

RÉPUBLIQUE DU NIGER  
MINISTÈRE DES TRANSPORTS  
CELLULE DE COORDINATION DES PROJETS PDIPC ET  
PROMOVARE

---

# ÉVALUATION DE LA PERFORMANCE DES MODÈLES CLIMATIQUES SUR LE NIGER

*Évaluation des Modèles Climatiques sur le Niger*

Méthodologie et Principaux Résultats

---

O. Seidou

3 septembre 2017





# Table des matières

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>LA MODÉLISATION DU CLIMAT</b>	<b>13</b>
2.1	La modélisation climatique . . . . .	13
2.1.1	Modèles globaux . . . . .	14
2.1.2	Modèles Régionaux . . . . .	14
2.2	Mise à l'échelle statistique/correction de biais . . . . .	16
<b>3</b>	<b>PRINCIPES D'ÉVALUATION DES MODÈLES CLIMATIQUES</b>	<b>17</b>
3.1	Principes . . . . .	17
3.2	Méthodologie proposée . . . . .	19
3.2.1	Découpage géographique . . . . .	19
3.2.2	Méthodes d'analyse . . . . .	20
3.2.3	Visualisation de la performance relative des modèles avec un code couleur . . . . .	22
3.2.4	Classification des modèles . . . . .	22
3.3	Données disponibles . . . . .	23
3.3.1	Données d'observation . . . . .	23
3.3.2	Sorties de modèles régionaux de climat . . . . .	24
3.3.3	Sorties de modèles globaux . . . . .	28
<b>4</b>	<b>CLASSIFICATION DES MODÈLES CLIMATIQUES</b>	<b>33</b>
4.1	Classification des modèles selon leur performance à simuler la précipitation	33

## Table des matières

4.2	Classification des modèles selon leur performance à simuler la température maximale . . . . .	34
4.3	Classification des modèles selon leur performance à simuler la température minimale . . . . .	36
4.4	Classification des modèles selon leur performance à simuler l'humidité relative . . . . .	37
4.5	Classification des modèles selon leur performance à simuler la vitesse du vent . . . . .	37
<b>5</b>	<b>Projections de précipitation et de température sur les départements</b>	<b>39</b>
5.1	Répartition spatiale des changements . . . . .	39
5.1.1	Précipitation . . . . .	39
5.1.2	Température maximale . . . . .	42
5.1.3	Température minimale . . . . .	44
5.2	Projections par période . . . . .	46
5.2.1	Période 2026-2050 . . . . .	46
5.2.2	Période 2051-2075 . . . . .	50
5.2.3	Période 2076-2100 . . . . .	52
<b>6</b>	<b>OUTILS INFORMATIQUES ET BASE DE DONNÉES DE PROJECTIONS SUR LES DÉPARTEMENTS</b>	<b>57</b>
6.1	Outils Informatiques . . . . .	57
6.2	Base de données de projections climatiques . . . . .	58
<b>7</b>	<b>RÉCAPITULATIF DES RÉSULTATS</b>	<b>61</b>

# Liste des tableaux

3.1	Données d'observations disponibles aux stations synoptiques du Niger . . .	25
3.2	Précipitations estimées par satellite ou combinaison d'estimation par satellites et d'observations disponibles . . . . .	26
3.3	Variables WFDEI disponibles . . . . .	27
3.4	Modèles régionaux de climat disponibles - partie I . . . . .	29
3.5	Modèles régionaux de climat disponibles - partie II . . . . .	30
3.6	Sorties de modèles globaux disponibles (partie I) . . . . .	31
3.7	Sorties de modèles globaux disponibles (partie II) . . . . .	32
5.1	Projections de précipitations pour la période 2026-2050 . . . . .	47
5.2	Projections de précipitations pour la période 2026-2050 . . . . .	48
5.3	Projections de précipitations pour la période 2026-2050 . . . . .	49
5.4	Projections de précipitations pour la période 2051-2075 . . . . .	50
5.5	Projections de précipitations pour la période 2051-2075 . . . . .	51
5.6	Projections de précipitations pour la période 2051-2075 . . . . .	52
5.7	Projections de précipitations pour la période 2076-2100 . . . . .	53
5.8	Projections de précipitations pour la période 2076-2100 . . . . .	54
5.9	Projections de précipitations pour la période 2076-2100 . . . . .	55



# Table des figures

2.1	Evolution de la résolution des modèles climatiques globaux au cours du temps : avant le premier rapport d'évaluation du GIEC FAR pour First Assessment Report dans les années 1990 (500km) ; SAR pour Second Assessment Report dans les années 1995 (250km), TAR pour Third Assessment Report fin 2001 (180km), AR4 pour le Fourth Assessment Report en 2007 (110km). . . . .	15
3.1	Bandes de latitudes sur lesquelles les modèles climatiques seront évalués .	19
3.2	Exemple de diagramme de Hovmöller . . . . .	21
3.3	Exemple de code couleur . . . . .	23
5.1	Projection médiane de précipitation sur le Niger (10 meilleurs RCMs) . . .	40
5.2	Hausse maximale de précipitation sur le Niger aux horizons (10 meilleurs RCMs) . . . . .	41
5.3	Baisse maximale de précipitation sur le Niger aux horizons (10 meilleurs RCMs) . . . . .	41
5.4	Projection médiane des températures maximales journalières sur le Niger (tous les RCMs) . . . . .	42
5.5	Hausse minimale des températures maximales journalières sur le Niger aux horizons (tous les RCMs) . . . . .	43
5.6	Hausse minimale des températures maximales journalières sur le Niger aux horizons (tous les RCMs) . . . . .	43

*Table des figures*

5.7	Projection médiane des températures maximales journalières sur le Niger (tous les RCMs) . . . . .	44
5.8	Hausse minimale des températures maximales journalières sur le Niger aux horizons (tous les RCMs) . . . . .	45
5.9	Hausse minimale des températures maximales journalières sur le Niger aux horizons (tous les RCMs) . . . . .	45
6.1	Interface du logiciel . . . . .	58
6.2	Calcul du biais dans le logiciel . . . . .	60
6.3	Diagramme Hövmoller . . . . .	60



# 1 INTRODUCTION

Le Niger est un pays du Sahel, d'une superficie de 1 267 000  $km^2$ , situé entre la longitude  $0^{\circ}16'$  et  $16^{\circ}$  Est, et la latitude  $11^{\circ}1'$  et  $23^{\circ}17'$  Nord. Le climat du pays est généralement aride avec des cumuls annuels allant d'environ 1200mm/an au sud à seulement une centaine de mm par an au nord. La répartition spatiale et temporelle de précipitation est très variable ; étant donné que les principales activités pour la vaste majorité de la population sont l'agriculture pluviale et l'élevage, cette variabilité se traduit par une pauvreté généralisée et une insécurité alimentaire chronique. Au cours des quarante dernières années, le pays a connu sept épisodes de sécheresse dont les conséquences sur les productions agropastorales, la sécurité alimentaire et la vie socioéconomique ont été sévères. De nombreux autres secteurs de l'économie sont également touchés de façon directe ou indirecte par la variabilité climatique : les inondations d'origine fluviale et pluviale sont très communes, ainsi que les infestations de parasites dont les activités sont contrôlées par le climat (sauterelles, moustiques, etc.). Conscientes de l'extrême vulnérabilité de l'économie du Niger face aux chocs climatiques, les autorités de la république du Niger ont élaboré un Programme Stratégique pour la Résilience Climatique (PSRC) dont l'objectif est de permettre l'élaboration de stratégies d'adaptation appropriées pour les différentes communes et localités du pays. Le Projet de Développement de l'Information et de la Prospective Climatiques (PDIPC) est un des quatre du PSRC et vise à améliorer la résilience des populations aux changements climatiques par une meilleure intégration des informations climatiques dans la planification et la mise en oeuvre des actions de développement. Les principales réalisations attendues du projet sont : (i) le développement et la diffusion de scénarios et produits climatiques aux usagers finaux, (ii) le renforcement

## 1 INTRODUCTION

des capacités pour l'intégration des produits climatiques dans les actions de développement, (iii) l'élaboration d'une carte de vulnérabilité des activités agro-pastorales des communes du Niger, et (iv) le renforcement du système d'alerte précoce SAP pour le rendre à multirisques climatiques.

Le présent rapport porte sur la composante 2 (appui à la recherche en modélisation et évaluation de vulnérabilité). Le PDIPC a retenu les services du consultant pour réaliser une étude intitulée *Identification des Modèles Climatiques Régionaux les Plus Performants et le Downscaling Statistico-Dynamique des Modèles Globaux les plus Performants pour le Niger*. Les deux parties ont convenu que l'étude se déroulera en 7 phases distinctes :

1. L'acquisition et l'analyse (comparaison avec les observations) de toutes les sorties (pluie, vent, températures min/max, humidité) de modèles climatiques globaux de l'expérience CMIP5 , et des régionaux de l'expérience CORDEX disponibles sur le Niger jusqu'à l'horizon 2100, et pour les scénarios RCP (Representative Concentration Pathways : van Vuuren, Edmonds, Kainuma, Riahi, Thomson, Hibbard, Hurtt, Kram, Krey, Lamarque, Masui, Meinshausen, Nakicenovic, Smith, and Rose (van Vuuren et al.)) sélectionnés en concertation avec la Cellule de Coordination des Projets PDIPC et PROMOVARE ;
2. Le développement d'un outil informatique permettant l'automatisation de la vérification de n'importe quel modèle régional CORDEX ou modèle global CMIP5 au niveau d'une station spécifique pour les variables listées plus haut ;
3. Le développement d'un outil informatique facile à utiliser pour la mise à l'échelle statistico-dynamique des sorties de modèles climatiques globaux et régionaux. La mise à l'échelle statistique utilisera une combinaison de transformation Quantile-Quantile et une recherche du Voisin le Plus Proche, telle que développée dans les travaux de recherche du consultant.
4. L'animation d'un atelier de formation sur la vérification des sorties de modèles climatiques. L'atelier comportera un volet théorique et pratique en vue de la prise en main de l'outil informatique spécifiquement développé à cet effet par les participants ; Les données du Niger (sorties de modèles et observations) seront pré-

installées dans l'outil pour en faciliter la prise en main.

5. La production d'un rapport technique détaillant la vérification de la performance des modèles des expériences CMIP5 et CORDEX avant et après la mise à l'échelle statistico-dynamique ;
6. La génération de scénario de changements climatiques pour les dix meilleurs modèles (tels que déterminés au point 5) pour les variables listées ci-dessus, et pour des horizons allant de 2025 à 2100

Le présent document décrit de façon condensée la méthodologie et les principaux résultats de l'étude. Trois rapports techniques plus détaillés avec l'intégralité des résultats seront fournis lors de l'atelier de validation prévu du 4 au 7 septembre 2017, avec les outils informatiques et la base de données de projections climatiques sur 40 stations climatiques.



## 2 LA MODÉLISATION DU CLIMAT

### 2.1 La modélisation climatique

La compréhension du système climatique, les interactions et rétroactions entre ses différentes composantes (atmosphère, biosphère, cryosphère, océans et surface continentale), le CC d'origine anthropique et ses conséquences sur les sociétés et l'environnement présentent un grand intérêt pour les scientifiques et restent un défi environnemental et scientifique majeur. Pour simuler le climat et comprendre le CC, les modèles de circulation générale couplés atmosphère-océan (MCGAO) constituent les meilleurs outils (Giorgi, 2008). Un modèle climatique est une représentation numérique du système climatique basée sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques de ses composantes, leurs interactions et rétroactions. Ces représentations tiennent compte des propriétés actuelles connues du système climatique (Murray and Ebi, 2012). Les modèles sont établis sous forme d'équations mathématiques qui sont résolues dans des grilles tridimensionnelles représentant les résolutions verticale et horizontale. La résolution des modèles est limitée par la capacité et les performances des moyens de calculs. Tout modèle de climat est composé de deux parties principales : une *partie dynamique* qui décrit les équations de la circulation générale de l'atmosphère et une *partie physique* qui est introduite dans les modèles sous forme de paramétrisations physiques. Selon leur résolution, il existe principalement deux grands groupes de modèles climatiques : les *modèles globaux* (MCGA<sup>1</sup>, MCGAO) et les *modèles régionaux*.

---

1. Modèle de Circulation Générale Atmosphérique

### 2.1.1 Modèles globaux

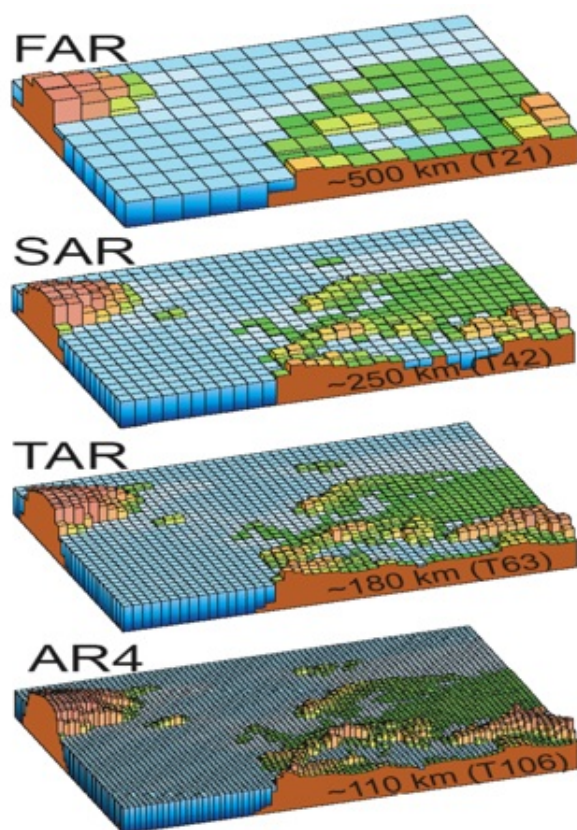
Un modèle de circulation générale (MCG) fonctionne avec des paramétrisations aptes à simuler les principales caractéristiques de la distribution et de l'évolution du climat à très long terme. Cela permettrait de voir la réponse de l'atmosphère à certains forçages ou à des modifications d'origine anthropique. Ils ont une faible résolution horizontale ( $> 100km$ ) et simulent le climat à l'échelle du globe. Au fil des années l'amélioration des MCG a permis d'augmenter leurs résolutions horizontales (figure 2.1). La prise en compte d'autres processus physiques rend de plus en plus complexes les MCG d'une part et améliore leur performance d'autre part. Les modèles de circulation générale couplés atmosphère-océan (MCGAO) fournissent une représentation d'ensemble du système climatique et constituent des outils de recherche pour l'étude et la simulation du climat.

La résolution "grossière" des MCG ne permet pas de cerner tous les aspects du climat et du CC à l'échelle régionale (topographie complexe, contraste terre-mer etc...). Elle ne permet pas aussi de réaliser des études d'impacts au niveau régional et local alors que cette information est cruciale pour les décideurs et la population. Ainsi, l'idée de développer des modèles à aire limitée c'est-à-dire des modèles régionaux de climat (MRC) [M] MRC Modèles Régionaux de Climat fut proposée pour la première fois par Dickinson et al. (1989) et Giorgi (1990).

### 2.1.2 Modèles Régionaux

Les besoins de comprendre le climat et les changements climatiques ainsi que leur impact à l'échelle régionale ont motivé le développement des modèles régionaux de climat MRC. La description des processus physiques dans les MRCs est assez détaillée et va permettre de mieux prendre en compte la topographie complexe, le contraste terre-mer, l'utilisation des sols et générer des informations climatiques régionales plus réalistes (Wang, 2004). Les MRCs sont utilisés principalement comme des outils de descente d'échelle dynamique (ou dynamical downscaling) mais aussi pour la prévision saisonnière (Wang (2004)). Ils utilisent des conditions aux limites latérales des sorties des MCGs ou des données de ré-analyse. Des études ont montré que la descente d'échelle dynamique ef-

FIGURE 2.1 – Evolution de la résolution des modèles climatiques globaux au cours du temps : avant le premier rapport d'évaluation du GIEC FAR pour First Assessment Report dans les années 1990 (500km) ; SAR pour Second Assessment Report dans les années 1995 (250km), TAR pour Third Assessment Report fin 2001 (180km), AR4 pour le Fourth Assessment Report en 2007 (110km).



fectuée avec des MRCs donnent des simulations plus réalistes des précipitations des zones orographiques (Sylla et al., 2012) et des évènements climatiques extrêmes (Wang et al. 2003). Les RMCs sont aussi utilisés pour la compréhension des processus climatiques comme les interactions terre-atmosphère (Abiodun et al., 2008, 2012, 2013), interactions aérosols-climat (Solmon et al., 2008). Ces avantages qu'offrent les MRCs ont favorisé leur développement et utilisations. Actuellement on dénombre plusieurs modèles régionaux de climat à travers le monde. De manière générale les modèles diffèrent aux niveaux des paramétrisations physiques de certains phénomènes comme la convection, de la prise en compte de l'approximation hydrostatique ou non mais aussi dans les méthodes de résolution des équations de la dynamique (différences finies, éléments finis etc.).

### 2.2 Mise à l'échelle statistique/correction de biais

Quel que soit leur niveau de sophistication, 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 un traitement statistique qui va réduire la distorsion entre les observations et les simulations. Ces traitement statistiques sont appelés *techniques de mise à l'échelle statistique* lorsque la résolution spatiale des données originales est plus petite que la résolution finale des données corrigées, et *correction de biais* lorsque la résolution des données originales et corrigées reste la même. D'un point de vue mathématique, les techniques sont les mêmes et consistent à établir une relation empirique entre les valeurs simulées sur une grille du modèle et des observations sur le terrain.



# 3 PRINCIPES D'ÉVALUATION DES MODÈLES CLIMATIQUES

## 3.1 Principes

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. Étant donné la très grande quantité de processus qui contrôlent le climat, il est impossible de les évaluer tous. Le modélisateur choisit un certain nombre de caractéristiques qu'il juge important pour le climat de la région (e.g. le cycle de la précipitation au Sahel), choisit un jeu de données qui représente les observations (e.g. pluies mesurées aux stations climatiques, pluies extraites des réanalyses, estimations quantitatives de pluie obtenues par télédétection), choisit une métrique (e.g. erreur moyenne sur une sur le cumul de précipitations) et la calcule sur l'ensemble des modèles en cours d'évaluation. La métrique permet de classer la performance des modèles pour cet aspect particulier du climat. Bien entendu, il est commun de constater que le même modèle performe bien sur une variable et moins bien sur une autre variable. Les aspects les plus souvent examinés sont les suivants :

**Réalisme des processus physiques tels qu'évalués par le modèle** : on examine ici la représentation des processus individuels et de leurs interactions (e.g. le cycle saisonnier et la force de la mousson et des courant-jets d'est, le cycle de la pluie et des orages au Sahel, et l'interaction entre la précipitation au sol et les courant-jets)

### 3 PRINCIPES D'ÉVALUATION DES MODÈLES CLIMATIQUES

**Reproduction de la climatologie** : On vérifie si la distribution géographique moyenne des variables géophysiques concorde avec les observations (cartes de pluie, vents, température, etc.)

**Reproduction des modes de variabilités et phénomènes climatiques** : les oscillations naturelles de la température de la mer, les ondes tropicales et les moussons sont-elles bien reproduites ?

**Réalisme de la réponse du climat à des perturbations naturelles** : le modèle simule-t-il correctement la réponse du climat aux éruptions volcaniques et aux variations de l'orbite terrestre ?

La capacité des modèles globaux de l'expérience CMIP5 à reproduire le climat à grande échelle a été examinée par le GIEC (Flato et al., 2013) qui a conclu que les températures moyennes et certains aspects de la circulation atmosphérique étaient bien simulés, mais que des biais subsistent dans les simulations du champ de précipitations et la fréquence des pluies de faible intensité. D'autres auteurs comme Akinsanola et al. (2017) et Kim et al. (2014) ont examiné la performance des modèles régionaux de l'expérience CORDEX sur l'Afrique de l'Ouest et le Sahel. Akinsanola et al. (2017) a étudié les sorties du même modèle régional (RC4) piloté par 9 modèles globaux et a trouvé de grandes différences dans la simulation du cumul annuel des précipitations sur le Sahel. Il a également trouvé que la performance était meilleure à grande échelle qu'à petite échelle. Kim et al. (2014) a étudié les simulations de précipitations mensuelles et de températures moyennes, minimales et maximales par 10 modèles régionaux de l'expérience CORDEX sur la fenêtre Sahel. Il a trouvé que les modèles simulent raisonnablement bien la climatologie moyenne de ces paramètres, mais que des biais systématiques sont présents dans certaines régions. Toutes ces études suggèrent que les résultats des études de performance réalisées à l'échelle régionale (Sahel ou Afrique de l'Ouest) ne sont pas forcément valides à l'échelle locale, d'où la nécessité d'une analyse plus ciblée de la performance des modèles climatiques sur le Niger. Dans cette étude, étant donné le caractère vital de la pluie au Niger, on s'intéressera principalement au réalisme de la reproduction des phénomènes liés aux précipitations (intensité, répartition spatio-temporelle, début et fin de la saison des

pluie); On examinera aussi la reproduction de la climatologie pour les températures minimales et maximales, de la vitesse du vent et de l'humidité de l'air.

## 3.2 Méthodologie proposée

### 3.2.1 Découpage géographique

Étant donné que la performance des modèles varie selon le lieu, la performance de chaque modèle sera évalué sur différentes zones géographiques de 1 degré de largeur, et centrés autour des latitudes 12,13, ..., 24. Ces zones géographiques sont représentés sur la Figure 3.1

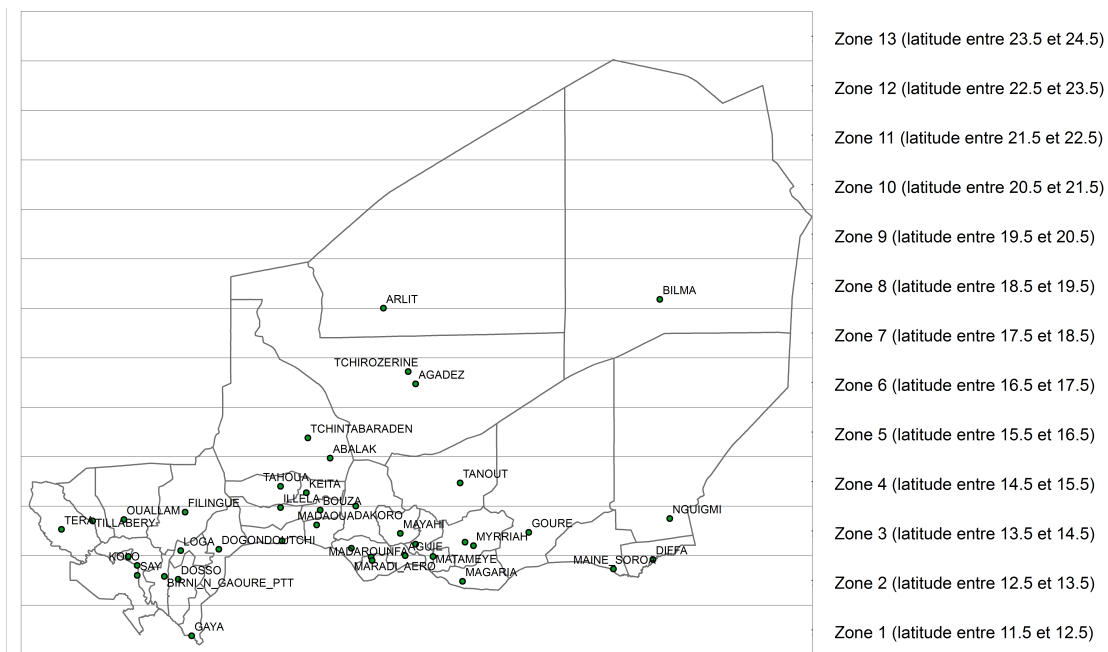


FIGURE 3.1 – Bandes de latitudes sur lesquelles les modèles climatiques seront évalués

### 3.2.2 Méthodes d'analyse

#### Précipitations

La première étape dans l'analyse des précipitations est la génération d'un diagramme de Hovmöller en utilisant les données de précipitations mesurés ou estimées sur la période historique entre les longitudes 0 et 16 degrés est, et les latitudes 11.5 degrés nord et 24 degrés Nord. Ce diagramme présentera la précipitation moyenne journalière pour chaque jour julien (entre 1 et 365) et pour chaque latitude. Un exemple est donné sur la figure 3.2. Si un seuil est fixé en terme de précipitation journalière moyenne pour la saison des pluies, ce diagramme permet d'estimer la date moyenne de début et de fin de la saison des pluies pour chaque latitude ; il permet également d'estimer la longueur de la saison des pluies. Dans ce rapport, le seuil est arbitrairement fixé à 1mm/jour (30mm/mois). Lorsque la sortie d'un modèle climatique est comparée aux observations, les paramètres suivants sont estimés pour chaque bande de latitudes :

1. La date moyenne de début de la saison des pluies dans les observations ;
2. La date moyenne de début de la saison des pluies dans les sorties du modèle climatique ;
3. Le biais du modèle climatique dans l'estimation du début de la saison des pluies (différence des deux estimations précédentes) ;
4. La date moyenne de fin de la saison des pluies dans les observations ;
5. La date moyenne de fin de la saison des pluies dans les sorties du modèle climatique ;
6. Le biais du modèle climatique dans l'estimation de la fin de la saison des pluies (différence des deux estimations précédentes) ;
7. La longueur moyenne de la saison des pluies dans les observations ;
8. La longueur moyenne de la saison des pluies dans les sorties du modèle climatique ;
9. Le biais du modèle climatique dans l'estimation de la longueur de la saison des pluies (différence des deux estimations précédentes) ;
10. La capacité du modèle à bien positionner la saison des pluies ; soit  $S_o$  l'ensemble des jours de saison des pluies dans les observations, et  $S_m$  l'ensemble des jours de saison

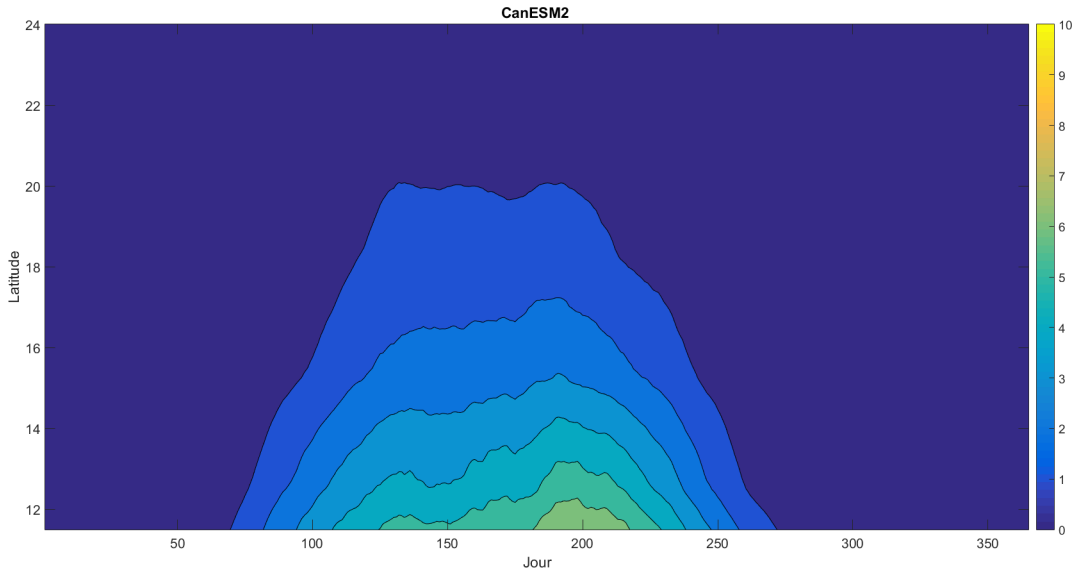


FIGURE 3.2 – Exemple de diagramme de Hovmöller

des pluies dans les sorties du modèle, estimés avec le diagramme de Hovmöller. L'indice de positionnement de la saison des pluies est donné par  $\frac{\text{card}(S_0 \cap S_m)}{\text{card}(S_0 \cup S_m)}$ , soit le nombre jours désignés comme faisant partie de la saison des pluies par le modèle et les observations, divisé par le nombre jours désignés comme faisant partie de la saison des pluies par le modèle ou les observations. Une valeur de 1 correspond à une concordance parfaite ; une valeur de 0 signifie qu'il n'y a aucune intersection entre les saisons des pluies prévues avec les deux produits

Les trois biais et l'indice de positionnement de la saison des pluies décrits ci-dessus nous permettront d'évaluer quantitativement la capacité d'un modèle particulier à simuler la saison des pluies

### Autres variables

Un diagramme de Taylor sera généré pour chaque bande de latitude pour comparer les sorties de modèles aux observations. Les diagrammes de Taylor (Taylor, 2001) fournissent un moyen de résumer graphiquement à quel point une variable est similaire aux observations. La similarité entre deux variables est quantifiée en fonction de leur cor-

### 3 PRINCIPES D'ÉVALUATION DES MODÈLES CLIMATIQUES

relation, de la différence entre les racines de l'équart quadratique moyen centré et de l'amplitude de leurs variations (représentées par leurs écarts types). Ces diagrammes sont particulièrement utiles pour évaluer les aspects multiples des modèles complexes ou pour mesurer la performance relative de modèles différents. Les variables suivantes sont estimées lors de la génération des diagrammes de Taylor :

1. La racines de l'équart quadratique moyen centré entre le modèle et les observations ;
2. Le coefficient de corrélation entre le modèle et les observations ;
3. Le bias entre le modèle et les observations.

Les trois critères de performance ci-dessus nous permettront d'évaluer de façon quantitative la performance des différent modèles climatiques. Dans le cas de la précipitation, on ajoute les quatre paramètres de caractérisation de la capacité d'un modèle particulier à simuler la saison des pluies, pour obtenir un ensemble de 7 critères de performance.

#### 3.2.3 Visualisation de la performance relative des modèles avec un code couleur

Pour une interprétation facile des résultats, les critères de performance sont standardisés entre 0 et 1 (0=mauvaise performance ; 1=bonne performance) et présentés sur des tableaux avec des codes couleurs pour une comparaison visuelle facile. Un exemple est donné dans la figure 3.3 Les formules utilisées pour standardiser les critères de performance sont les suivantes :

1. Pour les biais et les erreurs :  $perf_{standardise} = \frac{max_{modeles}(perf) - perf}{max_{modeles}(perf) - min_{modeles}(perf)}$

2. Pour la corrélation et l'indice de positionnement de la saison des pluies :

$$perf_{standardise} = \frac{max_{modeles}(perf) - perf}{max_{modeles}(perf) - min_{modeles}(perf)}$$

#### 3.2.4 Classification des modèles

Étant donné qu'il y'a plusieurs critères de performance parr variable, et qu'un modèle peut avoir un bon score sur un critère et un mauvais score sur un autre, il est difficile de

### 3.3 Données disponibles

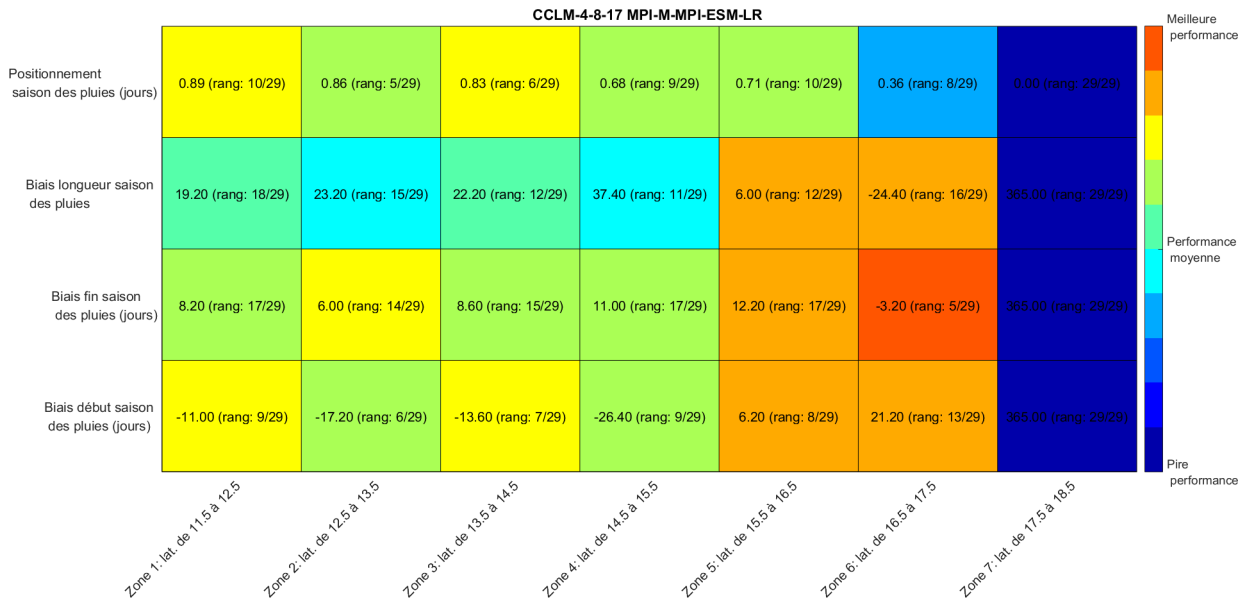


FIGURE 3.3 – Exemple de code couleur

classer les modèles de façon objective. Dans ce rapport, on a fait le choix (discutable) de les classer en fonction de la moyenne de leur performance standardisée.

## 3.3 Données disponibles

Les données climatiques qui ont été collectées pour les fins de cette étude sont décrites dans les sections ci-dessous :

### 3.3.1 Données d'observation

Les données d'observation représentent la situation de référence qu'essaient de reproduire les modèles climatiques sur la période historique.

#### Mesures aux stations

Des séries de précipitations, de températures minimales et maximales, et de vitesse du vents recueillies au niveau de 9 stations synoptiques ont été obtenues par la météorologie nationale du Niger. Les coordonnées de ces stations et la longueur des séries temporelles

### 3 PRINCIPES D'ÉVALUATION DES MODÈLES CLIMATIQUES

sont présentées dans la Table 3.1.

#### **Pluies estimées par satellite avec ou non combinaison avec les observations**

On dispose de produits d'observation sous forme de grille qui ont été dérivées à partir de mesures satellitaires comme le TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), ou encore obtenus par fusion de mesures satellitaires et d'observations comme le GPCP (Global Precipitation Climatology Project). L'étendue spatiale des grilles ainsi que la résolution spatiotemporelle de ces produits sont présentées dans la Table 3.2

#### **Réanalyses combinées avec les observations**

Les données de réanalyse disponibles sont celles de WFDEI (WATCH Forcing Data methodology applied to ERA-Interim reanalysis data) qui ont été obtenue en corrigeant le biais des réanalyses ERA-Interim avec des observations de précipitation. Ces observations viennent soit du GPCP, soit du Climatic Research Unit (CRU : <http://www.cru.uea.ac.uk/about-cru>) dans le cas de la précipitation. Lorsque les observations viennent du GPCP (resp. CRU) les données sont appelées GPCP-WFDEI (resp. CRU-WFDEI) dans ce rapport ; Pour les autres variables climatiques (températures minimales et maximales, vitesse du vent), les observations viennent du CRU. La procédure de génération des données WFDEI est décrite en détail dans Weedon et al. (2014). Le tableau 3.3 présente les données WFDEI disponibles.

#### **3.3.2 Sorties de modèles régionaux de climat**

Un total de 60 sorties de RCM (20 modèles, trois variables) de l'expérience CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment : <http://www.cordex.org/>) ont été obtenues auprès des chercheurs de WASCAL (West African Science Service Center on Climate Change and Adapted Land Use : [www.wascal.org](http://www.wascal.org)). L'expérience CORDEX 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 et d'adaptation. Pour le moment, seul le downscaling dynamique a été



	Agadez	Konni	Gaya	Maine Soroa	Maradi	Niamey	Tahoua	Tillabery	Zinder
Code	1320000400	1320003100	1320007000	1320012100	1320013300	1320000100	1320016900	1320019000	1320019900
Longitude	7.99	5.28	3.45	11.98	7.08	2.17	5.25	1.45	8.98
Latitude	16.98	13.80	11.88	13.23	13.47	13.48	14.90	14.20	13.78
Nb. Enr. PCP	18262	18262	18262	18262	18262	18262	18262	18262	18262
Début enr. PCP	1961/1/1	1961/1/1	1961/1/1	1961/1/1	1961/1/1	1961/1/1	1961/1/1	1961/1/1	1961/1/1
Fin enr. PCP	2010/12/31	2010/12/31	2010/12/31	2010/12/31	2010/12/31	2010/12/31	2010/12/31	2010/12/31	2010/12/31
Nb. Enr. TMAX	18040	18043	14732	17995	17986	17971	17978	17978	18004
Début enr. TMAX	1961/1/1	1961/1/1	1970/1/1	1961/1/1	1961/1/1	1961/1/1	1961/1/1	1961/1/1	1961/1/1
Fin enr. TMAX	2010/12/31	2010/12/31	2010/12/31	2010/12/31	2010/12/31	2010/12/31	2010/12/31	2010/12/31	2010/12/31
Nb. Enr. TMIN	18051	18041	14827	18088	18055	18085	18058	18033	18074
Début enr. TMIN	1961/1/1	1961/1/1	1970/1/1	1961/1/1	1961/1/1	1961/1/1	1961/1/1	1961/1/1	1961/1/1
Fin enr. TMIN	2010/12/31	2010/12/31	2010/12/31	2010/12/31	2010/12/31	2010/12/31	2010/12/31	2010/12/31	2010/12/31
Nb. Enr. VENT	17470	18255	13860	17462	17896	18261	18261	16209	18259
Début enr. VENT	1961/1/1	1961/1/1	1970/1/1	1961/1/1	1962/1/1	1961/1/1	1961/1/1	1961/1/1	1961/1/1
Fin enr. VENT	2008/10/31	2010/12/31	2010/12/31	2010/12/31	2010/12/31	2010/12/31	2010/12/31	2010/12/31	2010/12/31

TABLE 3.1 – Données d'observations disponibles aux stations synoptiques du Niger

### 3 PRINCIPES D'ÉVALUATION DES MODÈLES CLIMATIQUES

	<b>GPCP</b>	<b>TRMM</b>
<b>Variable</b>	Précipitation	Précipitation
<b>Nom complet du produit</b>	Global Precipitation Climatology Project (GPCP)	TRMM Tropical Rainfall Measuring Mission 3B43 Monthly 0.25x0.25 degree merged
<b>Organisation</b>	NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt MD, USA	NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt MD, USA
<b>Premier enr.</b>	1996	1998
<b>Derner enr.</b>	2010	2013
<b>Nb. points en x</b>	360	1440
<b>Longitudes minimale et maximale</b>	-179.5 à 179.5	-179.875 à 179.875
<b>Nb points en y</b>	180	400
<b>Latitudes minimale et maximale</b>	-89.5 à 89.5	-49.875 à 49.875
<b>Nombre de dates d'observation</b>	4109	192

TABLE 3.2 – Précipitations estimées par satellite ou combinaison d'estimation par satellites et d'observations disponibles

Variable	CRU-WFDEI	WFDEI	WFDEI	WFDEI	WFDEI	WFDEI	WFDEI	WFDEI	WFDEI
<b>Nom complet du produit</b>	Précipitation	Humidité relative	Humidité spécifique	Précipitation	Température moyenne	Température maximale	Température minimale	Température minimale	Vitesse du vent
	WATCH Forcing methodology applied to ERA-Interim reanalysis data	WATCH Forcing methodology applied to ERA-Interim reanalysis data	WATCH Forcing methodology applied to ERA-Interim reanalysis data	WATCH Data methodology applied to ERA-Interim reanalysis data	WATCH Forcing methodology applied to ERA-Interim reanalysis data	WATCH Forcing methodology applied to ERA-Interim reanalysis data	WATCH Forcing methodology applied to ERA-Interim reanalysis data	WATCH Forcing methodology applied to ERA-Interim reanalysis data	WATCH Forcing methodology applied to ERA-Interim reanalysis data
<b>Organisation</b>	Met Office, JCHMR, Wallingford, UK	Met Office, JCHMR, Wallingford, UK	Met Office, JCHMR, Wallingford, UK	Met Office, JCHMR, Wallingford, UK	Met Office, JCHMR, Wallingford, UK	Met Office, JCHMR, Wallingford, UK	Met Office, JCHMR, Wallingford, UK	Met Office, JCHMR, Wallingford, UK	Met Office, JCHMR, Wallingford, UK
<b>Premier enr.</b>	1979	1979	1979	1979	1979	1979	1979	1979	1979
<b>Dernier enr.</b>	2012	2012	2012	2010	2012	2012	2012	2012	2012
<b>Nb. points en x</b>	720	720	720	720	720	720	720	720	720
<b>Longitudes min et max</b>	-179.75 à 179.75	-179.75 à 179.75	-179.75 à 179.75	-179.75 à 179.75	-179.75 à 179.75	-179.75 à 179.75	-179.75 à 179.75	-179.75 à 179.75	-179.75 à 179.75
<b>Nb points en y</b>	360	360	360	360	360	360	360	360	360
<b>Latitudes min et max</b>	-89.75 à 89.75	-89.75 à 89.75	-89.75 à 89.75	-89.75 à 89.75	-89.75 à 89.75	-89.75 à 89.75	-89.75 à 89.75	-89.75 à 89.75	-89.75 à 89.75
<b>Nombre de dates d'observation</b>	23742	23742	23742	46022	23742	23742	23742	23742	23742

TABLE 3.3 – Variables WFDEI disponibles

### *3 PRINCIPES D'ÉVALUATION DES MODÈLES CLIMATIQUES*

effectué, amenant la résolution des sorties de modèles à 50km. En dépit du traitement additionnel, les simulations sont toujours susceptibles de comporter des biais et doivent être vérifiées. Les caractéristiques des sorties de MRCs sont présentées dans les tables 3.4 (10 premiers modèles) et 3.5 (10 derniers modèles)

#### **3.3.3 Sorties de modèles globaux**

Au total 19 sorties de modèles globaux ont été téléchargés du site de l'expérience CMIP5 (<http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/>) et sont présentés dans les tableaux 3.6 (10 premières sorties) et 3.7 (9 dernières sorties).

	CANRCM4	CCLM-4-8-17	CCLM-4-8-17	CCLM-4-8-17	CCLM-4-8-17	HIRHAM5-v1	RACMO22T	RCA4-v1	RCA4-v1	RCA4-v1	RCA4-v1	RCA4-v1
<b>Institution</b>	CCCma (Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis, Victoria, BC, Canada)	Climate Limited-area Modelling Community (CLM-Community)	Climate Limited-area Modelling Community (CLM-Community)	Climate Limited-area Modelling Community (CLM-Community)	Danish Meteorological Institute	Royal Netherlands Meteorological Institute	Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Rosby Centre	Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Rosby Centre	Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Rosby Centre	Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Rosby Centre	Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Rosby Centre	Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Rosby Centre
<b>GCM</b>	CanESM2	ICHEC-EC-EARTH	MOHC-HadGEM2-ES	MPI-M-MPI-ESM-LR	NCC-NorESM1-M	ICHEC-EC-EARTH	CCCma-CanESM2	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CSIRO-QCCCE-CSIRO-Mk3-6-0	ICHEC-EC-EARTH	CSIRO-QCCCE-CSIRO-Mk3-6-0	ICHEC-EC-EARTH
<b>Variables</b>	pr	pr	pr	pr	pr	pr	pr	pr	pr	pr	pr	pr
<b>Premier enr.</b>	pr, max,tasmin	pr, max,tasmin	pr, max,tasmin	pr, max,tasmin	pr, max,tasmin	pr, max,tasmin	pr, max,tasmin	pr, max,tasmin	pr, max,tasmin	pr, max,tasmin	pr, max,tasmin	pr, max,tasmin
<b>Dernier enr.</b>	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005
<b>Nb. points en x</b>	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136
<b>Longitudes min et max</b>	-19.8 à 39.6	-19.8 à 39.6	-19.8 à 39.6	-19.8 à 39.6	-19.8 à 39.6	-19.8 à 39.6	-19.8 à 39.6	-19.8 à 39.6	-19.8 à 39.6	-19.8 à 39.6	-19.8 à 39.6	-19.8 à 39.6
<b>Nb points en y</b>	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91
<b>Latitudes min et max</b>	1.6885e-06 à 39.6	3.6637e-15 à 39.6	3.6637e-15 à 39.6	3.6637e-15 à 39.6	0 à 39.6	2.2204e-15 à 39.6	0 à 39.6	0 à 39.6	0 à 39.6	0 à 39.6	0 à 39.6	0 à 39.6
<b>Nombre de dates d'observation</b>	20440	20089	20160	20454	20089	20454	18250	18263	20075	18263	20075	318263

TABLE 3.4 – Modèles régionaux de climat disponibles - partie I

3.3 Données disponibles

### 3 PRINCIPES D'ÉVALUATION DES MODÈLES CLIMATIQUES

	RCA4-v1	RCA4-v1	RCA4-v1	RCA4-v1	RCA4-v1	RCA4-v1	REMO2009-v1	REMO2009-v1	REMO2009-v1	WRF31-v1
<b>Institution</b>	Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Rosby Centre	Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Rosby Centre	Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Rosby Centre	Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Rosby Centre	Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Rosby Centre	Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Rosby Centre	Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Climate Service Center, Max Planck Institute for Meteorology	Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Climate Service Center Germany	Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Climate Service Center Germany	University Research and the Bjerknes Centre for Climate Research
<b>GCM</b>	IPSL-IPSL-CM5A-MR	MIROC-MIROC5	MOHC-HadGEM2-ES	MPI-M-MPI-ESM-LR	NCC-NorESM1-M	NOAA-GFDL-GFDL-ESM2M	ICHEC-EC-EARTH	IPSL-IPSL-CM5A-LR	MOHC-HadGEM2-ES	NCC-NorESM1-M
<b>Variables</b>	pr	pr	pr	pr	pr	pr	pr	pr	pr	pr
<b>Premier enr.</b>	pr, tas-max, tasmin	pr, tas-max, tasmin	pr, tas-max, tasmin	pr, tas-max, tasmin	pr, tas-max, tasmin	pr, tas-max, tasmin	pr, tas-max, tasmin	pr, tas-max, tasmin	pr, tas-max, tasmin	pr, tas-max, tasmin
<b>Derner enr.</b>	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005
<b>Nb. points en x</b>	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136
<b>Longitudes min et max</b>	-19,8 à 39,6	-19,8 à 39,6	-19,8 à 39,6	-19,8 à 39,6	-19,8 à 39,6	-19,8 à 39,6	-19,8 à 39,6	-19,8 à 39,6	-19,8 à 39,6	-19,8 à 39,6
<b>Nb points en y</b>	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91
<b>Latitudes min et max</b>	0 à 39,6	0 à 39,6	0 à 39,6	0 à 39,6	0 à 39,6	0 à 39,6	3,6637e-15 à 39,6	3,6637e-15 à 39,6	3,6637e-15 à 39,6	1,9073e-06 à 39,6
<b>Nombre de dates d'observation</b>	20075	18250	18000	18263	18250	18250	20454	20454	20160	20454

TABLE 3.5 – Modèles régionaux de climat disponibles - partie II

	CMCC-CESM	CMCC-CM	CanESM2	HadGEM2-CC	HadGEM2-CC	MPI-ESM	MPI-ESM	MPI-ESM	MPI-ESM	MPI-ESM	MPI-ESM
<b>Institution</b>	CMCC Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici, Bologna, Italy	CMCC Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici, Bologna, Italy	CCCma (Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis, Victoria, BC, Canada)	Met Office Hadley Centre, Fitzroy Road, Exeter, Devon, EX1 3PB, UK	Met Office Hadley Centre, Fitzroy Road, Exeter, Devon, EX1 3PB, UK	Max Planck Institute for Meteorology	Max Planck Institute for Meteorology	Max Planck Institute for Meteorology	Max Planck Institute for Meteorology	Max Planck Institute for Meteorology	Max Planck Institute for Meteorology
<b>Variable</b>	pr	pr	pr	pr	pr	hus	pr	ta	tas	tasmax	tasmax
<b>Premier enr.</b>	1965	1966	1850	1954	1959	1970	1970	1970	1970	1970	1970
<b>Dernier enr.</b>	1965	1972	2005	2004	2004	2005	2005	2005	2005	2005	2005
<b>Nb. points en x</b>	16	80	22	32	32	32	32	32	32	32	32
<b>Longitudes min et max</b>	-18.75 à 37.5	-19.5 à 39.75	-19.6875 à 39.375	-18.75 à 39.375	-18.75 à 39.375	-18.75 à 39.375	-18.75 à 39.375	-18.75 à 39.375	-18.75 à 39.375	-18.75 à 39.375	-18.75 à 39.375
<b>Nb points en y</b>	11	53	14	33	33	21	21	21	21	21	21
<b>Latitudes min et max</b>	1.8556 à 38.9666	0.37422 à 39.293	1.3953 à 37.6731	0 à 40	0 à 40	0.93263 à 38.2377	0.93263 à 38.2377	0.93263 à 38.2377	0.93263 à 38.2377	0.93263 à 38.2377	0.93263 à 38.2377
<b>Nombre de dates d'observation</b>	1826	2191	56940	34590	33150	13149	13149	13149	13149	13149	13149

3.3 Données disponibles

TABLE 3.6 – Sorties de modèles globaux disponibles (partie I)

	MPI-ESM	MRI-CGCM3	MRI-CGCM3	MRI-CGCM3	MRI-CGCM3	MRI-CGCM3	NorESM1-M	NorESM1-M	NorESM1-M	NorESM1-M
<b>Institution</b>	Max Planck Institute for Meteorology	MRI (Meteorological Research Institute, Tsukuba, Japan)	MRI (Meteorological Research Institute, Tsukuba, Japan)	MRI (Meteorological Research Institute, Tsukuba, Japan)	MRI (Meteorological Research Institute, Tsukuba, Japan)	MRI (Meteorological Research Institute, Tsukuba, Japan)	Norwegian Climate Centre	Norwegian Climate Centre	Norwegian Climate Centre	Norwegian Climate Centre
<b>Variable</b>	tasmin	hur	pr	tasmax	tasmin	hur	pr	tasmax	tasmin	
<b>Premier enr.</b>	1970	2006	1950	1950	1950	1950	1950	1950	1950	
<b>Dernier enr.</b>	2005	2012	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	
<b>Nb. points en x</b>	32	53	53	53	53	25	25	25	25	
<b>Longitudes min et max</b>	-18,75 à 39,375	-19,125 à 39,375	-19,125 à 39,375	-19,125 à 39,375	-19,125 à 39,375	-20 à 40	-20 à 40	-20 à 40	-20 à 40	
<b>Nb points en y</b>	21	36	36	36	36	21	21	21	21	
<b>Latitudes min et max</b>	0,93263 à 38,2377	0,56074 à 39,8128	0,56074 à 39,8128	0,56074 à 39,8128	0,56074 à 39,8128	0,94737 à 38,8421	0,94737 à 38,8421	0,94737 à 38,8421	0,94737 à 38,8421	
<b>Nombre de dates d'observation</b>	13149	2557	48579	48579	48579	68985	137970	137970	137970	

TABLE 3.7 – Sorties de modèles globaux disponibles (partie II)



# 4 CLASSIFICATION DES MODÈLES CLIMATIQUES

## 4.1 Classification des modèles selon leur performance à simuler la précipitation

En tenant compte de tous les critères de performance considérés, la liste des modèles classés par ordre de performance décroissante est :

1. REMO2009-v1 IPSL-IPSL-CM5A-LR
2. MPI-ESM
3. RCA4-v1 IPSL-IPSL-CM5A-MR
4. REMO2009-v1 ICHEC-EC-EARTH
5. CMCC-CESM
6. HadGEM2-CC
7. RCA4-v1 CNRM-CERFACS-CNRM-CM5
8. HIRHAM5-v1 NCC-NorESM1-M
9. WRF331-v1 NCC-NorESM1-M
10. NorESM1-M
11. RCA4-v1 MPI-M-MPI-ESM-LR
12. RCA4-v1 MIROC-MIROC5
13. CCLM-4-8-17 MPI-M-MPI-ESM-LR

#### 4 CLASSIFICATION DES MODÈLES CLIMATIQUES

14. RCA4-v1 CCCma-CanESM2
15. RCA4-v1 NOAA-GFDL-GFDL-ESM2M
16. CMCC-CM
17. MRI-CGCM3
18. RACMO22T ICHEC-EC-EARTH
19. REMO2009-v1 MOHC-HadGEM2-ES
20. RCA4-v1 ICHEC-EC-EARTH
21. CCLM-4-8-17 ICHEC-EC-EARTH
22. RCA4-v1 NCC-NorESM1-M
23. CANRCM4 CanESM2
24. CanESM2
25. CCLM-4-8-17 CNRM-CERFACS-CNRM-CM5
26. RCA4-v1 MOHC-HadGEM2-ES
27. CANRCM4 ERA-INT
28. CCLM-4-8-17 MOHC-HadGEM2-ES
29. RCA4-v1 CSIRO-QCCCE-CSIRO-Mk3-6-0

#### **4.2 Classification des modèles selon leur performance à simuler la température maximale**

En tenant compte de tous les critères de performance considérés, la liste des modèles classés par ordre de performance décroissante est :

1. RCA4-v1 MPI-M-MPI-ESM-LR
2. RCA4-v1 MIROC-MIROC5
3. WRF331-v1 NCC-NorESM1-M
4. RCA4-v1 CNRM-CERFACS-CNRM-CM5

#### 4.2 Classification des modèles selon leur performance à simuler la température maximale

5. HIRHAM5-v1 NCC-NorESM1-M
6. MPI-ESM
7. RCA4-v1 ICHEC-EC-EARTH
8. RCA4-v1 MOHC-HadGEM2-ES
9. CCLM-4-8-17 MPI-M-MPI-ESM-LR
10. RCA4-v1 IPSL-IPSL-CM5A-MR
11. CANRCM4 CanESM2
12. RCA4-v1 NOAA-GFDL-GFDL-ESM2M
13. CANRCM4 ERA-INT
14. NorESM1-M
15. RCA4-v1 CSIRO-QCCCE-CSIRO-Mk3-6-0
16. REMO2009-v1 MOHC-HadGEM2-ES
17. REMO2009-v1 ICHEC-EC-EARTH
18. RCA4-v1 CCCma-CanESM2
19. CCLM-4-8-17 CNRM-CERFACS-CNRM-CM5
20. HadGEM2-CC
21. CCLM-4-8-17 ICHEC-EC-EARTH
22. RACMO22T ICHEC-EC-EARTH
23. CCLM-4-8-17 MOHC-HadGEM2-ES
24. RCA4-v1 NCC-NorESM1-M
25. MRI-CGCM3
26. REMO2009-v1 IPSL-IPSL-CM5A-LR

### 4.3 Classification des modèles selon leur performance à simuler la température minimale

En tenant compte de tous les critères de performance considérés, la liste des modèles classés par ordre de performance décroissante est :

1. CCLM-4-8-17 MPI-M-MPI-ESM-LR
2. MPI-ESM
3. CCLM-4-8-17 CNRM-CERFACS-CNRM-CM5
4. RCA4-v1 CSIRO-QCCCE-CSIRO-Mk3-6-0
5. CANRCM4 ERA-INT
6. RACMO22T ICHEC-EC-EARTH
7. MRI-CGCM3
8. RCA4-v1 NOAA-GFDL-GFDL-ESM2M
9. RCA4-v1 MIROC-MIROC5
10. RCA4-v1 MPI-M-MPI-ESM-LR
11. CCLM-4-8-17 ICHEC-EC-EARTH
12. NorESM1-M
13. RCA4-v1 ICHEC-EC-EARTH
14. RCA4-v1 IPSL-IPSL-CM5A-MR
15. CANRCM4 CanESM2
16. RCA4-v1 CCCma-CanESM2
17. REMO2009-v1 ICHEC-EC-EARTH
18. WRF331-v1 NCC-NorESM1-M
19. RCA4-v1 NCC-NorESM1-M
20. CCLM-4-8-17 MOHC-HadGEM2-ES
21. RCA4-v1 CNRM-CERFACS-CNRM-CM5

#### *4.4 Classification des modèles selon leur performance à simuler l'humidité relative*

22. RCA4-v1 MOHC-HadGEM2-ES
23. HIRHAM5-v1 NCC-NorESM1-M
24. REMO2009-v1 MOHC-HadGEM2-ES
25. REMO2009-v1 IPSL-IPSL-CM5A-LR

#### **4.4 Classification des modèles selon leur performance à simuler l'humidité relative**

En tenant compte de tous les critères de performance considérés, la liste des modèles classés par ordre de performance décroissante est :

1. NorESM1-M

#### **4.5 Classification des modèles selon leur performance à simuler la vitesse du vent**

En tenant compte de tous les critères de performance considérés, la liste des modèles classés par ordre de performance décroissante est :

1. MPI-ESM
2. CanESM2



# 5 Projections de précipitation et de température sur les départements

Les dix meilleurs RCMs ont été utilisés pour générer un ensemble de projections de précipitations et de températures sur les différents départements au Niger. Ces projections sont disponibles dans la base de données fournie au PDIC. Dans ce chapitre, les projections moyennes, maximales et minimales sur les périodes 2026-2050, 2051-2075 et 2076-2100 sont présentées. On présente d'abord la répartition spatiale des ces changements sous forme de cartes, puis on fournit des tableaux qui donne les valeurs numérique de ces changements par département.

## 5.1 Répartition spatiale des changements

### 5.1.1 Précipitation

Les résultats montrent beaucoup d'incertitude dans les changements prévus de précipitation. Pour chaque département, il existe au moins un modèle qui prédit un changement à la baisse et un modèle qui prédit un changement à la hausse. Autant la hausse maximale que la baisse maximale de précipitation sont très élevés au nord (du fait de la faible valeur des précipitations au nord, une petite différence en absolu se traduit par une grande variation pourcentage). Quand on regarde le changement médian, on s'attend à une baisse modérée de précipitation au sud du pays, et une hausse significative de précipitations au nord du pays. La médiane augmentation de précipitation est de 14.18% sur tout le pays pour la période 2026-2050, 6.5% pour 2051-2075 et 6.8% pour 2076-2100. Ces pourcentages varient de département en département. Étant donné l'in-

## 5 Projections de précipitation et de température sur les départements

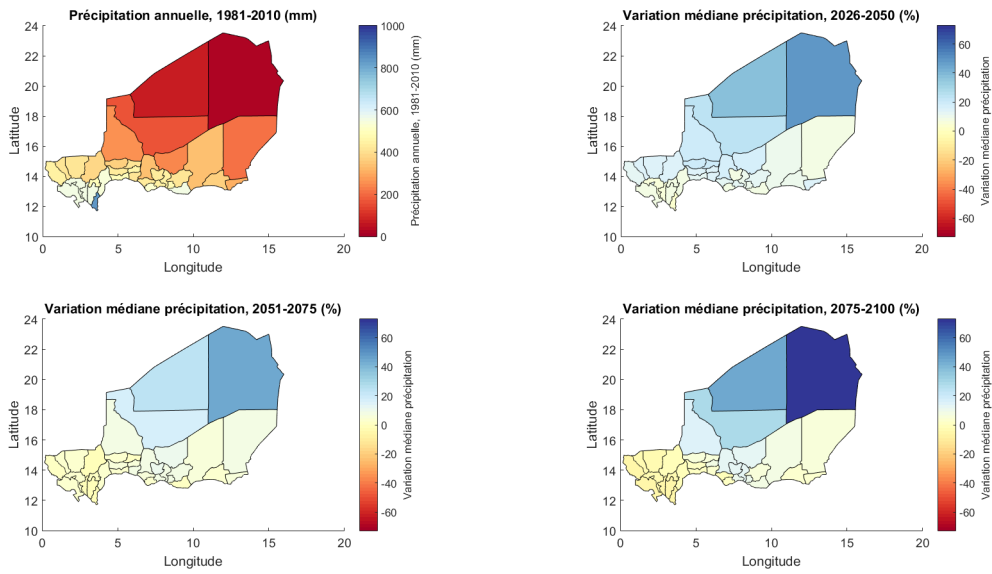


FIGURE 5.1 – Projection médiane de précipitation sur le Niger (10 meilleurs RCMs)

certitude sur les projections, il est recommandé de privilégier des solutions d'adaptation robustes (qui performeront raisonnablement bien autant en cas de baisse que de hausse de la précipitation).



## 5.1 Répartition spatiale des changements

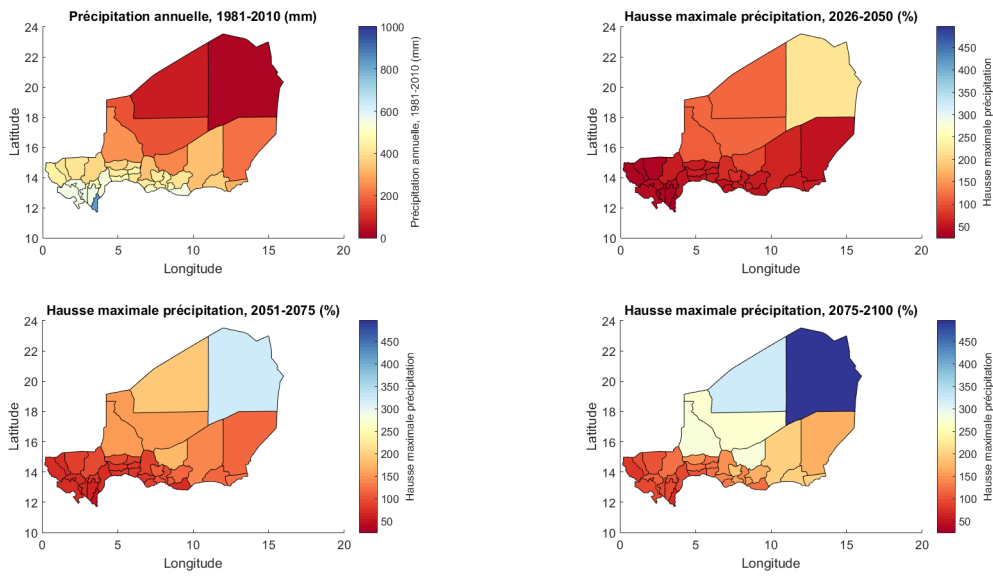


FIGURE 5.2 – Hausse maximale de précipitation sur le Niger aux horizons (10 meilleurs RCMs)

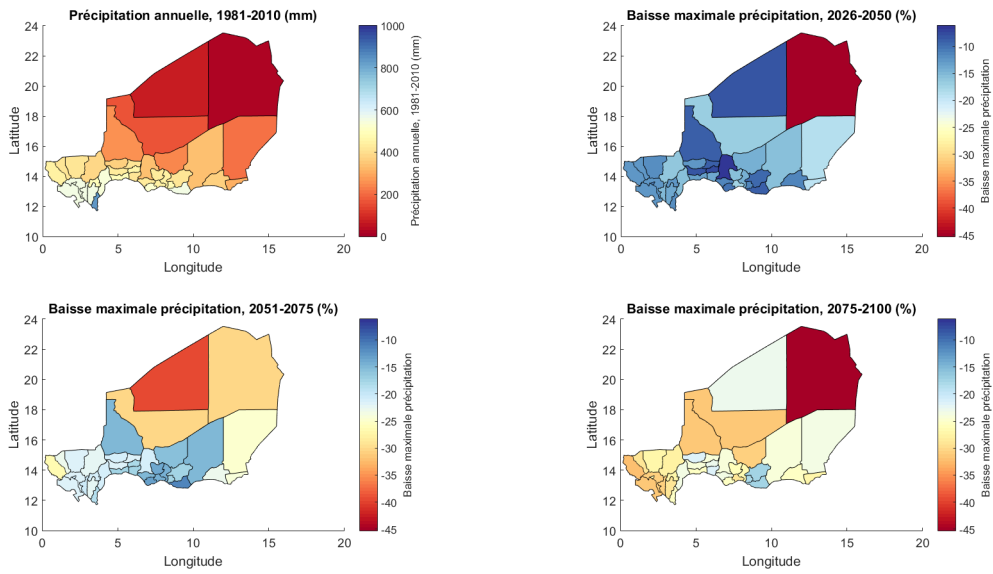


FIGURE 5.3 – Baisse maximale de précipitation sur le Niger aux horizons (10 meilleurs RCMs)

### 5.1.2 Température maximale

En se basant sur la médiane des projections, on anticipe une hausse des températures maximales variant de 1.44 degrés C (de 1.39 degrés C à 1.63 degrés C) dans la période 2026-2050, 2.42 degrés C (de 2.29 degrés C à 2.65 degrés C) dans la période 2051-2075, et 3.31 degrés C (de 3.09 degrés C à 3.8 degrés C). Noter que le modèle le plus pessimiste prédit une augmentation de 6.98 degrés C pour la période 2076-2100.

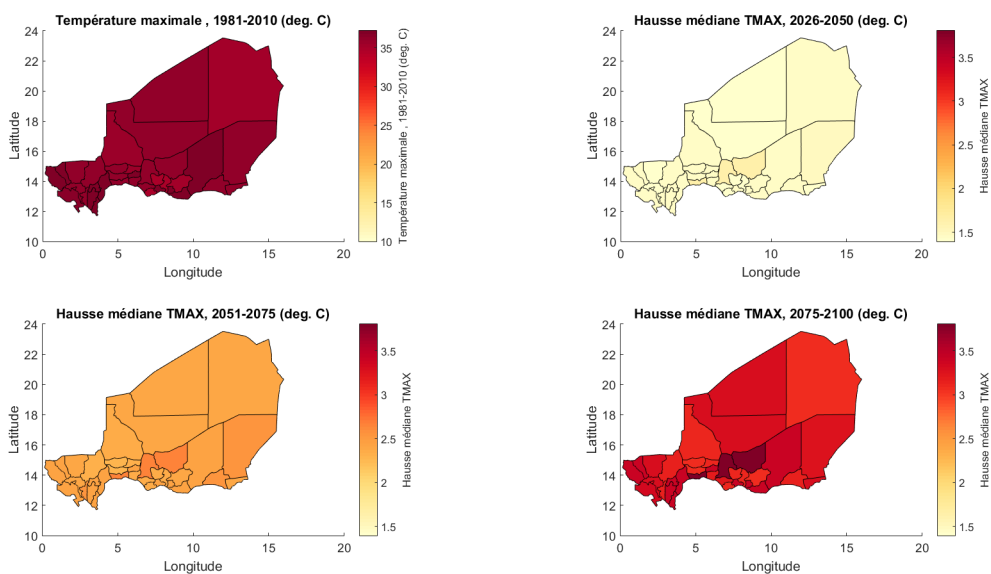


FIGURE 5.4 – Projection médiane des températures maximales journalières sur le Niger (tous les RCMs)

## 5.1 Répartition spatiale des changements

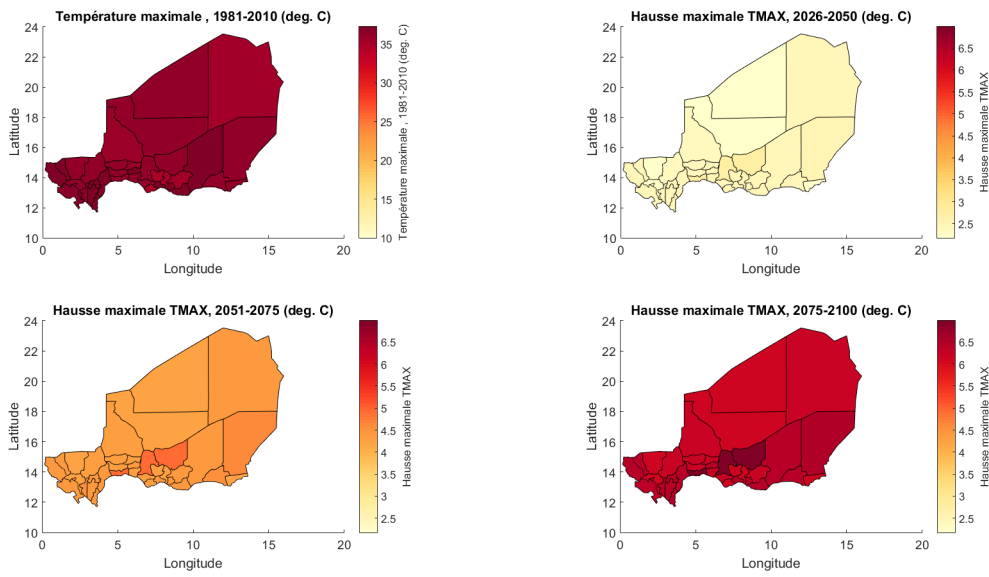


FIGURE 5.5 – Hausse minimale des températures maximales journalières sur le Niger aux horizons (tous les RCMs)

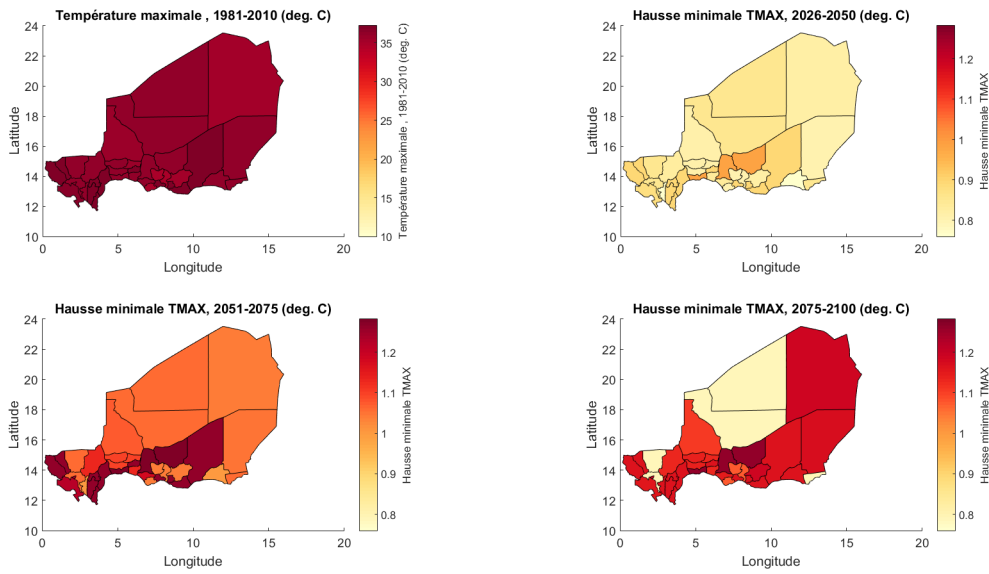


FIGURE 5.6 – Hausse minimale des températures maximales journalières sur le Niger aux horizons (tous les RCMs)

### 5.1.3 Température minimale

En se basant sur la médiane des projections, on anticipe une hausse des températures minimales variant de 1.92 degrés C (de 1.75 degrés C à 2.03 degrés C) dans la période 2026-2050, 2.73 degrés C (de 2.63 degrés C à 2.91 degrés C) dans la période 2051-2075, et 3.31 degrés C (de 3.20 degrés C à 3.62 degrés C). Le modèle le plus pessimiste prédit une augmentation de 7.62 degrés C pour la période 2076-2100.

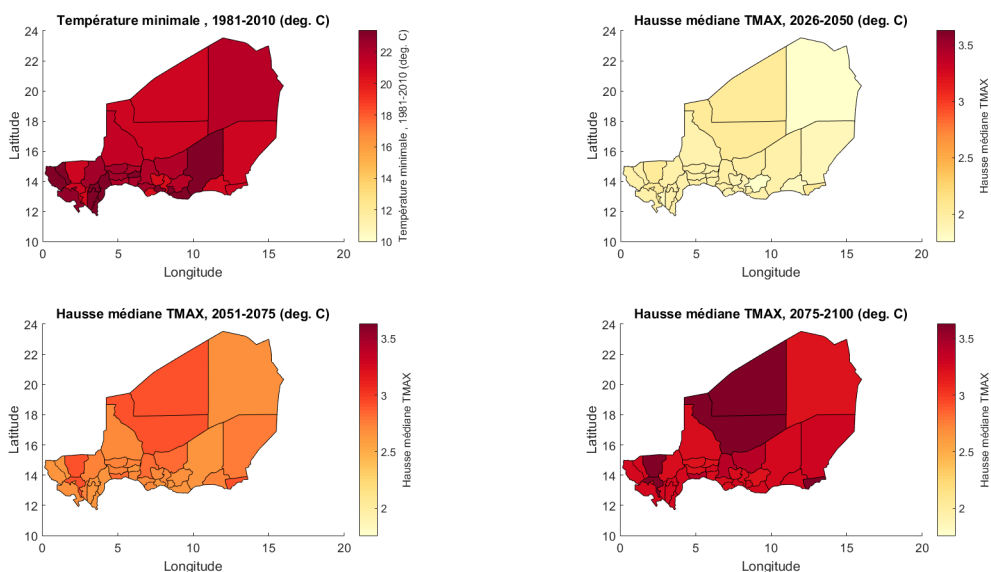


FIGURE 5.7 – Projection médiane des températures maximales journalières sur le Niger (tous les RCMs)

## 5.1 Répartition spatiale des changements

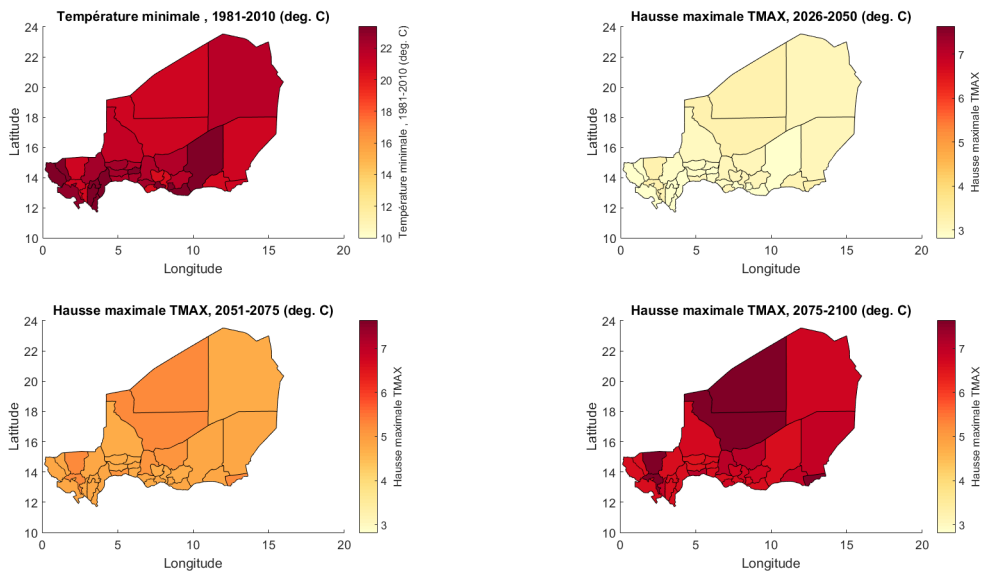


FIGURE 5.8 – Hausse minimale des températures maximales journalières sur le Niger aux horizons (tous les RCMs)

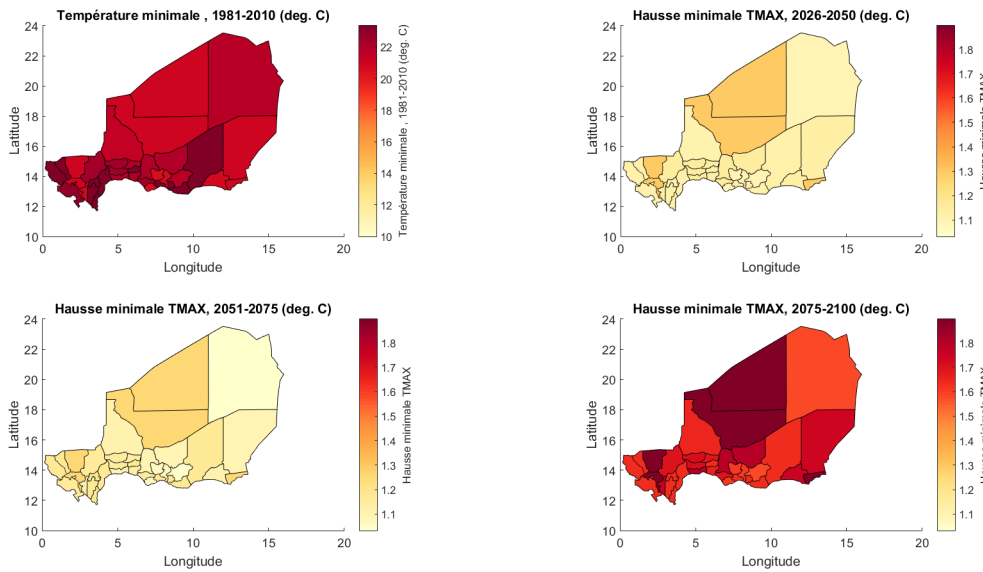


FIGURE 5.9 – Hausse minimale des températures maximales journalières sur le Niger aux horizons (tous les RCMs)

## **5.2 Projections par période**

Dans la section suivante on présente les variations projetées de températures et de précipitation au niveau de 40 stations pluviométriques dans le pays. Les variations de température ont été interpolées étant donné que les données ne sont disponibles qu'au niveau des stations synoptiques.

### **5.2.1 Période 2026-2050**

#### **Précipitation**

## 5.2 Projections par période

Département	Précipitation annuelle moyenne (mm)	Changement médian (%)	Changement min (%)	Changement max (%)
Arlit	62	37.1	-8.2	115.1
Bilma	9	49.0	-45.3	216.1
Tchigozerine	152	24.1	-16.4	115.6
Diffa	294	15.4	-19.3	57.1
Maïnā-Soroa	359	10.7	-11.1	56.8
N'Guigmi	207	8.7	-18.3	46.4
Boboye	551	6.9	-15.1	34.8
Dogon-Doutchi	533	8.5	-15.4	45.1
Dosso	553	7.4	-13.6	34.1
Gaya	842	4.5	-11.8	24.4
Loga	500	8.6	-12.3	41.9
Aguiā	439	11.8	-17.4	57.4
Dakoro	334	17.8	-6.2	66.7
Groumdji	436	12.3	-11.1	49.9
Madarounfa	528	8.0	-9.6	50.0
Mayahi	427	8.9	-15.2	67.5
Tessaoua	448	9.9	-14.5	55.0
Niamey	553	13.0	-10.5	33.6
Bkonni	490	11.8	-12.7	45.4
Bouza	459	15.8	-7.3	51.1
Illāla	431	15.8	-8.2	50.9
Keita	417	18.7	-8.6	53.2
Madaoua	417	15.1	-13.9	53.8
Tahoua	361	19.0	-12.6	51.2
Tchin-Tabarade	256	19.9	-8.9	104.6
Filinguā	386	15.8	-16.2	58.0
Kollo	563	6.5	-12.4	38.8
Ouallam	413	14.7	-11.4	34.2
Say	563	8.7	-12.6	39.6
Tāra	449	12.1	-12.7	30.7
Tillabāry	417	15.1	-12.4	33.2
Gourā	329	9.9	-15.2	61.9
Magaria	554	8.7	-8.4	43.8
Matameye	470	10.4	-11.1	58.7
Mirriah	408	12.8	-9.3	51.9
Tanout	231	17.7	-14.4	90.7

TABLE 5.1 – Projections de précipitations pour la période 2026-2050

## 5 Projections de précipitation et de température sur les départements

### Température maximale

Département	Température maximale (deg. C)	Changement médian (deg. C)	Changement min (deg. C)	Changement max (deg. C)
Arlit	36.3	1.4	0.8	2.2
Bilma	35.3	1.4	0.8	2.4
Tchighozerine	36.3	1.4	0.8	2.2
Diffa	36.3	1.4	0.8	2.2
Maïnā-Soroa	36.2	1.4	0.8	2.4
N'Guigmi	36.2	1.5	0.8	2.4
Boboye	36.2	1.4	0.8	2.4
Dogon-Doutchi	37.2	1.4	0.9	2.4
Dosso	37.2	1.4	0.9	2.4
Gaya	37.2	1.4	0.9	2.4
Loga	37.2	1.4	0.9	2.4
Aguiā	37.2	1.4	0.9	2.4
Dakoro	36.3	1.6	1.0	2.7
Groumdji	36.4	1.4	0.8	2.3
Madarounfa	35.1	1.4	0.8	2.4
Mayahi	35.1	1.4	0.8	2.4
Tessaoua	35.1	1.4	0.8	2.4
Niamey	36.5	1.4	0.8	2.4
Bkonni	36.3	1.6	1.0	2.7
Bouza	37.2	1.4	0.9	2.4
Illāla	36.3	1.4	0.8	2.3
Keita	36.1	1.4	0.8	2.3
Madaoua	36.3	1.4	0.8	2.4
Tahoua	36.3	1.4	0.8	2.3
Tchin-Tabarade	35.7	1.4	0.8	2.4
Filinguā	36.4	1.4	0.8	2.3
Kollo	36.3	1.4	0.8	2.2
Ouallam	36.3	1.4	0.8	2.2
Say	36.9	1.4	0.9	2.4
Tāra	37.2	1.4	0.9	2.4
Tillabāry	37.2	1.4	0.9	2.4
Gourā	37.2	1.4	0.9	2.4
Magaria	37.2	1.4	0.9	2.4
Matameye	37.2	1.4	0.9	2.4
Mirriah	35.3	1.4	0.8	2.4
Tanout	36.3	1.6	1.0	2.7

TABLE 5.2 – Projections de précipitations pour la période 2026-2050

### Température minimale



## 5.2 Projections par période

Département	Température minimale (deg. C)	Changement médian (deg. C)	Changement min (deg. C)	Changement max (deg. C)
Arlit	21.1	2.0	1.3	3.2
Bilma	21.8	1.8	1.1	3.1
Tchighozerine	21.1	2.0	1.3	3.2
Diffa	21.1	2.0	1.3	3.2
Maïnā-Soroa	20.8	1.8	1.1	3.1
N'Guigmi	21.1	1.9	1.1	3.1
Boboye	20.8	1.8	1.1	3.1
Dogon-Doutchi	23.3	1.9	1.1	2.8
Dosso	23.3	1.9	1.1	2.8
Gaya	23.3	1.9	1.1	2.8
Loga	23.3	1.9	1.1	2.8
Aguiā	23.3	1.9	1.1	2.8
Dakoro	22.1	2.0	1.1	3.1
Groumdji	22.6	1.9	1.1	2.9
Madarounfa	20.7	1.9	1.1	3.0
Mayahi	20.7	1.9	1.1	3.0
Tessaoua	20.7	1.9	1.1	3.0
Niamey	22.9	1.9	1.1	2.9
Bkonni	22.1	2.0	1.1	3.1
Bouza	23.3	1.9	1.1	2.8
Illāla	22.4	1.9	1.1	2.9
Keita	22.1	1.9	1.1	2.9
Madaoua	22.3	1.9	1.1	2.9
Tahoua	22.4	1.9	1.1	2.9
Tchin-Tabarade	21.5	1.9	1.1	3.0
Filinguā	22.6	1.9	1.1	2.9
Kollo	21.1	2.0	1.3	3.2
Ouallam	21.1	2.0	1.3	3.2
Say	23.0	1.9	1.1	2.8
Tāra	23.3	1.9	1.1	2.8
Tillabāry	23.3	1.9	1.1	2.8
Gourā	23.3	1.9	1.1	2.8
Magaria	23.3	1.9	1.1	2.8
Matameye	23.3	1.9	1.1	2.8
Mirriah	21.8	1.8	1.1	3.1
Tanout	22.1	2.0	1.1	3.1

TABLE 5.3 – Projections de précipitations pour la période 2026-2050

## 5 Projections de précipitation et de température sur les départements

### 5.2.2 Période 2051-2075

#### Précipitation

Département	Précipitation annuelle moyenne (mm)	Changement médian (%)	Changement min (%)	Changement max (%)
Arlit	62	23.8	-39.6	191.4
Bilma	9	45.8	-30.5	321.3
Tchighozerine	152	16.3	-30.4	153.9
Diffa	294	4.7	-24.1	124.3
Maïrni-Soroa	359	4.1	-23.1	114.4
N'Guigmi	207	7.9	-24.9	115.7
Boboye	551	-1.7	-20.7	72.2
Dogon-Doutchi	533	3.2	-20.9	70.1
Dosso	553	-0.7	-22.1	65.2
Gaya	842	-1.3	-18.3	48.5
Loga	500	1.4	-21.3	75.1
Agui	439	8.9	-14.2	102.1
Dakoro	334	7.4	-20.8	80.8
Groumdji	436	5.8	-14.7	80.6
Madarounfa	528	2.9	-13.3	84.9
Mayahi	427	10.6	-13.6	104.6
Tessaoua	448	9.2	-14.2	89.2
Niamey	553	1.2	-20.2	67.9
Bkonni	490	4.1	-17.0	74.4
Bouza	459	5.9	-18.1	77.9
Illaf	431	6.2	-21.8	77.9
Keita	417	2.2	-21.8	86.5
Madaoua	417	8.0	-17.1	77.2
Tahoua	361	3.4	-21.0	88.9
Tchin-Tabarade	256	7.3	-14.7	149.2
Filingu	386	-1.0	-22.3	90.2
Kollo	563	4.3	-21.8	68.3
Ouallam	413	3.8	-21.6	82.9
Say	563	2.6	-21.9	69.5
Tafra	449	2.2	-26.8	67.7
Tillabry	417	2.8	-23.1	70.4
Gour	329	6.0	-14.9	135.4
Magaria	554	2.1	-11.2	71.4
Matameye	470	7.0	-17.4	108.9
Mirriah	408	7.9	-17.4	111.4
Tanout	231	10.1	-15.5	174.2

TABLE 5.4 – Projections de précipitations pour la période 2051-2075

#### Température maximale

## 5.2 Projections par période

Département	Température maximale (deg. C)	Changement médian (deg. C)	Changement min (deg. C)	Changement max (deg. C)
Arlit	36.3	2.4	1.1	4.2
Bilma	35.3	2.4	1.0	4.4
Tchigozerine	36.3	2.4	1.1	4.2
Diffa	36.3	2.4	1.1	4.2
Maïné-Sarroua	36.2	2.5	1.0	4.5
N'Guigmi	36.2	2.6	1.1	4.6
Boboye	36.2	2.5	1.0	4.5
Dogon-Doutchi	37.2	2.4	1.3	4.4
Dosso	37.2	2.4	1.3	4.4
Gaya	37.2	2.4	1.3	4.4
Loga	37.2	2.4	1.3	4.4
Aguié	37.2	2.4	1.3	4.4
Dakoro	36.3	2.7	1.3	4.9
Goundji	36.4	2.3	1.2	4.3
Madarounfa	35.1	2.4	1.0	4.3
Mayahi	35.1	2.4	1.0	4.3
Tessaoua	35.1	2.4	1.0	4.3
Niamey	36.5	2.4	1.2	4.3
Bkonni	36.3	2.7	1.3	4.9
Bouza	37.2	2.4	1.3	4.4
Illéla	36.3	2.3	1.1	4.3
Keita	36.1	2.3	1.1	4.3
Madaoua	36.3	2.4	1.1	4.3
Tahoua	36.3	2.3	1.1	4.3
Tchin-Tabarade	35.7	2.3	1.1	4.3
Filinguie	36.4	2.3	1.1	4.3
Kollo	36.3	2.4	1.1	4.2
Ouallam	36.3	2.4	1.1	4.2
Say	36.9	2.4	1.2	4.4
Téra	37.2	2.4	1.3	4.4
Tillabéry	37.2	2.4	1.3	4.4
Gourie	37.2	2.4	1.3	4.4
Magaria	37.2	2.4	1.3	4.4
Matameye	37.2	2.4	1.3	4.4
Mirriah	35.3	2.4	1.0	4.4
Tanout	36.3	2.7	1.3	4.9

TABLE 5.5 – Projections de précipitations pour la période 2051-2075

## 5 Projections de précipitation et de température sur les départements

### Température minimale

Département	Température minimale (deg. C)	Changement médian (deg. C)	Changement min (deg. C)	Changement max (deg. C)
Arlit	21.1	2.9	1.2	5.3
Bilma	21.8	2.7	1.0	4.7
Tchighozerine	21.1	2.9	1.2	5.3
Diffa	21.1	2.9	1.2	5.3
Maïné-Souda	20.8	2.7	1.1	4.8
N'Guigmi	21.1	2.8	1.1	4.8
Boboye	20.8	2.7	1.1	4.8
Dogon-Doutchi	23.3	2.7	1.2	4.8
Dosso	23.3	2.7	1.2	4.8
Gaya	23.3	2.7	1.2	4.8
Loga	23.3	2.7	1.2	4.8
Aguié	23.3	2.7	1.2	4.8
Dakoro	22.1	2.8	1.1	5.1
Goundji	22.6	2.7	1.1	4.8
Madarounfa	20.7	2.7	1.1	4.8
Mayahi	20.7	2.7	1.1	4.8
Tessaoua	20.7	2.7	1.1	4.8
Niamey	22.9	2.7	1.1	4.7
Bkonni	22.1	2.8	1.1	5.1
Bouza	23.3	2.7	1.2	4.8
Illéla	22.4	2.8	1.1	4.8
Keita	22.1	2.7	1.1	4.8
Madaoua	22.3	2.7	1.1	4.8
Tahoua	22.4	2.8	1.1	4.8
Tchin-Tabarade	21.5	2.7	1.1	4.8
Filinguie	22.6	2.7	1.1	4.8
Kollo	21.1	2.9	1.2	5.3
Ouallam	21.1	2.9	1.2	5.3
Say	23.0	2.7	1.2	4.8
Téra	23.3	2.7	1.2	4.8
Tillabéry	23.3	2.7	1.2	4.8
Gouré	23.3	2.7	1.2	4.8
Magaria	23.3	2.7	1.2	4.8
Matameye	23.3	2.7	1.2	4.8
Mirriah	21.8	2.7	1.0	4.7
Tanout	22.1	2.8	1.1	5.1

TABLE 5.6 – Projections de précipitations pour la période 2051-2075

### 5.2.3 Période 2076-2100

#### Précipitation

## 5.2 Projections par période

Département	Précipitation annuelle moyenne (mm)	Changement médian (%)	Changement min (%)	Changement max (%)
Arlit	62	44.7	-22.8	326.1
Bilma	9	72.7	-45.0	496.4
Tchighozerine	152	28.3	-31.6	269.4
Diffa	294	3.4	-27.0	196.2
Maïnā-Soroa	359	2.9	-25.3	195.5
N'Guigmi	207	5.2	-23.4	163.9
Boboye	551	-6.8	-31.1	92.1
Dogon-Doutchi	533	-1.3	-23.5	91.4
Dosso	553	-6.4	-28.9	91.0
Gaya	842	-5.6	-25.7	70.4
Loga	500	-4.1	-27.5	100.7
Aguiā	439	11.0	-29.2	159.9
Dakoro	334	12.5	-23.9	144.7
Groumdji	436	-1.1	-23.3	136.2
Madarounfa	528	1.0	-25.2	129.5
Mayahi	427	13.7	-25.9	185.7
Tessaoua	448	12.3	-26.6	136.9
Niamey	553	-1.6	-26.5	83.7
Bkonni	490	1.7	-25.2	98.4
Bouza	459	8.3	-23.0	119.2
Illā	431	2.1	-24.1	121.0
Keita	417	6.1	-24.4	123.0
Madaoua	417	3.3	-21.4	119.3
Tahoua	361	5.1	-21.5	142.8
Tchin-Tabarade	256	14.5	-31.4	279.7
Filinguā	386	-1.2	-27.9	119.0
Kollo	563	-4.1	-31.1	108.9
Ouallam	413	-3.0	-27.0	97.8
Say	563	-5.9	-31.4	93.8
Tāra	449	-5.1	-32.2	79.0
Tillabāry	417	-2.6	-29.2	90.4
Gourā	329	8.1	-24.1	196.5
Magaria	554	7.7	-17.3	118.1
Matameye	470	11.0	-17.8	160.5
Mirriah	408	6.9	-17.3	170.5
Tanout	231	13.6	-30.8	279.5

TABLE 5.7 – Projections de précipitations pour la période 2076-2100

## 5 Projections de précipitation et de température sur les départements

### Température maximale

Département	Température maximale (deg. C)	Changement médian (deg. C)	Changement min (deg. C)	Changement max (deg. C)
Arlit	36.3	3.3	0.8	6.2
Bilma	35.3	3.1	1.2	6.2
Tchighozerine	36.3	3.3	0.8	6.2
Diffa	36.3	3.3	0.8	6.2
Maïnâ-Soroa	36.2	3.2	1.2	6.5
N'Guigmi	36.2	3.3	1.2	6.5
Boboye	36.2	3.2	1.2	6.5
Dogon-Doutchi	37.2	3.4	1.2	6.4
Dosso	37.2	3.4	1.2	6.4
Gaya	37.2	3.4	1.2	6.4
Loga	37.2	3.4	1.2	6.4
Aguiâ	37.2	3.4	1.2	6.4
Dakoro	36.3	3.8	1.3	7.0
Groumdji	36.4	3.2	1.2	6.2
Madarounfa	35.1	3.1	1.1	6.2
Mayahi	35.1	3.1	1.1	6.2
Tessaoua	35.1	3.1	1.1	6.2
Niamey	36.5	3.3	1.2	6.3
Bkonni	36.3	3.8	1.3	7.0
Bouza	37.2	3.4	1.2	6.4
Illâla	36.3	3.1	1.1	6.2
Keita	36.1	3.1	1.1	6.2
Madaoua	36.3	3.2	1.1	6.3
Tahoua	36.3	3.1	1.1	6.2
Tchin-Tabarade	35.7	3.1	1.1	6.2
Filinguâ	36.4	3.2	1.1	6.3
Kollo	36.3	3.3	0.8	6.2
Ouallam	36.3	3.3	0.8	6.2
Say	36.9	3.3	1.2	6.4
Târa	37.2	3.4	1.2	6.4
Tillabâry	37.2	3.4	1.2	6.4
Gourâ	37.2	3.4	1.2	6.4
Magaria	37.2	3.4	1.2	6.4
Matameye	37.2	3.4	1.2	6.4
Mirriah	35.3	3.1	1.2	6.2
Tanout	36.3	3.8	1.3	7.0

TABLE 5.8 – Projections de précipitations pour la période 2076-2100

### Température minimale

## 5.2 Projections par période

Département	Température minimale (deg. C)	Changement médian (deg. C)	Changement min (deg. C)	Changement max (deg. C)
Arlit	21.1	3.6	1.9	7.6
Bilma	21.8	3.2	1.6	6.8
Tchighozerine	21.1	3.6	1.9	7.6
Diffa	21.1	3.6	1.9	7.6
Maïrfa-Soroa	20.8	3.3	1.8	6.9
N'Guigmi	21.1	3.3	1.8	7.0
Boboye	20.8	3.3	1.8	6.9
Dogon-Doutchi	23.3	3.3	1.6	6.6
Dosso	23.3	3.3	1.6	6.6
Gaya	23.3	3.3	1.6	6.6
Loga	23.3	3.3	1.6	6.6
Aguié	23.3	3.3	1.6	6.6
Dakoro	22.1	3.4	1.8	7.1
Goundji	22.6	3.2	1.7	6.7
Madarounfa	20.7	3.3	1.6	6.8
Mayahi	20.7	3.3	1.6	6.8
Tessaoua	20.7	3.3	1.6	6.8
Niamey	22.9	3.2	1.7	6.6
Bkonni	22.1	3.4	1.8	7.1
Bouza	23.3	3.3	1.6	6.6
Illéla	22.4	3.2	1.7	6.6
Keita	22.1	3.2	1.7	6.6
Madaoua	22.3	3.2	1.7	6.6
Tahoua	22.4	3.2	1.7	6.6
Tchin-Tabarade	21.5	3.2	1.7	6.7
Filinguie	22.6	3.2	1.7	6.6
Kollo	21.1	3.6	1.9	7.6
Ouallam	21.1	3.6	1.9	7.6
Say	23.0	3.3	1.6	6.6
Téra	23.3	3.3	1.6	6.6
Tillabéry	23.3	3.3	1.6	6.6
Gouré	23.3	3.3	1.6	6.6
Magaria	23.3	3.3	1.6	6.6
Matameye	23.3	3.3	1.6	6.6
Mirriah	21.8	3.2	1.6	6.8
Tanout	22.1	3.4	1.8	7.1

TABLE 5.9 – Projections de précipitations pour la période 2076-2100





# 6 OUTILS INFORMATIQUES ET BASE DE DONNÉES DE PROJECTIONS SUR LES DÉPARTEMENTS

## 6.1 Outils Informatiques

En plus du rapport d'évaluation des modèles qui sera fourni au PDIPC à la fin de l'étude, il a été convenu le développement d'outils informatiques permettant :

1. l'automatisation de la vérification de n'importe quel modèle régional CORDEX ou modèle global CMIP5 au niveau d'une station spécifique
2. la mise à l'échelle statistique des données de stations qui n'auront pas été couvertes dans cette étude.

Dans cette étude, on n'a utilisé que les données à une quarantaine stations synoptiques, alors que la base de données de la météorologie nationale comportent beaucoup plus de données. En plus, ces données sont mises à jour continuellement, et de nouveaux produits climatiques sont publiés régulièrement. Le fait d'avoir ces outils informatiques a plusieurs avantages :

1. Le PDIPC pourra régulièrement refaire le choix des produits d'observations avec des mesures aux stations les plus à jour, ou de nouveaux produits d'observation sous forme de grille
2. L'évaluation peut se faire sur une autre aire géographique que le Niger.

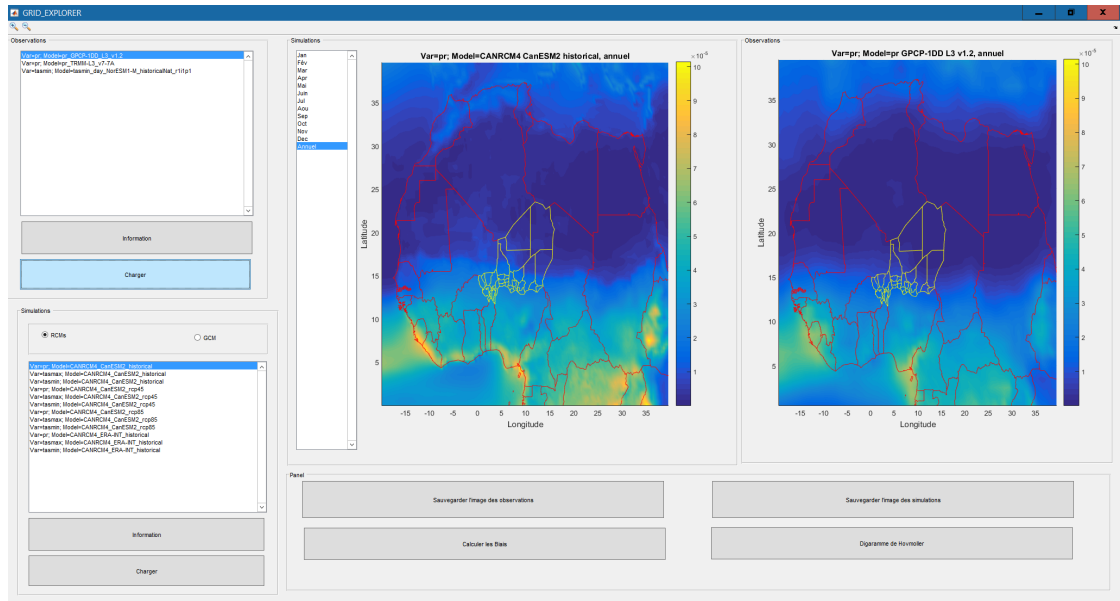


FIGURE 6.1 – Interface du logiciel

3. Les outils seront un outil pédagogique efficace pour l'enseignement des techniques d'évaluation de modèles climatiques

Une première version des deux outils informatiques a été développée en décembre 2016 et servi de support à un atelier de formation sur l'évaluation des modèles qui a eu lieu à Niamey du 19 au 23 décembre 2016. L'outil d'évaluation des modèles climatiques, dont l'interface est présentée sur la figure 6.1, permet de comparer deux à deux les éléments d'une liste de produits d'observation (panneau en haut et à gauche sur la figure) et d'une liste de simulations climatiques (panneau en bas et à gauche sur la figure).

L'outil permet le calcul des biais entre les deux produits (Figure 6.2) et le diagramme de Hövmoeller (Figure 6.3). Il permet également de classer la performance relative des modèles à une station pluviométrique particulière.

## 6.2 Base de données de projections climatiques

Une base de données de projections climatiques a été développée en mettant à l'échelle les données de température et de précipitation au niveau de 40 stations réparties sur le

## 6.2 *Base de données de projections climatiques*

territoire national. Cette base de données sera fournie aux participants à l'atelier de validation.

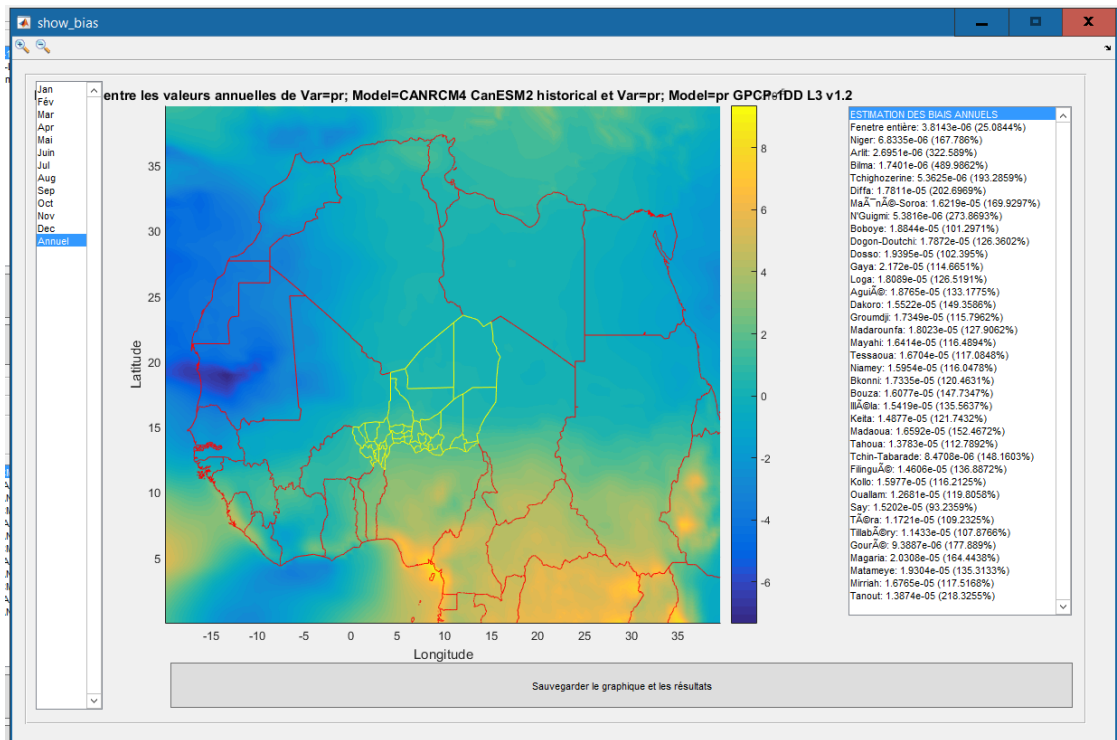


FIGURE 6.2 – Calcul du biais dans le logiciel

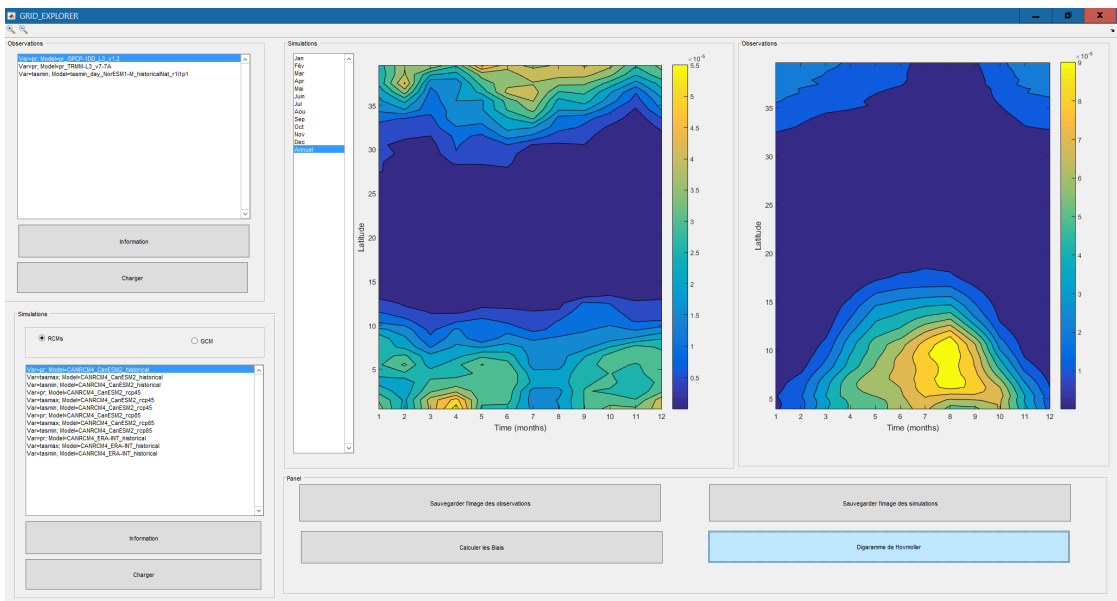


FIGURE 6.3 – Diagramme Hövmoller

## 7 RÉCAPITULATIF DES RÉSULTATS

Les principaux résultats de l'étude sont les suivants :

1. Les données d'observations et les sorties de modèles climatiques pour les principaux paramètres climatiques ont été recueillis et sont en cours d'analyse
2. Une méthodologie a été proposée pour l'évaluation des modèles climatiques sur le Niger
3. Les produits d'observation sous forme de grille ont été comparés aux données de neuf stations synoptiques. Au terme de la comparaison, le produit TRMM est recommandé comme produit d'observations de référence sous forme de grille pour les précipitations.
4. Un outil informatique a été développé pour l'évaluation des sorties de modèles CORDEX et CMIP5 pour le Niger.
5. Un outil informatique a été développé pour la mise à l'échelle statistique des sorties de modèles CORDEX et CMIP5 pour le Niger.
6. Une base de données de projections climatiques pour 40 stations réparties sur le territoire national a été développée.

On estime donc que l'étude a généré l'information climatique et les outils requis pour les études d'impact sectoriels. Il est cependant fondamental que les experts en charge de ces études d'impacts comprennent la méthodologie derrière ces données climatiques afin de mieux interpréter les résultats qu'ils obtiendront. Il faut noter que ce rapport ne présente qu'une partie des résultats et qu'une information beaucoup plus détaillée (notamment les tendances par département) seront fournies lors de l'atelier de validation.



# Bibliographie

- Abiodun, B. J., Z. D. Adeyewa, P. G. Oguntunde, A. T. Salami, and V. O. Ajayi (2012). Modeling the impacts of reforestation on future climate in West Africa. *Theoretical and Applied Climatology* 110(1-2), 77–96.
- Abiodun, B. J., J. M. Prusa, and W. J. Gutowski Jr (2008). Implementation of a non-hydrostatic, adaptive-grid dynamics core in CAM3. Part I : comparison of dynamics cores in aqua-planet simulations. *Climate dynamics* 31(7-8), 795–810.
- Abiodun, B. J., A. T. Salami, O. J. Matthew, and S. Odedokun (2013). Potential impacts of afforestation on climate change and extreme events in Nigeria. *Climate dynamics* 41(2), 277–293.
- Akinsanola, A., V. Ajayi, A. Adejare, O. Adeyeri, I. Gbode, K. Ogunjobi, G. Nikulin, and A. Abolude (2017). Evaluation of rainfall simulations over west africa in dynamically downscaled CMIP5 global circulation models. *Theoretical and Applied Climatology*.
- Dickinson, R. E., R. M. Errico, F. Giorgi, and G. T. Bates (1989). A regional climate model for the western United States. *Climatic change* 15(3), 383–422.
- Flato, G., B. A. J. Marotzke, P. Braconnot, S. Chou, W. Collins, P. Cox, F. Driouech, S. Emori, and C. V. Eyring (2013). Evaluation of climate models. In D. Q. G.-K. P. M. T. S. A. J. B. A. N. Y. X. V. B. Stocker, T.F. and P. Midgle (Eds.), *Climate Change 2013 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge United Kingdom and New York, NY, USA.

## Bibliographie

- Giorgi, F. (1990). Simulation of regional climate using a limited area model nested in a general circulation model. *Journal of Climate* 3(9), 941–963.
- Giorgi, F. (2008). Régionalisation de l'information sur les changements climatiques pour les évaluations des incidences et l'adaptation. *Bulletin de l'OMM* 57(2), 87.
- Kim, J., D. E. Waliser, C. A. Mattmann, C. E. Goodale, A. F. Hart, P. A. Zimdars, D. J. Crichton, C. Jones, G. Nikulin, B. Hewitson, C. Jack, C. Lennard, and A. Favre (2014). Evaluation of the CORDEX-africa multi-RCM hindcast : systematic model errors. *Climate Dynamics* 42(5), 1189–1202.
- Murray, V. and K. L. Ebi (2012). IPCC special report on managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation (SREX). *Journal of epidemiology and community health* 66(9), 759–760.
- Solmon, F., M. Mallet, N. Elguindi, F. Giorgi, A. Zakey, and A. Konaré (2008). Dust aerosol impact on regional precipitation over western Africa, mechanisms and sensitivity to absorption properties. *Geophysical Research Letters* 35(24).
- Sylla, M. B., A. T. Gaye, and G. S. Jenkins (2012). On the fine-scale topography regulating changes in atmospheric hydrological cycle and extreme rainfall over West Africa in a regional climate model projections. *International Journal of Geophysics* 2012.
- Taylor, K. E. (2001). Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of Geophysical Research : Atmospheres* 106, 7183–7192.
- van Vuuren, D. P., J. Edmonds, M. Kainuma, K. Riahi, A. Thomson, K. Hibbard, G. C. Hurtt, T. Kram, V. Krey, J.-F. Lamarque, T. Masui, M. Meinshausen, N. Nakicenovic, S. J. Smith, and S. K. Rose. The representative concentration pathways : an overview. *109(1)*, 5–31.
- Wang, G. (2004, July). A Conceptual Modeling Study on Biosphere–Atmosphere Interactions and Its Implications for Physically Based Climate Modeling. *Journal of Climate* 17(13), 2572–2583.



Weedon, G. P., G. Balsamo, N. Bellouin, S. Gomes, M. J. Best, and P. Viterbo (2014). The WFDEI meteorological forcing data set : WATCH forcing data methodology applied to ERA-interim reanalysis data. *Water Resources Research* 50(9), 7505–7514.