en oblique de l'Est à l'Ouest, traversant ainsi successivement (02) wilayas dans le Haut Cheliff : Medea et Ain Defla, jusqu'à son embouchure dans une large vallée vers la mer méditerranée.

l'Oued Cheliff ne reçoit pas d'affluents importants sur sa rive droite sauf l'Oued Ebda, mais sur sa rive gauche, il collecte les eaux de l'Oued Deurdeur, Harreza, Rouina Zeddine dans la région du Haut Cheliff (Mehaiguen, 2013).

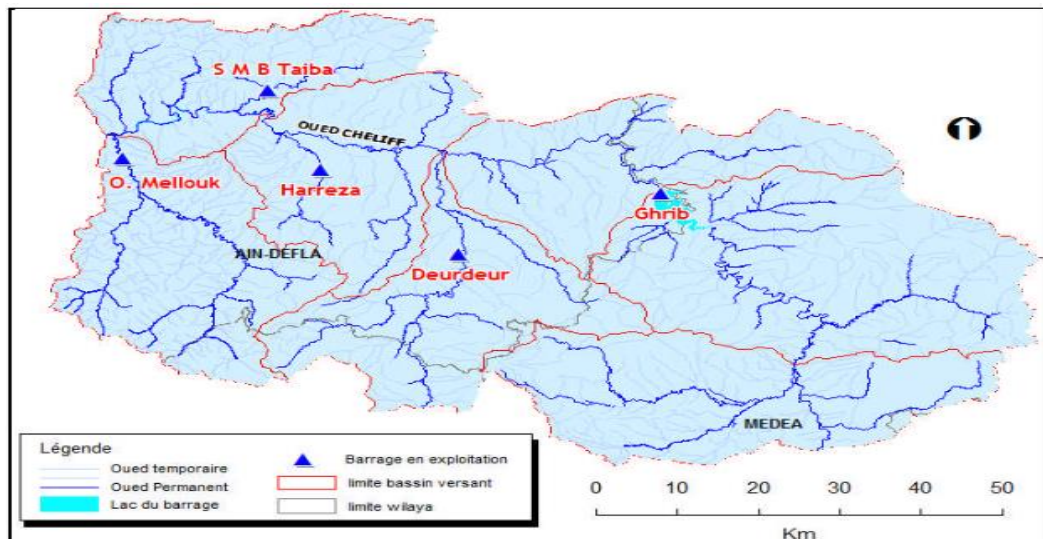


Figure II.3 : Réseau Hydrographique du Haut Cheliff (Touhari, 2014).

II.4. Climat du bassin du Haut Cheliff

Le climat est un facteur déterminant de la disponibilité en eau. Les paramètres climatiques essentiels sont la température et les précipitations, la plaine du Haut Cheliff est caractérisée par un climat semi-aride avec des influences sahariennes en été et des influences méditerranéennes en hiver, caractérisée par deux saisons distinctes : un hiver froid et un été chaud (Aberkane et Benzahra, 2018).



Figure II.4 : Carte des étages bioclimatiques du bassin Cheliff. (Source PNUD, 2009)

CHAPITRE II : Présentation de la zone d'étude

Les données pluviométriques ont été recueillies auprès des secteurs de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, sous forme des tableaux. Le bassin du haut Cheliff est équipé par 32 postes de mesure, 6 stations ont fait l'objet de notre étude.

Tableau II.4 les précipitations moyenne interannuelle au cours de la période (1981- 2011).

	SEPT	OCT	NOV	DEC	JANV	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT
GHRIB	23,46	40,18	60,94	69,97	65,97	65,38	47,21	43,53	34,24	8,32	5,90	5,39
BORDJ EL AMIR	32,24	40,39	46,71	54,25	69,80	48,09	43,43	37,42	33,66	9,82	4,58	7,28
THNEIT EL HAD	28,02	47,36	67,92	68,70	80,02	74,45	59,69	52,85	36,59	11,23	8,27	11,98
ARIB	19,19	30,78	60,23	60,51	59,46	62,56	47,75	37,90	24,56	7,23	1,24	3,36
AIN DEFLA	19,99	33,68	61,37	57,94	60,48	61,61	50,26	40,97	31,52	8,47	1,97	5,01
TOUAIBIA	18,08	23,42	34,12	36,44	36,47	40,06	31,56	30,07	22,51	6,28	1,85	5,02

(Source : ANRH BLIDA, 2020)

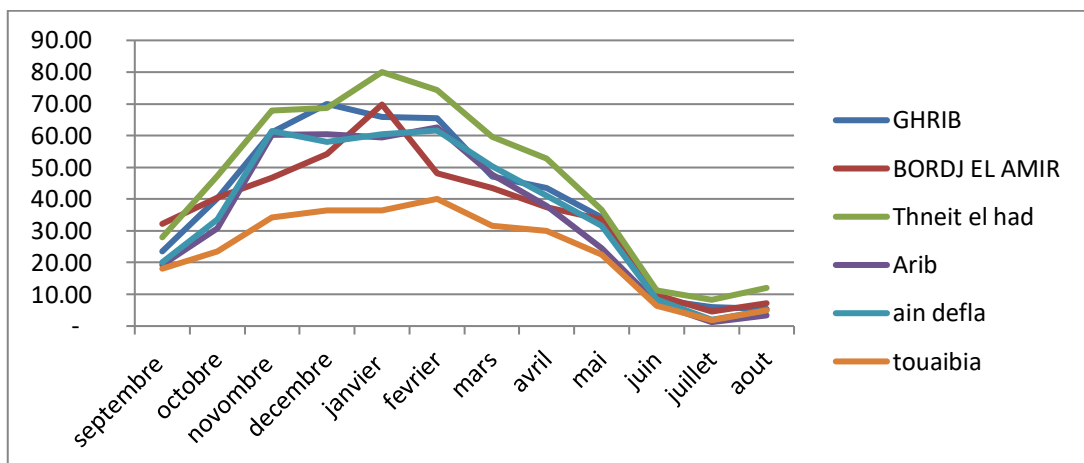


Figure II.5 variation des précipitations moyenne interannuelle période (1981-2011)

D'après le tableau II.4 et la figure II.5 on remarque que les valeurs des moyennes mensuelles de la pluviométrie indiquent un maximum de sécheresse durant le mois le plus chaud (Juillet) avec une pluviométrie de 1,24 mm dans la station Arib Cheliff, par contre le mois le plus humide est janvier avec 80,02 mm est indiqué dans la station Thneit el Had. La répartition mensuelle des pluies laisse apparaître une répartition irrégulière dans le bassin de haut Cheliff. La pluie moyenne annuelle de la zone varie 547 mm à la station Thneit el had et 286 mm à la station Touaibia.

• **Température**

La température est un des éléments fondamentaux pour la détermination du caractère climatique d'une région. Les données existantes sont celles des stations gérées par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH).

Les températures moyennes mensuelles des deux stations représentatives sont enregistrées pendant la période (1968-2001) dans la plaine du Haut Cheliff, la période chaude s'étend de 6 mois de mai à octobre, le mois le plus chaud juillet avec une moyenne 30.6 C° enregistré sur la station Ain defla et août sur la station Ghrib bge, les températures annuelles varient entre 17 et 19°C.

Tableau II.5 : les températures moyenne interannuelle des 2 stations (Ain defla et Ghrib Bge)

Station	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Annuelle
Ain Defla	8,9	9,8	12,6	16	20,5	26,0	30,6	30,3	25,9	20,4	13,7	9,9	18,7
Ghrib bge	8,2	9,3	12,3	13,3	17,6	22,3	26,1	27,0	21,9	17,5	12,7	8,8	16,4

(source : ANRH, 2004)

II.5 .Ressources en eau

Les ressources en eau sont constituées par les eaux conventionnelles (superficielles et souterraines) et les eaux non conventionnelles (les eaux usées traitées et les eaux de dessalement).

II .5.1. Les eaux conventionnelles

✓ **Les barrages**

Les barrages dans le bassin du Haut Cheliff sont au nombre de 05 en exploitation sont : Ghrib, Deurdeur, Heraza, Sidi M'hamed Ben Taiba, Ouled Mellouk. Les cinq barrages en exploitation totalisent une capacité de 667 Hm³, avec un volume régularisable variant entre 3 Hm³ et 80 Hm³ selon leurs utilisations. Le volume stocké au 03/09/2009 était de 212 Hm³, ce qui représente 32 % de leur capacité totale.(Touhari, 2015)

✓ **Les retenues collinaires**

En plus des grands ouvrages de mobilisation des eaux superficielles, il existe dans le bassin du Haut Cheliff plus de 30 retenues collinaires destinées à l'irrigation des terres agricoles, dont 06 retenues seulement sont en exploitation. Les ressources en eau superficielles disponibles par les retenues collinaires sont de 1.29 Hm³. Il est à noter que 80% des retenues collinaires de la région sont envasées (PDARE, 2009).

✓ **Eaux souterraines**

Les ressources en eaux souterraines de la plaine du Haut Cheliff ont été évaluées dans le cadre du Plan National de l'Eau (figure II .6). Cette évaluation est menée par l'ANRH et la méthode

pluie/infiltration. Cette plaine est constituée d'alluvions grossières, occupe une superficie de 370 km², dont les potentialités en eaux souterraines sont estimées à 16 Hm³.

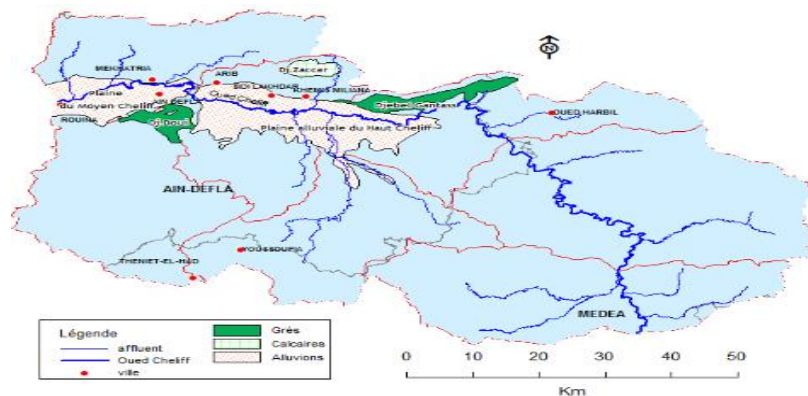


Figure II.6 : Localisation de la nappe du Haut Cheliff (Touhari, 2015).

II.5. 2 .Eaux non conventionnelles

A la suite d'une sécheresse chronique vécue par l'Algérie depuis plus de deux décennies et la demande en eau croissante, les pouvoirs publics ont décidé de s'orienter vers une politique de mobilisation des ressources en eau non conventionnelles, à savoir : la réutilisation des eaux usées urbaines traitées et le dessalement d'eau de mer afin de pouvoir compenser le déficit en eau enregistré (Touhari, 2015).

✓ Les eaux usées urbaines traitées

Le recyclage des eaux usées traitées n'existe pas encore dans la région du Haut Cheliff, car, la collecte et la purification des eaux usées sont limitées à deux agglomérations seulement où deux stations d'épuration à savoir ; Ain Defla et Theniet El Had fonctionnent actuellement et quelques bassins de décantation (Touhari, 2015).

Conclusion

Le bassin de haut Cheliff est caractérisé par un climat semi-aride avec un hiver pluvieux et un été chaud, dans ce chapitre on a déterminé les caractéristiques suivantes :

La température moyenne interannuelle atteint 19°C des deux stations représentatives.

Les précipitations moyennes annuelles, sur une période de 34 ans (1981-2011), sont estimées à 430 mm.

Disponibilité de deux ressources potentielles en eaux (les eaux de surface dont les cinq barrages en exploitation totalisent une capacité de 667 Hm³, les potentialités en eaux souterraines sont estimées à 16 Hm³)

CHAPITRE III

• *RESULTATS ET DISCUSSIONS*

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les modèles climatiques régionaux (MCR) sont largement utilisés dans l'évaluation régionale des impacts du changement climatique. Les simulations du climat futur par les modèles climatiques sont la base de décisions d'adaptation dont l'efficacité dépend de la qualité des modèles climatiques. Il est donc naturel de se poser la question de savoir si les modèles climatiques sont fiables ou non. L'évaluation d'un modèle climatique se fait en comparant ses sorties avec les observations sur la période historique.

Les modèles climatiques vont toujours avoir des sorties dont les caractéristiques diffèrent plus ou moins des observations. C'est pourquoi il est courant d'appliquer la correction de biais pour corriger les sorties afin d'améliorer la qualité des simulation future , L'expérience CORDEX-AFRICA vise à fournir un cadre d'évaluation et de vérification de l'efficacité des modèles et à concevoir une série d'expériences destinées à obtenir des projections climatiques pouvant servir aux études d'impacts ,ce travail a pour objectif d'évaluer la performance de deux modèles CNRM et MPI du programme pour simuler les précipitations sur le bassin de haut Cheliff, et appliquer deux méthodes de correction de biais « basic-quantile» et « gamma-mapping ».

III.1 Analyse des Performances des modèles climatiques régionaux

Les précipitations saisonnières simulées par les deux modèles **CNRM** et **MPI** sont comparées aux observations par l'estimation du biais qui consiste en la différence de moyennes entre les pluies simulées (P_{sim}) et observées (P_{obs}) par rapport aux pluies observées. Il permet d'évaluer l'écart des pluies simulées aux observations.

$$Biais (\%) = \frac{P_{sim} - P_{obs}}{P_{obs}} . 100$$

Les résultats de calcul de biais entre les précipitations observées et simulées par les deux modèles sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau III.1 : le biais estimé en (%) entre les pluies observées et simulées au cours de période (1981-2005)

<i>STATION AIN DEFLA</i>													
	<i>SEP</i>	<i>OCT</i>	<i>NOV</i>	<i>DEC</i>	<i>JAN</i>	<i>FEV</i>	<i>MAR</i>	<i>AVR</i>	<i>MAI</i>	<i>JUIN</i>	<i>JUIL</i>	<i>AOU</i>	<i>ANNUEL</i>
CNRM(%)	-48	-10	-44	-56	-67	-68	-52	-72	-73	-16	-79	-81	-58
MPI(%)	-49	-9	-45	-51	-47	-58	-61	-62	-71	-64	-87	-33	-53
<i>STATION ARIBCHELIFF</i>													
	<i>SEP</i>	<i>OCT</i>	<i>NOV</i>	<i>DEC</i>	<i>JAN</i>	<i>FEV</i>	<i>MAR</i>	<i>AVR</i>	<i>MAI</i>	<i>JUIN</i>	<i>JUIL</i>	<i>AOU</i>	<i>ANNUEL</i>
CNRM(%)	181	146	20	-22	1	3	64	97	157	479	2343	1158	71
MPI(%)	131	137	32	9	89	2	50	37	154	370	1450	848	60
<i>STATION BORDJ EL AMIR AEK</i>													
	<i>SEP</i>	<i>OCT</i>	<i>NOV</i>	<i>DEC</i>	<i>JAN</i>	<i>FEV</i>	<i>MAR</i>	<i>AVR</i>	<i>MAI</i>	<i>JUIN</i>	<i>JUIL</i>	<i>AOU</i>	<i>ANNUEL</i>
CNRM(%)	54	-16	-27	-77	-85	-54	-50	-25	-11	283	674	480	-17
MPI(%)	25	21	-32	-58	-73	-44	-27	-50	-44	399	732	550	-9
<i>STATION EL TOUAIBIA</i>													
	<i>SEP</i>	<i>OCT</i>	<i>NOV</i>	<i>DEC</i>	<i>JAN</i>	<i>FEV</i>	<i>MAR</i>	<i>AVR</i>	<i>MAI</i>	<i>JUIN</i>	<i>JUIL</i>	<i>AOU</i>	<i>ANNUEL</i>
CNRM(%)	95	147	66	23	45	32	145	120	92	413	1163	460	99
MPI(%)	47	156	91	81	74	41	124	63	92	300	638	236	95
<i>STATION GHRIB BGE</i>													
	<i>SEP</i>	<i>OCT</i>	<i>NOV</i>	<i>DEC</i>	<i>JAN</i>	<i>FEV</i>	<i>MAR</i>	<i>AVR</i>	<i>MAI</i>	<i>JUIN</i>	<i>JUIL</i>	<i>AOU</i>	<i>ANNUEL</i>
CNRM(%)	-1	-44	-71	-93	-94	-82	-86	-81	-56	60	131	110	68
MPI(%)	-13	-50	-74	-83	-88	-86	-76	-87	-53	133	117	256	64
<i>STATION THENEIT EL HAD</i>													
	<i>SEP</i>	<i>OCT</i>	<i>NOV</i>	<i>DEC</i>	<i>JAN</i>	<i>FEV</i>	<i>MAR</i>	<i>AVR</i>	<i>MAI</i>	<i>JUIN</i>	<i>JUIL</i>	<i>AOU</i>	<i>ANNUEL</i>
CNRM(%)	-10	7	-19	-38	-52	-49	-22	-41	-58	30	-34	-67	34
MPI(%)	-51	-12	-30	-38	-52	-46	-49	-51	-62	-35	-62	-55	43

Les variations saisonnières des précipitations observées et celles de modèle MPI et CNRM pendant la période de référence de chaque station Pluviométrique sont représentées dans les graphes suivants :

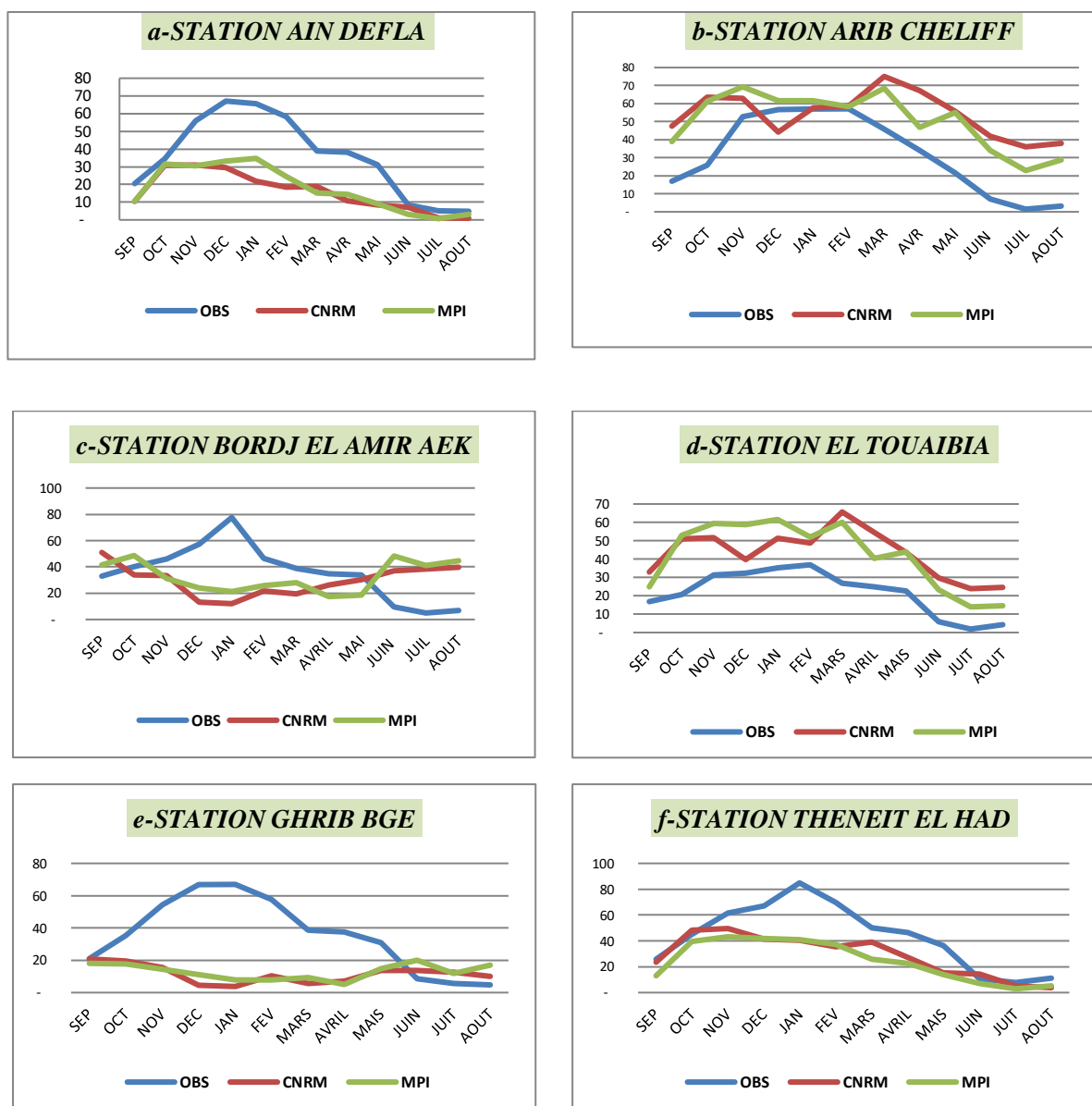


Figure III.1 : Représentation du cycle saisonnier par les modèles climatiques

Les données analysées sont constituées des observations des précipitations de la période 1981-2005 et des précipitations simulées au moyen du deux modèles CNRM et MPI, les figures et le tableau au dessus montrent que :

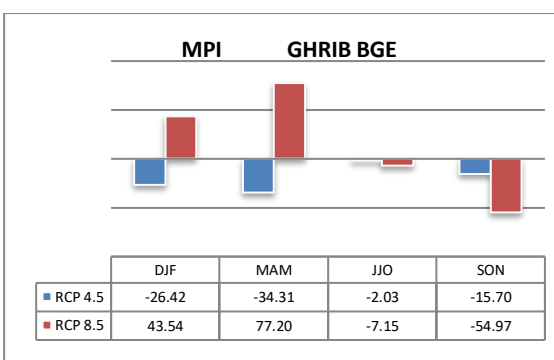
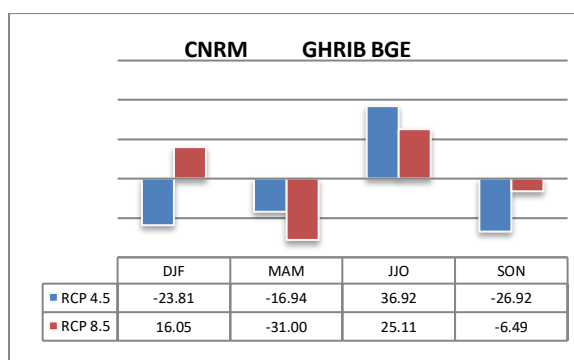
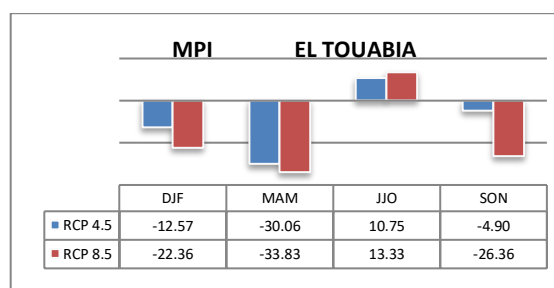
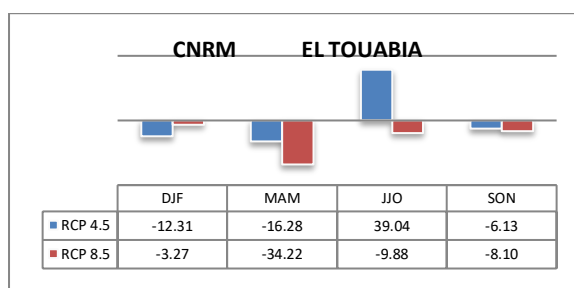
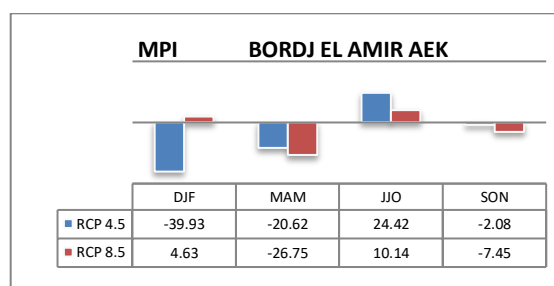
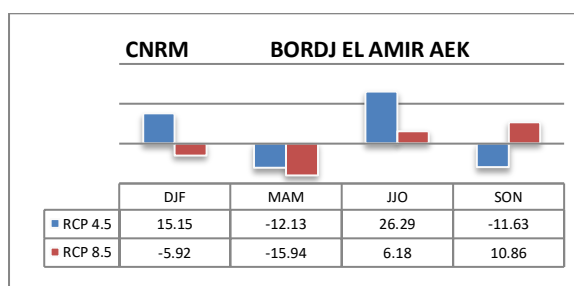
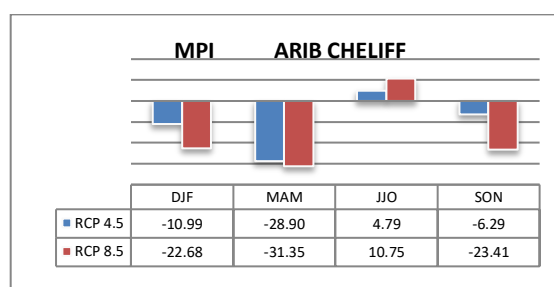
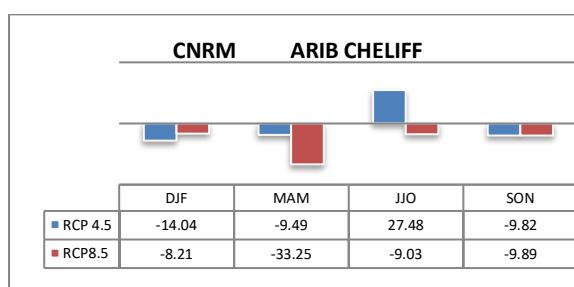
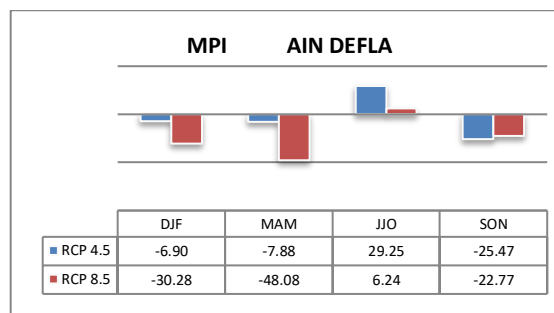
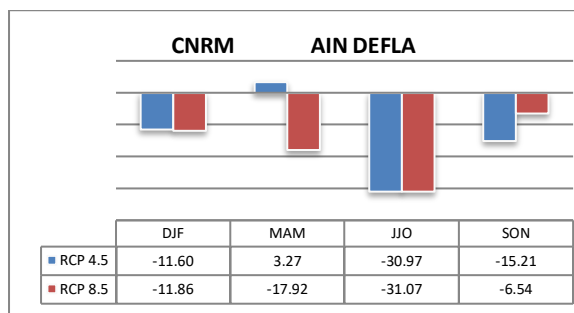
- Les pluies simulées par les deux modèles a l'échelle du bassin haut Cheliff ne se rapprochent pas a celles des pluies observées et avec des biais importants dans la majorité des stations, ceci explique la mal performance des modèles dans l'ensemble du bassin, les données brutes doivent être simulés par des autres modèles climatique régionaux.

- Les deux modèles CNRM et MPI indiquent même variation des précipitations dans la majorité des stations sauf aux deux stations de Touaibia et Arib Cheliff qui montre une déférence entre les deux modèles.
- Les modèles sous-estiment les précipitations dans la plupart des stations (ain defla, bordj el Amir AEK, ghrib et theneit el had) avec un biais varie entre 1% et 94 % pour la période humide (Octobre- mars) et dépasse 100% pour la période sèche (avril – septembre)
- Une surestimation des précipitations par les deux modèles dans les deux stations (Touabia et Arib Cheliff), avec des biais significatifs qui dépassent 1000% au cours de la période sèche, un biais important est simulé pendant le mois de juillet par le modèle CNRM.
- A l'échelle du bassin de haut Cheliff, les deux modèles présentent des biais annuelles qui dépassent 50% sur la majorité des stations ceci montre une mal estimations des précipitations.
- La station de bordj el Amir AEK présente des biais faible à l'échelle annuelle varient entre 9% et 17%.
- La station de Theneit el Had présente des valeurs des biais faible par rapport aux autres stations par les deux modèles. Le modèle CNRM est le moins biaisé même a l'échelle annuelle, il présente un biais de l'ordre 35%, il est donc le plus performant pour simuler les données cette station.
- La station de Ghrib bge présente des précipitations simulées très faibles par les deux modèles MPI et CNRM.

III.2 .Evolution future précipitations

Les modèles climatiques sont les principaux outils utilisés pour réaliser des projections quantitatives des changements du climat. Ces modèles utilisent des scénarios de l'évolution future des agents de forçage (les gaz a effet de serre), pour établir un ensemble de projection décrivant ce qui pourrait se produire a l'avenir en matière de changement climatique. Dans notre cas les deux modèles **CNRM** et **MPI** fournissent des pluies simulées jusqu'à 2100 pour les deux scénarios **RCP 4.5** et **RCP 8.5**, on compare les pluies simulées à la future dans deux projections (2046 – 2070 et 2075- 2100) avec les pluies simulées au passées au cours de la période de référence (1981 – 2005) par la formule suivante :

$$\text{Biais (\%)} = \frac{P_{\text{sim future}} - P_{\text{sim 1981-2005}}}{P_{\text{sim 1981-2005}}} \cdot 100$$



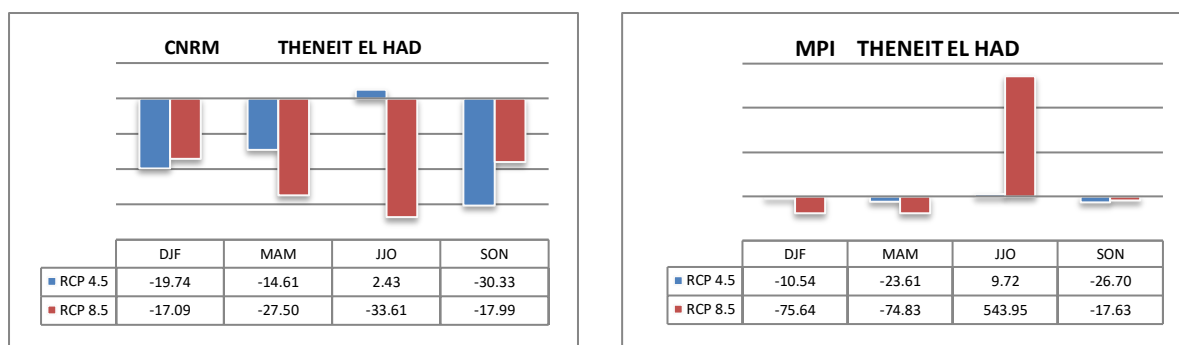


Figure III.2 : Différence entre les pluies passées (1981-2005) et futures (2046- 2070) simulées par CNRM et MPI pour les deux scénarios climatiques (**RCP 4.5** et **RCP 8.5**).

Comme montre l’histogramme (figure III.2), les résultats de projections (2046-2070) de chaque saison mettent en évidence pour les deux simulations CNRM et MPI une diminution de précipitation moyenne hivernale dans la majorité des stations représentatives du bassin haut Cheliff.

- **En hiver**

- RCP 4.5

Les deux modèles simulent une diminution des pluies dans l’ensemble des stations, une baisse comprise entre 12% et 24% respectivement dans la station de AIN DEFLA et GHRIB BGE par le modèle CNRM, et par le modèle MPI simule aussi une baisse de précipitation dans la totalité des stations varie entre 7% et 40% dans les deux stations AIN DEFLA et BORDJ EL AMIR AEK.

- RCP 8.5

Les résultats associés au modèle CNRM présentent une baisse des précipitations entre 3% et 17%, le même modèle simule une augmentation des pluies qui atteint 16% à la station GHRIB BGE. Le modèle MPI indique une diminution des précipitations varie entre 23% et 76% cette réduction significative simulée dans la station THENEIT EL HAD, alors que la station de GHRIB BGE indique une augmentation à l’ordre de 44%.

- **En printemps**

- RCP 4.5

Notons par le modèle MPI une réduction des pluies sur la majorité des stations comprise entre 7% et 34%, et la modalisation par CNRM présente la baisse des pluies comprise entre 10% et 17%.

- RCP 8.5

Les résultats montrent une diminution pour l’ensemble des stations, qui varie entre 16% et 34% selon le modèle CNRM. Aussi une diminution des précipitations est simulée par

Le modèle MPI qui varie entre 27% et 75%, par contre la station de GHRIB BGE indique une augmentation progressive qui atteint 77%.

- **En été**

- RCP 4.5

Les résultats des deux modèles montrent une augmentation assez élevée des précipitations simulées sur 5 stations, cette augmentation varie entre 2% et 39% enregistré par la station TOUIBIA simulées par le modèle CNRM et varie entre 4% et 29% simulée par le modèle MPI.

- RCP 8.5

Comme l'on montré l'histogramme d'évolution des précipitations à l'avenir les deux modèles simulent une augmentation significative des pluies sur la majorité des stations en particulier le résultat issue par le modèle MPI sur la station de THENEIT EL HAD qui dépasse le 100% , par contre le modèle CNRM présente baisse de précipitation comprise entre 9% et 34% respectivement sur la station ARIB CHELIFF et THENEIT EL HAD et la station GHRIB simule une augmentation des précipitations qui atteint 25%.

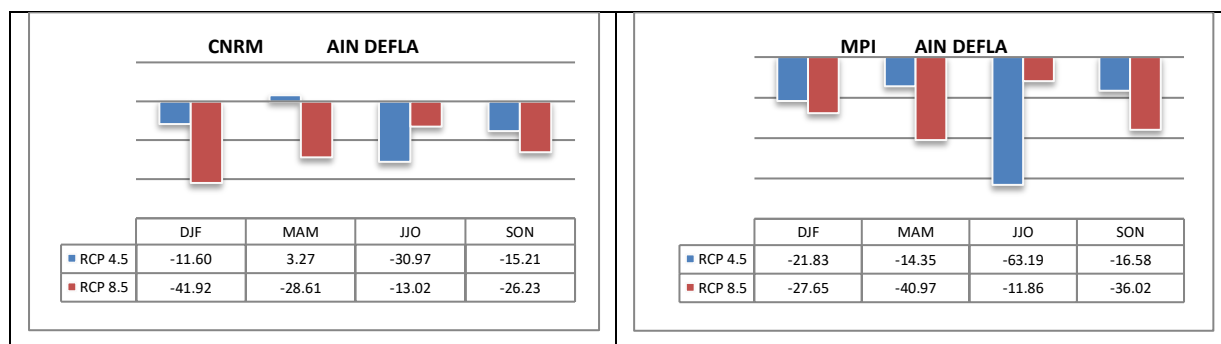
- **En automne**

- RCP 4.5

Selon le scénario optimiste, le modèle MPI toutes les stations simulent une réduction de précipitation varie entre 2% et 26%, pour le même scénario le modèle simule une baisse des pluies comprise entre 6% et 30% indiquée sur le modèle CNRM.

- RCP 8.5

Selon le scénario pessimiste, l'analyse des résultats présente une baisse assez faible des précipitations sur le bassin de haut Cheliff, cette baisse varie entre 6% et 18% simulé par le modèle CNRM, et de 7 % enregistrée sur la station BORDJ EL AMIR et 55% sur la station GHRIB BGE.



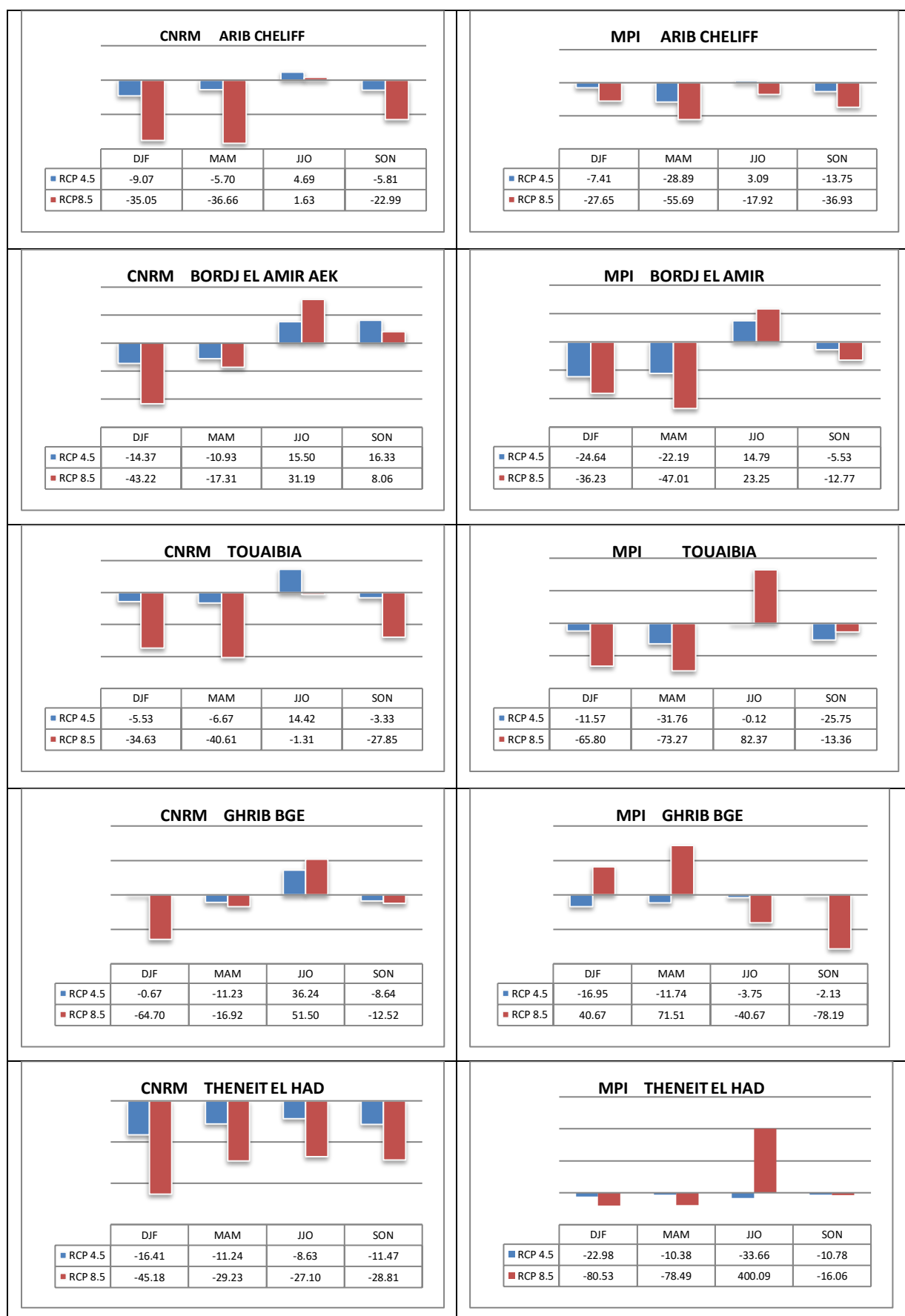


Figure III.3 : Différence entre les pluies passées (1981-2005) et futures (2075- 2100) simulées par CNRM et MPI pour les deux scénarios climatiques (RCP 4.5 et RCP 8.5).

III.3 Correction de biais des précipitations simulées

Les sorties de deux modèles climatiques régionaux CNRM et MPI affichent de large biais de précipitations au cours de l'analyse de la variabilité climatique entre les données observées et simulées au cours du période de référence (1981-2005), ce qui risque d'affecter les simulations futures. Pour rendre les résultats plus fiable, nous présentons deux méthodes de correction de biais quantile-quantile et delta pour ajuster et affiner les simulations des deux MCR.

La méthode de correction permet de corriger les simulations futures en se basant sur l'écart entre les données observées et les simulations au cours de la période de référence 1981-2005. La comparaison entre les deux méthodes de correction basée sur le calcul de coefficient d'échange entre les pluies simulées future corrigées et les pluies observées sur les 6 stations représentatives du bassin de haut Cheliff, le choix de la méthode la plus performante celle qui a un coefficient d'échange le moins biaisé.

Dans notre cas, les deux modèles CNRM et MPI surestiment les précipitations dans la période sèche et présente des biais importants ce qui influence l'analyse d'évolution du climat futur, a cet effet on suppose les précipitations uniquement pour la période humide (octobre-mai).

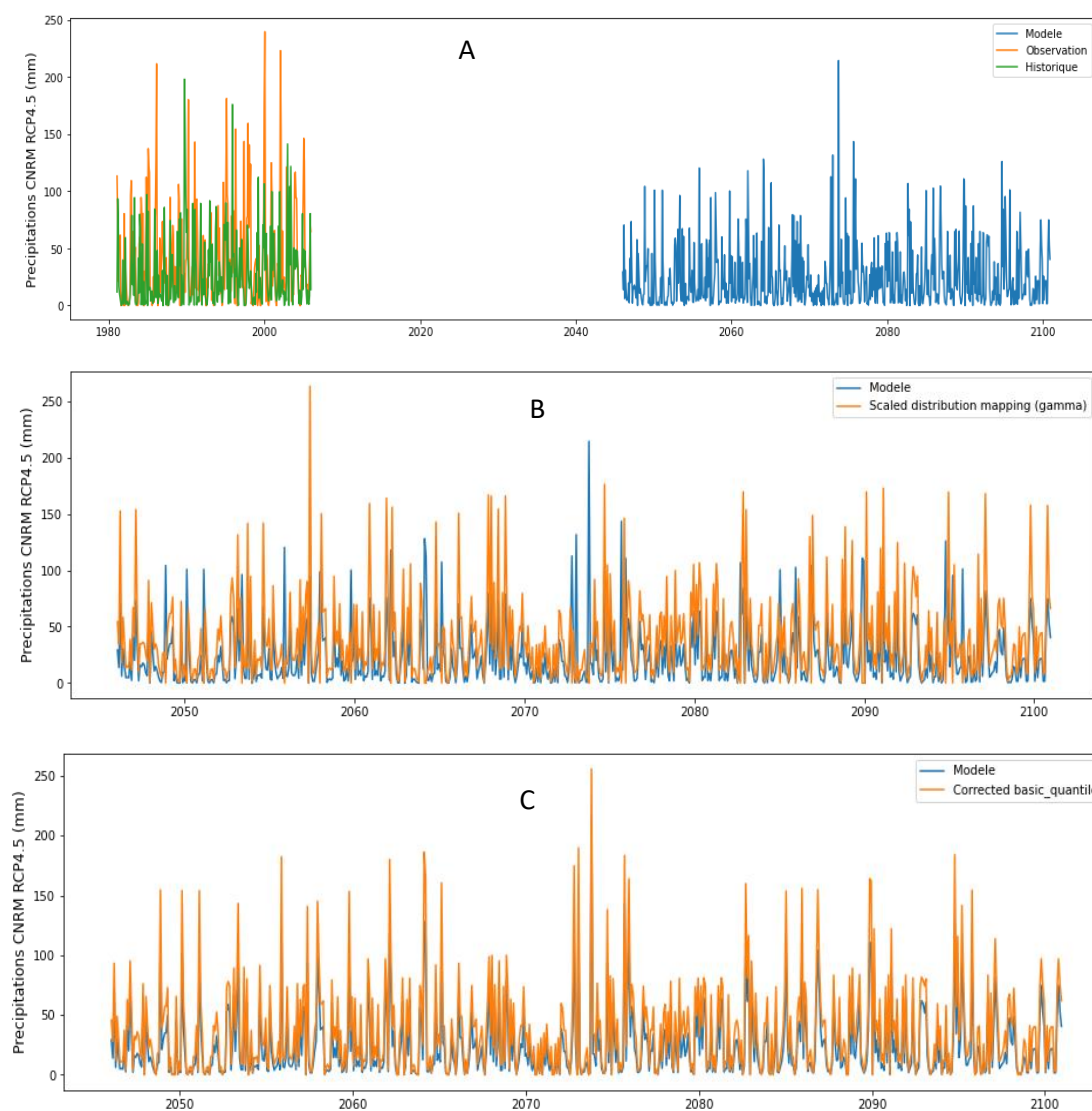
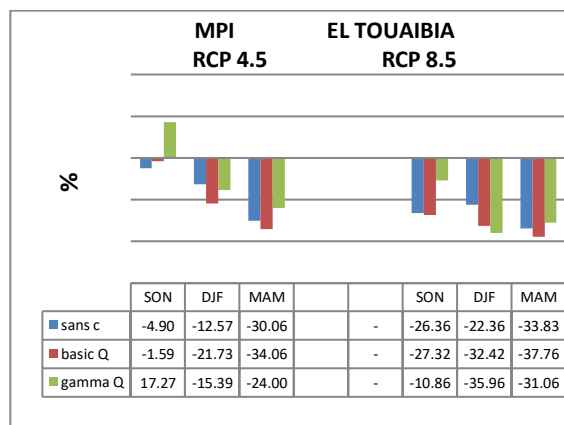
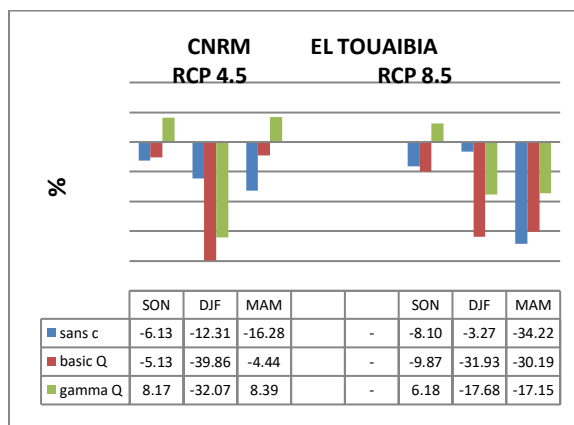
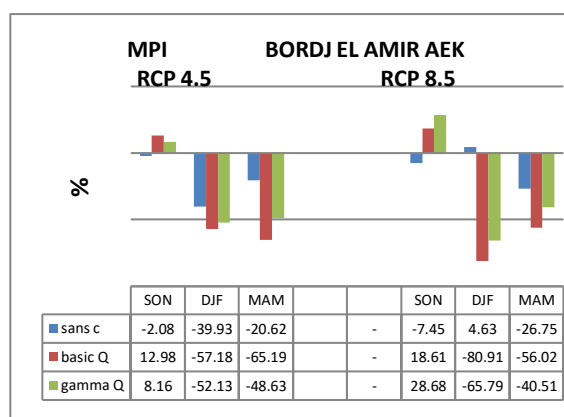
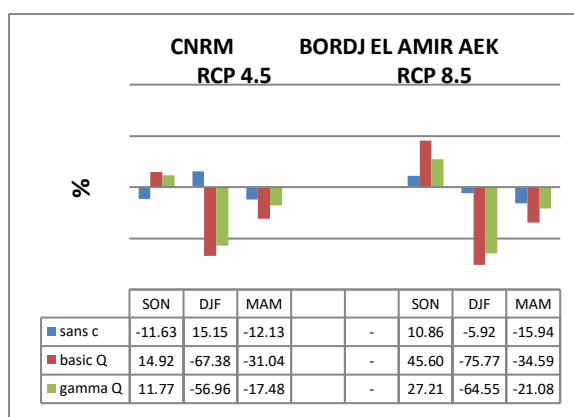
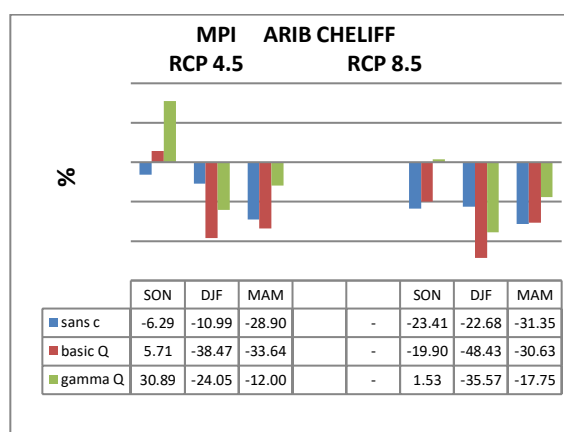
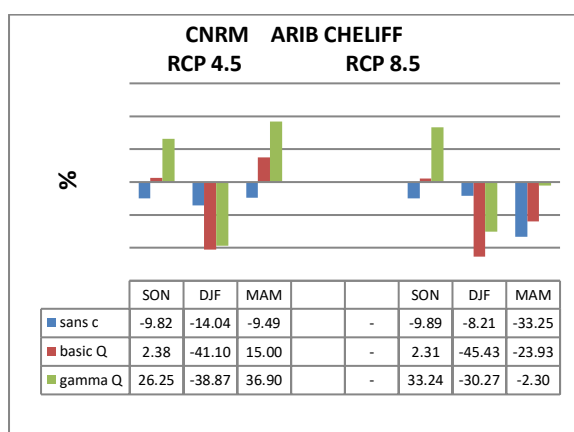
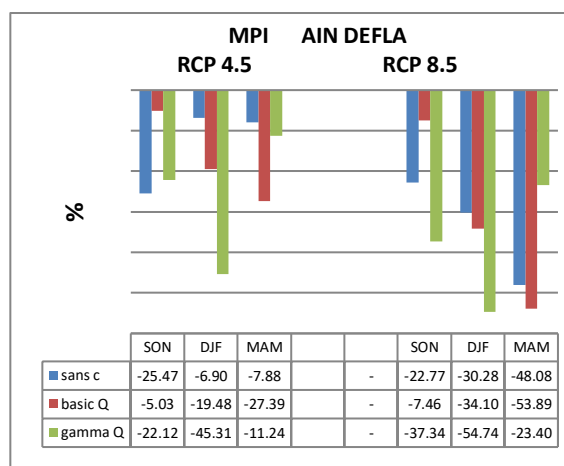
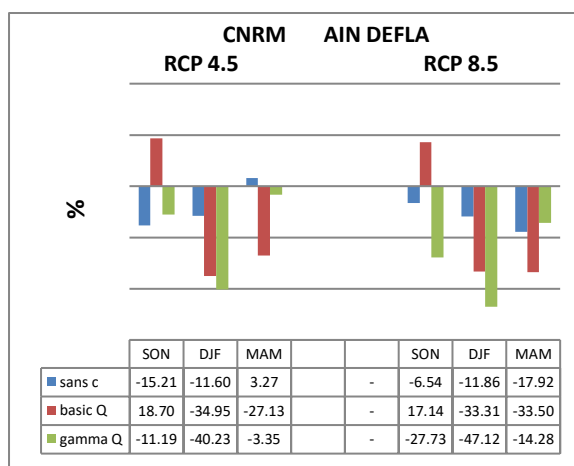


Figure III.4 : Différence entre les pluies observées et simulées(A), simulations futures après correction gamma mapping , simulation après correction basic-quantile (c) : cas du modèle CNRM, RCP 4.5, station Theneit el Had

La figure III.4 présente la correction des pluies sur la station de Theneit el Had , la figure montre que la différence entre les pluies simulées corrigées par les deux méthodes et pluies observées n'est pas importante. La comparaison entre les deux méthodes de correction sur cette station indique que la méthode basic-quantile la moins biaisée par rapport aux la méthode de gamma quantile a l'échelle saisonnière et annuelle et pour les deux modèles CNRM ET MPI.

CHAPITRE III : Résultats et discussions



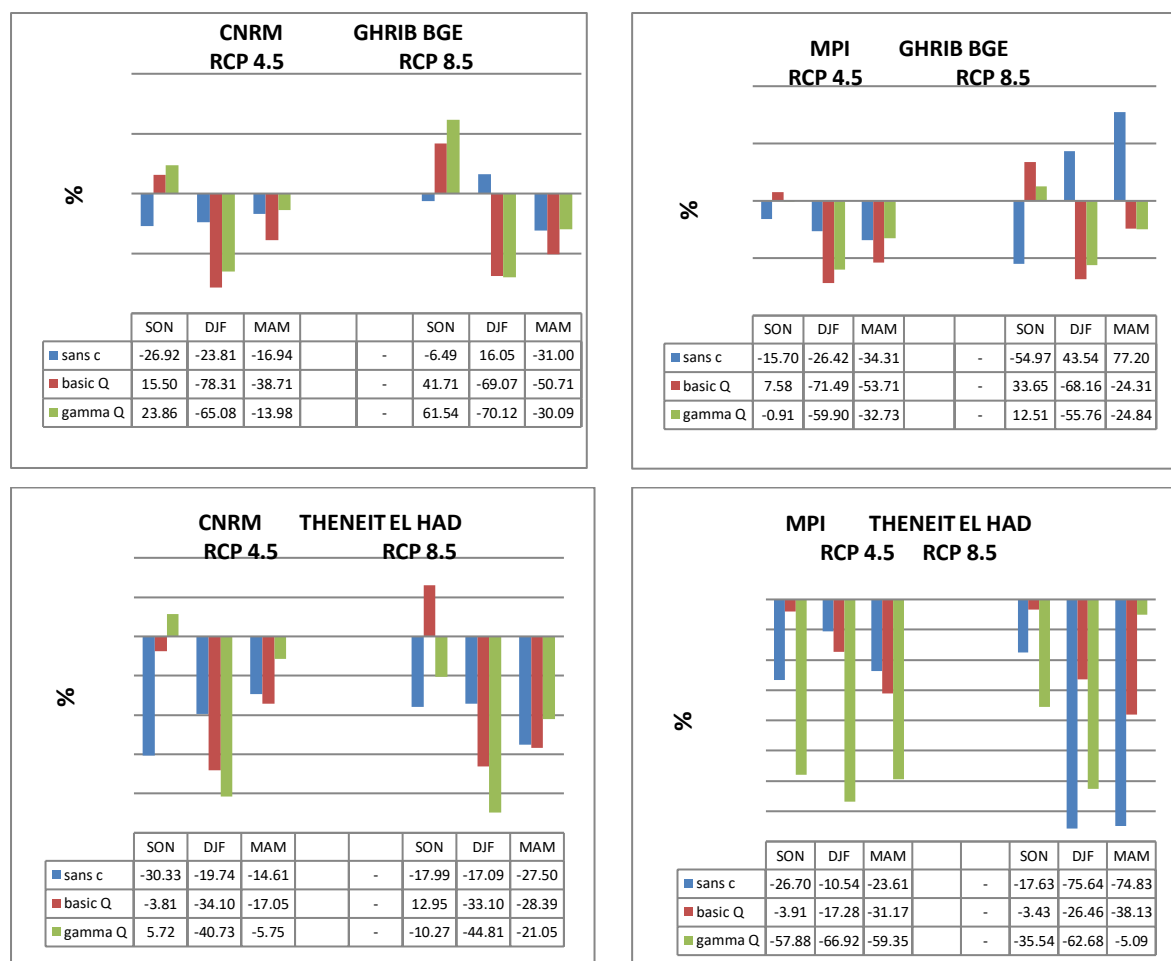


Figure III.5 : comparaison entre les précipitations brutes et précipitation futures corrigées (2046-2070) par rapport aux observations après correction de biais par méthodes basic quantile et gamma mapping.

La comparaison entre les données sans correction et celles simulées corrigées montrent que le pourcentage des précipitations pour la période humide (octobre-mai) au horizon (2046-2070) pour les deux scénarios et les deux modèles une baisse de précipitation dans l'ensemble des stations de cas d'étude.

En automne, Le modèle CNRM simule une augmentation des pluies corrigées par la méthode basic quantile pour les deux scénarios oscillent entre 6% et 62%, par contre la station AIN DEFLA indique une baisse des précipitations corrigées par même méthode entre 11% et 28% pour les deux scénarios.

Les précipitations corrigées par la méthode basic quantile indiquent aussi une augmentation dans la majorité des stations et pour les deux scénarios comprise 2% et 46%.

Le modèle MPI montre une augmentation des précipitations dans la majorité des stations corrigées par les deux méthodes comprises entre 6% et 31%, la station de Theneit el had

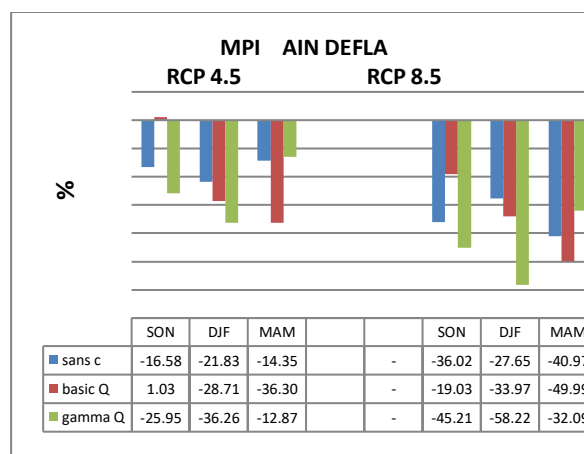
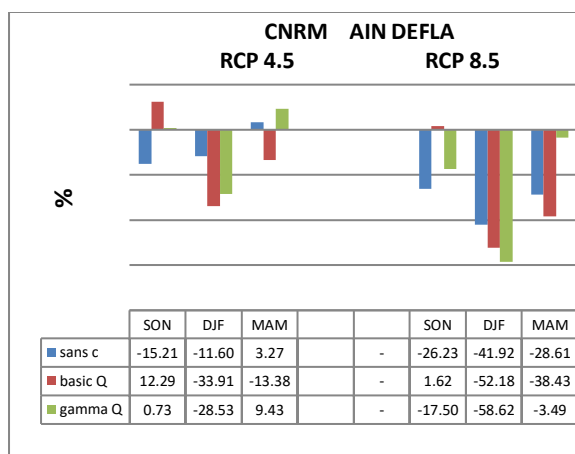
indique une baisse des pluies significatives atteint 58% corrigées par gamma mapping comparant avec la méthode de basic quantile une baisse faible.

En hiver, le modèle CNRM, sur cette saison hivernale une baisse très forte des précipitations dans toutes les stations, cette baisse des pluies corrigées par gamma mapping comprise entre 18% sur la station Touaibia et 70% sur la station Ghrib bge, et celles corrigées par la méthode basic quantile comprise entre 33% et 78% enregistré sur la station Ghrib bge.

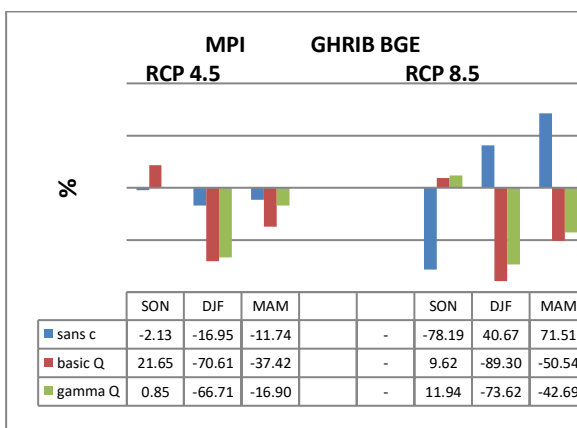
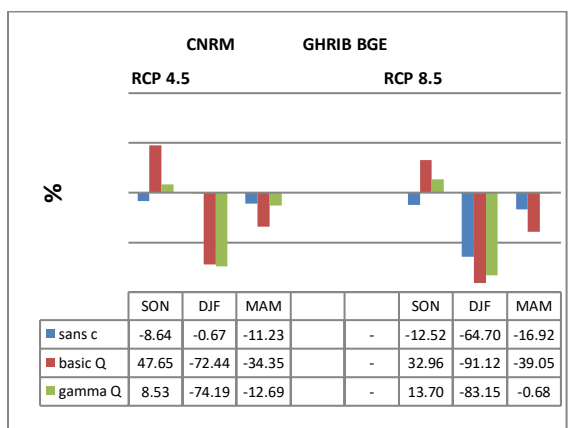
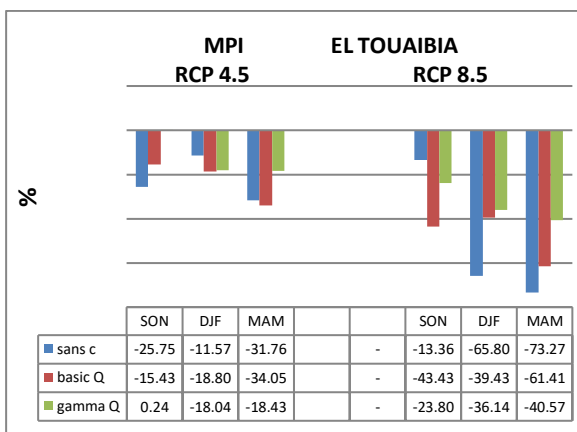
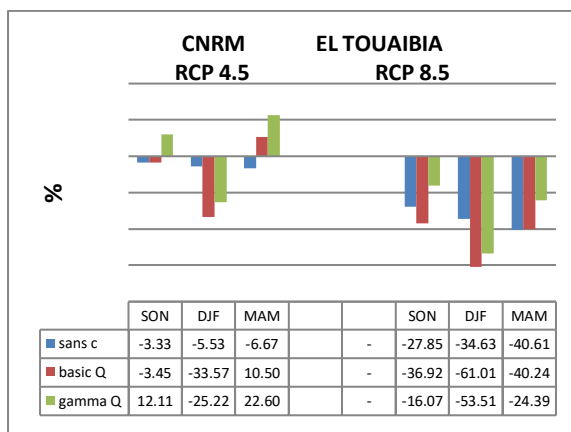
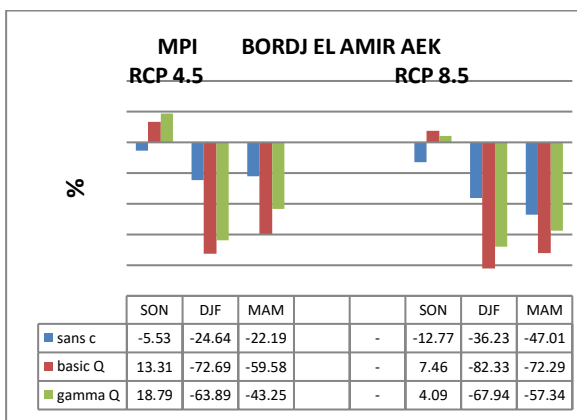
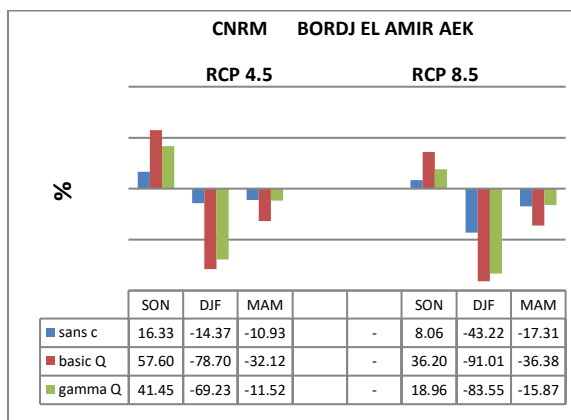
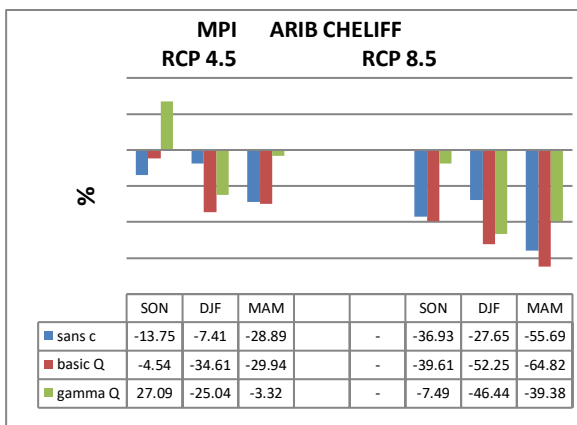
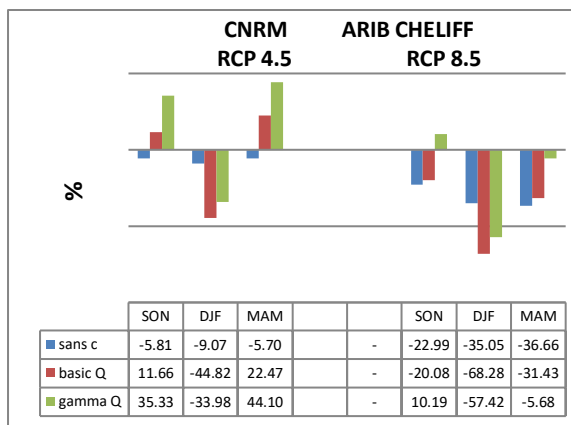
Le modèle MPI indique aussi une baisse des pluies remarquable qui varie entre 15% et 67% pour les deux scénarios corrigées par gamma mapping , la plus forte baisse enregistrée sur la station Theneit el had. Les précipitations corrigées par basic quantile indiquent aussi une baisse la moins significative de 81% sur la station Bordj el amir .

Au printemps, les résultats présente une réduction des précipitations selon le modèle CNRM varie entre 4% et 51% pour méthode basic quantile, et entre 2% et 30% pour a méthode gamma mapping ,sauf les stations Arib Chellif et Touaibia indiquent une augmentation des pluies respectivement 8% et 37%.le modèle MPI les deux scénarios montrent une réduction des précipitations de 24% et 65% corrigées par basic quantile et pour la méthode gamma mapping les valeurs varient entre 5% et 59% simulées sur la station Theneit el had.

D'après la figure III.5 Le coefficient d'échange estimé entre les pluies sans correction et pluies simulées corrigées par les deux modèles, la majorité des stations dans le cadre de ce travail indique que les simulations futures corrigées par la méthode de gamma mapping sont les moins biaisées, sauf deux stations qui s'accordent avec la correction basic quantile.



CHAPITRE III : Résultats et discussions



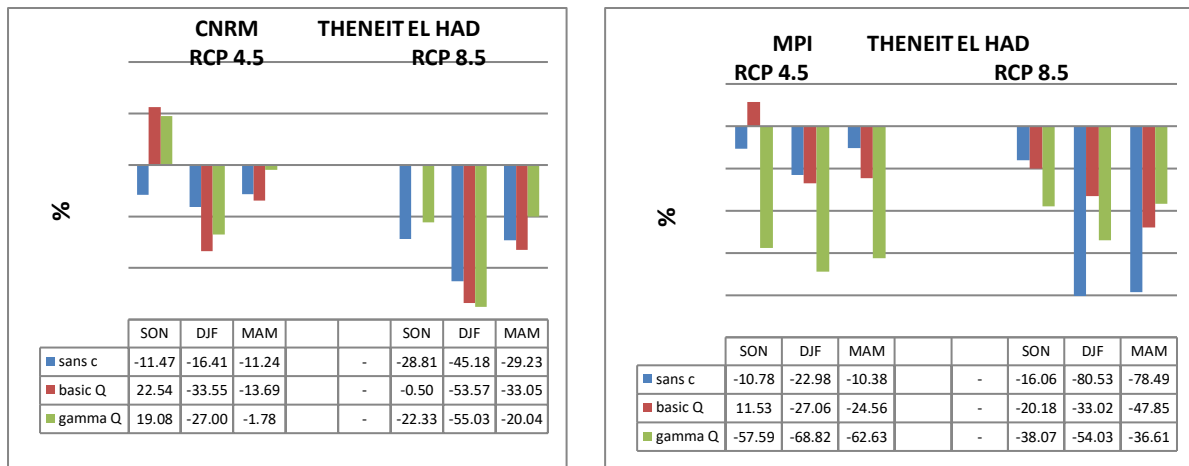


Figure III.6 : comparaison entre les précipitations brutes et précipitation futures corrigées (2076-2100) par rapport aux observations après correction de biais par méthodes basic quantile et gamma mapping

Concernant le modèle CNRM A l'horizon lointain (2076-2100), résultats associés aux deux scénarios ne semblent pas montrer un changement de précipitation marqué par rapport au horizon proche, les pluies de la période humide suivent même tendance pour le scénario RCP 4.5, pour les scénarios RCP 8.5 le pourcentage de précipitation encore augmente dans toutes les stations surtout dans la période d'hiver (DJF) indique une baisse de l'ordre de 91%, les stations de Ghrib bge et bordj el Amir marquent une baisse à l'ordre de 91% selon la méthode de correction basic quantile et pour gamma mapping la baisse comprise entre 1% et 83% .

Selon Le modèle MPI, les précipitations corrigées par les deux méthodes suivent même variation pour le scénario RCP 4.5 mais on remarque que selon le scénario RCP 8.5 encore une baisse de précipitation comprise entre 5% et 89% pour la méthode basic quantile et varie entre 0% et 68% pour la méthode gamma mapping .

Conclusion

Cette partie donne une estimation des projections climatiques des précipitations dans le bassin du haut Cheliff, les résultats issus des modèles climatiques régionaux CNRM et MPI mettent en évidence :

Les deux modèles CNRM et MPI sous estimes les pluies dans la période humide pour certains facteurs liés aux incertitudes des MRC sont : le bassin éloigné de la mer (20 à 70km), isolé des l'influence maritimes, le point de grille de modèle n'est pas proche à la station d'étude. Ca indique la mal performance de deux modèles.

Les deux modèles CNRM et MPI montre des biais important au cours du période de référence qui nécessite une correction des sortie des modèles.

En général, on note un changement remarquable, la baisse des pluies qui va toucher le bassin de haut Cheliff est significative par rapport aux observations selon les deux modèles et les deux scénarios surtout la période (DJF), le calcul de coefficient d'échange dans chaque station indique que la méthode de correction gamma mapping reste la moins biaisée dans 4 stations par contre les 2 autres stations indiquent que la méthode basic quantile la moins biaisée



CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Dans les régions arides à semi-arides, la pluviométrie constitue un des facteurs déterminant de la caractérisation climatique. C'est pour cette raison que l'étude de la variabilité du climat est nécessaire pour une meilleure gestion des ressources en eau.

Ce travail a pour but d'évaluer les sorties de deux modèles climatiques régionaux du programme AFRICA-CORDEX quant à la simulation des précipitations du bassin du haut Cheliff afin d'analyser leur évolution future aux horizons proche (2046-2070) et lointain (2076-2100) sous les deux scénarios d'émissions RCP 4.5 et RCP 8.5.

L'évaluation des précipitations simulées pour 6 stations représentatives du bassin du haut Cheliff au cours de la période de contrôle indique un biais important entre les pluies simulées et observées, à cet effet la correction de ces biais est nécessaire.

Les résultats présentés par les deux modèles de correction basic-quantile et gamma-mapping indiquent des biais différents pour l'ensemble des stations et pour les deux modèles CNRM et MPI.

Les précipitations moyennes annuelles et saisonnières ont une tendance à la baisse dans l'ensemble des stations étudiées, cette baisse provoque une baisse des ressources en eau dans des nombreuses zone de la région. Selon le RCP 8.5, les pluies hivernales risquent de diminuer encore au futur de 26% à 65% à l'échelle de la zone d'étude. Les conséquences d'un tel déficit peuvent endommager l'équilibre environnemental et affecter par conséquent diverses activités humaines liées à l'utilisation des ressources en eau. Le déficit pluviométrique va engendrer systématiquement une diminution des ruissellements de surface. Les flux trop faibles ne permettent pas de remplir suffisamment les cinq barrages en exploitation existants dans le bassin du Cheliff ainsi que la recharge des nappes.

Aussi, l'apparition des crues en automne associée à la fragilité du couvert végétal va engendrer une forte érosion et réduire à cet effet la capacité de stockage des barrages. Le taux de sédimentation des barrages du bassin du Cheliff est le plus élevé de toutes les régions de l'Algérie (Remini, 2006; Meguenni et Remini, 2008).

A l'horizon 2050 Selon (Elmeddahi, 2016), sur le bassin du Cheliff les potentialités en eau souterraine diminueront à 14,4 % par rapport à la période de référence 1961-1990 particulièrement aux bassins du moyen et haut Cheliff avec une réduction de 9.18 %.

Conclusion générale

Cette raréfaction hydrique se conjuguera vraisemblablement avec une croissance des besoins de plus en plus forte. Le secteur agricole sera toujours le plus durement affecté vu que des parts importantes des ressources hydriques lui sont consacrées. Selon Touhari (2014) la région compte un grand périmètre d'irrigation en 2002 la superficie irrigable (16000 ha) par rapport à la surface équipée (21035 ha) du à l'état du réseau très dégradé et en raison du manque d'eau d'irrigation disponible.

Le haut Cheliff est caractérisé par des ressources limitées en eau de surface malgré son potentiel hydrique et son emplacement dans le plus grand bassin de collecte du nord de l'Algérie. Cependant, Les ressources souterraines sont menacées par le risque de surexploitation. Suite à la mise en œuvre du plan national de développement agricole, les eaux souterraines ont été exploitées excessivement par certains agriculteurs à travers le creusement aléatoire de puits, de manière chaotique et illégale, et non en conformité avec les normes de forage de puits (Aberkane et Benzahra,2018).

En raison des changements climatiques et de la sécheresse qui en découle, nous serons confrontés à l'obsession de la pénurie d'eau au futur nous devons ajouter de l'eau dessalé et épuré pour combler le vide ou compenser la pénurie d'eau.



REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

Les références bibliographiques

- **Aberkane C. et Benzahra R.,2018.** Evaluation des ressources en eau et en sol du bassin Haut Cheliff , Master ,université Djelali Bounaama Khemis meliana .
- **Amiar S., Bouanani A., Baba-Hamed K.et Belarbi H.,2020.** Variabilité pluviométrique dans le bassin versant du Haut et Moyen Cheliff. Revue des Sciences de l'Eau/Journal of Water Science, 32(4), 337-347.
- **Bakreti A., Braud I., Leblois .E et Benali A ., 2013.** Analyse conjointe des régimes pluviométriques et hydrologiques dans le bassin de la Tafna, Algérie Occidentale. Hydrol. Sci. J., 58, 133-151.
- **Bates B., Kundzewicz Z W, S. Wu .et Palutikof J., 2008.** Le changement climatique et l'eau, document technique publié par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Secrétariat du GIEC, Genève, 236 p.
- **Benjamin L., 2005.** Cycles de Milankovitch et variations climatiques : dernières nouvelles
- **Béthoux Jp Et Gentili ,B., 1996.**The Mediterranean Sea, coastal and deep-sea signatures of climatic and environmental changes.
- **Boe J. ,2007.** Changement global et cycle hydrologique: Une étude de régionalisation sur la France (Doctoral dissertation, Université Paul Sabatier-Toulouse III).
- **Boucherf D., 2012.** Variabilité et changement climatique en Algérie. Actes du Centre de recherche scientifique et technique sur les régions arides de Biskra, Algérie, pp. 113-126.
- **Charron I., 2014.** Guide sur les scénarios climatiques: utilisation de l'information climatique pour guider la recherche et la prise de décision en matière d'adaptation.
- **Chen J., Li C., Brissette F. P., Chen H., Wang M. et Essou G. R., 2017.** Correction de biais des sorties de mode les climatiques: doit-on tenir compte des corrélations inter-variable?.
- **Chourghal N., 2016.**impact de changement climatique sur la culture du blé dur en Algérie, thèse doctorat, Ecole nationale supérieure agronomique Alger.
- **Déqué M. Et Al., 2007.** Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: model results and statistical correction according to observed values. Global and Planetary Change. 57 : 16-26.
- **Déqué M. et Piedelievre J.P ., 1995.** High resolution climate simulation over Europe. Climate Dynamics, 11, 321-339.

- **Djelouli R., 2008.** Etudes des changements du climat de l'Algérie et ses variations dans la région de Sidi Bel Abbès, mémoire magister, université Djelali Liabes.
- **El Mahi A., Bouregba N. et Meddi M., 2011.** Contribution à l'étude du changement climatique du bassin versant de l'Oued el Hammam (nord ouest d'Algérie).
- **Elmeddahi Y. 2016.** Les changements climatiques et leurs impacts sur les ressources en eau, cas du bassin du Cheliff (Doctoral dissertation, ISSAADI Abderrahmane).
- **Farah A., 2014.** Changement climatique ou variabilité climatique dans l'est Algérien, mémoire magister, université Constantine 1, 18p.
- **GIEC., 2007.** Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
- Giorgi F, Lionello P (2008) Climate change projections for the Mediterranean region. *Global Planet Change* 63(2-1):90–104. doi:10.1016/j.gloplacha.2007.09.005
- Giorgi, F., Jones, C., & Asrar, G. R. (2009). L'expérience CORDEX: répondre aux besoins d'information climatologique à l'échelle régionale. *Bulletin de l'OMM*, 58(3), 175.
- **Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Groupe de travail I), 2013.** Changement climatique 2013 Les éléments scientifiques. In GIEC, ed. Cinquième rapport d'évaluation du changement climatique. pp. 1–222.
- **Guesnerie R., 2002.** Kyoto et l'économie de l'effet de serre. La documentation française.
- **Hakala K., Addor N., Teuschbein C. and Vis M., 2020.** Hydrological Modeling of Climate Change Impacts
- **IPCC., 2007.** Climate change 2007 the physical science basis, Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York
- **Juvanon, D. V. R., 2019.** Changement climatique-panorama international. Le changement climatique, la variabilité et les risques climatiques, 21.
- **Kettab A., D. Ait Mouhoub, Ouarda T. Et Bobee B., 2004.** Contribution à l'étude du phénomène de la sécheresse sur les régions littorales de l'Algérie. École Nationale Polytechnique Alger, Algérie, 12p.

- **Ladjal R., 2013.** Problématique de la mobilisation et de la préservation des ressources hydriques dans le Sersou (Bassin Cheliff amont Boughzoul), Mémoire magistère, université Tlemcen.
- **Leo G. , 2015.** Impact du changement climatique sur les rendements du mil et de l'arachide au Sénégal, mémoire fin d'étude, 18p.
- **Meddi. H. et Meddi.M., 2007 .** Variabilité spatiale et temporelle des précipitations du nord-ouest de l'Algérie. Geographia Technica, no.2 : 49-55.
- **Meguenni K. et Remini B., 2008.** evaluation du debit solide dans le bassin versant de harreza (algerie)
- **PRIGNON M., 2016.** Incertitudes sur les données climatiques en Afrique: inter-comparaison de divers jeux de données, mémoire master
- **Salas Y., Dufresne J. et melia D.** 5 les scénarios climatiques futurs, le climat a découvert, paris.
- **Taibi S., 2020.** Management intégré des ressources en eau (MIRE), cours Master 2, université Blida 1.
- **Trenberth K. E., Jones P. D., Ambenje P., Bojariu R., Easterling D., Kleintank A. and Zhai P., 2007.** Observations. Surface and Atmospheric Climate Change. Chapter 3.
- **UNFCCC ., 1992.** United Nations Framework Convention On Climate Change.
- **Vanvuuren D.P., 2011.** The representative concentration pathways: An overview. Climatic Change, 109(1), pp.5–31.
- **Yebdri D., 2006.** Contribution à la gestion des ressources en eau superficielle du bassin versant de la Tafna (Doctorat d'état). Université des sciences et de la technologie d'Oran "Mohamed Boudiaf," Oran, Algérie