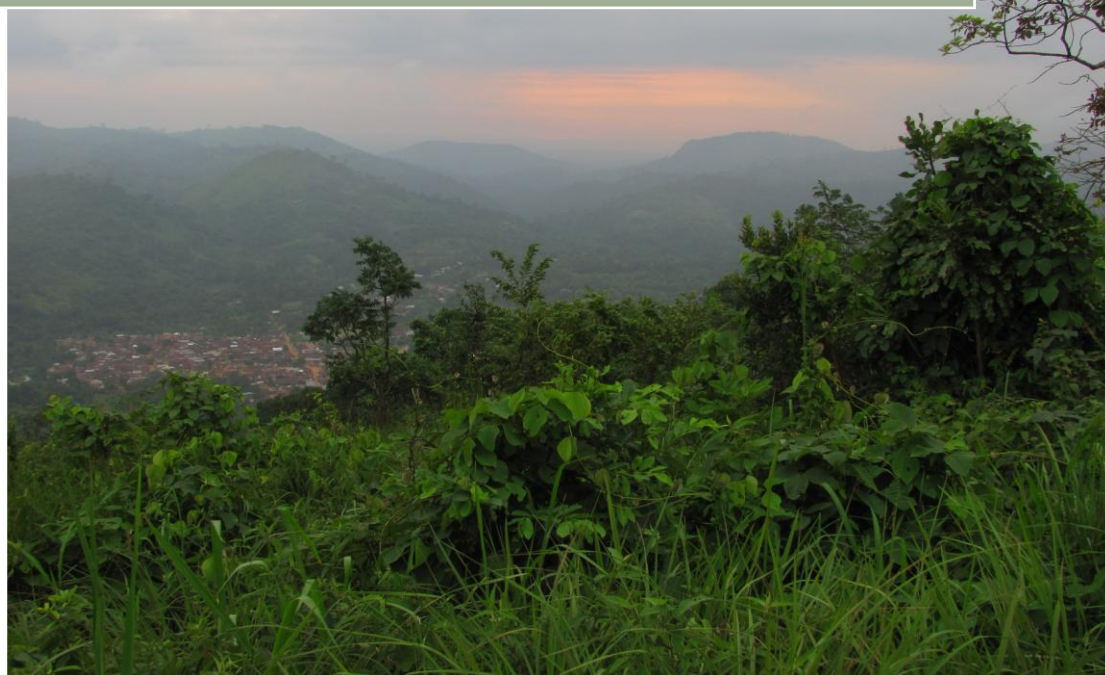


# Aires Protégées Résilientes au Changement Climatique, PARCC Afrique de l'Ouest



2012

Dérivation de données climatiques de haute résolution pour l'Afrique de l'Ouest pour la période 1950-2100



Français

Richard Jones, Andrew Hartley,  
Carol McSweeney, Camilla  
Mathison et Carlo Buontempo

Met Office Hadley Centre

2012



Le programme des Nations Unies pour l'environnement, Centre de surveillance de la conservation de la nature (UNEP-WCMC) est le centre spécialisé d'évaluation de la biodiversité du programme des Nations Unies pour l'environnement, l'organisation environnementale intergouvernementale la plus importante dans le monde. Le Centre a été en opération depuis plus de 30 ans, alliant recherche et conseils politiques pratiques.



*Dérivation de données climatiques de haute résolution pour l'Afrique de l'Ouest pour la période 1950-2100*, rédigé par Richard Jones, Andrew Hartley, Carol McSweeney, Camilla Mathison et Carlo Buontempo, avec le financement du Fonds pour l'environnement mondial (FEM) par le biais du PNUE.

**Droits d'auteur :** 2012. Programme des Nations Unies pour l'environnement.

**Reproduction :** La reproduction de cette publication à des fins éducatives ou non commerciales est autorisée sans permission spéciale, à condition que la reconnaissance de la source soit faite. La réutilisation de toutes les figures est soumise à l'autorisation des détenteurs des droits d'origine. Aucune utilisation de cette publication ne peut être effectuée pour la vente ou toute autre fin commerciale, sans la permission écrite du PNUE. Les demandes d'autorisation, accompagnées d'une déclaration de l'intention et de l'étendue de la reproduction, doivent être envoyées au Directeur, UNEP-WCMC, 219 Huntingdon Road, Cambridge, CB3 0DL, Royaume-Uni.

**Non responsabilité :** Le contenu de ce rapport ne reflète pas nécessairement les vues ou la politique du PNUE, des organisations participantes ou des éditeurs. Les appellations employées et la présentation des documents dans ce rapport n'impliquent pas l'expression d'une opinion quelconque de la part du PNUE ou des organisations participantes, ou des éditeurs concernant le statut juridique des pays, territoires, villes ou leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites ou la désignation de leurs noms, frontières ou limites. La mention d'une entité commerciale ou d'un produit dans cette publication n'implique pas son approbation par le PNUE.

**Citation :** Jones R., Hartley A., McSweeney C., Mathison C. et Buontempo C. 2012. *Dérivation de données climatiques de haute résolution pour l'Afrique de l'Ouest pour la période 1950-2100. UNEP-WCMC technical report.*

**Disponibilité :** UNEP World Conservation Monitoring Centre (UNEP-WCMC)  
219 Huntingdon Road, Cambridge CB3 0DL, UK  
Tel: +44 1223 277314; Fax: +44 1223 277136  
Email: [protectedareas@unep-wcmc.org](mailto:protectedareas@unep-wcmc.org)  
URL: <http://www.unep-wcmc.org>

Photo de couverture : Mont Klouto, Kpalimé, Togo. *Droits d'auteur : Elise Belle.*

UNEP promotes environmentally sound practices globally and in its own activities. This publication is printed on 100% recycled paper, using vegetable-based inks and other eco-friendly practices. Our distribution policy aims to reduce UNEP's carbon footprint.

## Table des matières

---

|  |    |
|--|----|
| RESUME EXECUTIF .....  | 4  |
| 1. INTRODUCTION .....  | 5  |
| 2. LES SIMULATIONS DE MODELES CLIMATIQUES REGIONAUX POUR L'AFRIQUE ..... | 7  |
| 2.1 <i>Les Grands lacs africains</i> .....                               | 8  |
| 3. LES PROCEDURES DE SELECTION .....                                     | 10 |
| 3.1 <i>Validation des simulations climatiques africaines</i> .....       | 12 |
| 3.2 <i>Sélection pour l'Afrique</i> .....                                | 22 |
| 4. RESUME.....   | 25 |
| 5. REFERENCES .....  | 26 |

## Résumé Exécutif

---

Le présent rapport expose une synthèse de la conception expérimentale de simulations de modèles régionaux d'ensembles, réalisées par le bureau météorologique du Centre Hadley (MOHC) afin d'apporter au projet PARCC des données de base, et relatives aux prévisions climatiques, de haute résolution. Les simulations de modèles sont réalisées pour la période allant de décembre 1949 à décembre 2100 par le biais du système de modélisation du climat régional PRECIS, développé par le MOHC, en se basant sur le programme MOSES2.2 de la surface du sol carrelée et sur le scénario A1B SRES, sur le domaine CORDEX-Afrique (Giorgi et al, 2009) à 50 km de résolution. Ces simulations génèrent un jeu de données complet de variables relatives à la surface et au climat atmosphérique, notamment les températures et les précipitations minimales et maximales à une échelle journalière et mensuelle, à 50 km de résolution spatiale.

Les données relatives aux délimitations latérales proviennent d'un sous-ensemble de 5 éléments tirés de l'ensemble d'éléments physiques perturbateurs QUMP<sup>1</sup> du centre Hadley. Le choix du modèle est principalement basé sur l'analyse régionale des simulations climatiques mondiales pour l'Afrique et ses sous-régions, tout en s'attachant particulièrement à certaines régions telles que l'Afrique centrale et de l'Ouest. Les éléments de l'ensemble QUMP sont sélectionnés en vue de capturer l'ampleur des résultats issus de l'ensemble complet, tout en excluant tout élément ne représentant pas le climat africain de manière réaliste. La méthodologie utilisée par le bureau météorologique pour prendre ces décisions est également décrite.

Les principaux points découlant de l'analyse régionale pour l'Afrique de l'Ouest sont les suivants :

- En règle générale, les données de répartition géographique à grande échelle relatives aux températures et aux précipitations du climat africain sont capturées ; toutefois, leur ampleur ne soutient pas toujours la comparaison avec les observations. Un échantillon est sélectionné à condition qu'il capture la totalité des résultats produits par l'ensemble QUMP et qu'il capture les variations annuelles pour le plus grand nombre de sous-régions possible.
- Pour toute l'Afrique de l'Ouest, Q0 et Q2 correspondent à l'extrémité de l'amplitude de changements de températures anticipés présentant le degré de fraîcheur le plus élevé, et Q13 et Q14 correspondent à l'extrémité de l'amplitude présentant le degré de chaleur le

---

<sup>1</sup> QUMP correspond à la « Quantification des incertitudes dans les prévisions des modèles » et fait référence à l'ensemble de 17 éléments physiques perturbateurs, basé sur le MCG HadCM3. Les éléments de l'ensemble sont numérotés de Q0 à Q16.

plus élevé, ce qui permet de déterminer la variation des températures. Q0 et Q9 capturent l'ampleur des changements anticipés en termes de précipitations.

- Ainsi, l'ampleur des résultats produits par l'ensemble est déterminée par : Q0, Q2, Q9, Q13 et Q14.

## 1. Introduction

---

Les Modèles de circulation générale (MCG) présentent une projection basée sur les éléments physiques quant à la manière dont le climat pourrait être amené à changer à l'avenir. Les projections des MCG peuvent être appropriées jusqu'à quelques centaines de kilomètres environ, mais ne sont pas en mesure de capturer les détails à l'échelle locale, souvent nécessaires dans les études d'impact aux niveaux national et régional. Une méthode largement valable en vue d'intégrer de tels détails aux projections mondiales consiste à recourir à un modèle climatique régional (MCR). Les MCR, tout comme les MCG, sont basés sur des éléments physiques et résolvent les processus, les interactions et les réactions entre les composants du système climatique de manière dynamique, mais leur résolution est supérieure sur une zone restreinte, déterminée par un MCG au niveau de ses délimitations latérales.

Les océans ne sont généralement pas modélisés par les MCR, car les coûts informatiques en seraient nettement plus élevés, ces modèles n'enrichissant que faiblement les projections sur les espaces terrestres où sont menées la plupart des études d'impact. Cependant, le flux dynamique, le cycle atmosphérique du soufre, les nuages et les précipitations, les processus radiatifs, la surface terrestre et les couches profondes du sol sont des caractéristiques qui sont toutes décrites dans le MCR, à savoir PRECIS dans le cas présent (Jones et al., 2004). Les MCR sont des modèles à domaine limité et, au niveau de leurs délimitations, doivent donc être exécutés par rapport à des champs à grande échelle définis en fonction du temps (p. ex. le vent, la température, la vapeur d'eau et la pression superficielle, et la température de la mer en surface sur le maillage maritime du modèle). Dans le présent document, ces informations sont fournies par le MCG HadCM3 (Gordon et al., 2000 ; Pope et al., 2000 ; Collins et al., 2001). La Section 2 présente davantage d'informations relatives à la configuration du MCR.

Une simulation de modèle unique fournit une représentation du climat, sans indications concernant les incertitudes. L'utilisation d'une série de différentes simulations de modèles permet de mieux comprendre de quelle manière la différence de formulation des modèles est

susceptible d'engendrer des incertitudes dans les projections. Deux méthodes de production d'un ensemble de modèles climatiques sont actuellement employées. L'une correspond à un ensemble multi-modèle (EMM), où de nombreux centres de modélisation mettent à disposition leurs simulations de MCG pour un scénario d'émissions spécifique, afin de générer une série de climats anticipés. L'autre approche consiste à perturber les paramètres physiques, et à développer une série de climats anticipés basés uniquement sur un seul modèle climatique ; il s'agit de l'Ensemble des éléments physiques perturbateurs (EPP).

L'approche de l'EPP permet de tester systématiquement les incertitudes liées à la modélisation par la perturbation des paramètres incertains (Collins et al., 2006). Le bureau météorologique du Centre Hadley a exécuté un ensemble d'éléments physiques perturbateurs composé de 17 éléments, nommé « Quantification des incertitudes dans les prévisions des modèles » (QUMP de son acronyme), basé sur le modèle mondial HadCM3 (Gordon et al., 2000 ; Pope et al., 2000 ; Collins et al., 2001), dans le cadre des Projections climatiques du Royaume-Uni (UKCP09, Murphy et al., 2009). L'objectif de ce projet était de réaliser une évaluation complète des incertitudes liées au climat, par rapport aux possibilités d'adaptation au Royaume-Uni.

Les éléments individuels de l'ensemble QUMP sont désignés en tant que HadCM3Q0-16, HadCM3Q0 correspondant à l'élément non perturbateur (les valeurs des paramètres sont les mêmes que celles utilisées par le MCG de base HadCM3). Les éléments perturbateurs Q1-16 sont numérotés en fonction de la valeur attribuée à leur sensibilité au climat mondial, Q1 présentant la réaction la plus faible à toute augmentation donnée du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère en termes de température moyenne mondiale, et Q16 présentant la réaction la plus forte. Dans la suite de ce document, ces modèles sont simplement désignés en tant que « Q0-Q16 ».

La réduction d'échelle d'un ensemble de MCG de cette taille avec un MCR exigerait la mobilisation d'importantes ressources. Par conséquent, nous utilisons une méthode décrite dans McSweeney et al. (2012) pour extraire un échantillon de l'ensemble, dans le but de sélectionner un sous-ensemble qui représente une série de résultats proche de celle issue de l'ensemble complet.

L'organisation expérimentale pour les simulations de modèles régionaux est décrite dans la section 2, avec notamment un exposé relatif à certaines adaptations réalisées sur des fichiers de données afin d'améliorer la représentation des grands lacs africains dans le modèle. Les

Sections 3 et 4 décrivent, respectivement, la méthode et la sélection qui en découle des éléments de l'ensemble pour l'Afrique, la Section 4 comprenant la sélection finale.

## **2. Les simulations de modèles climatiques régionaux pour l'Afrique**

La configuration régionale du modèle climatique du bureau météorologique du Centre Hadley, PRECIS (Jones et al., 2004), est réalisée pour la période allant de décembre 1949 à décembre 2100 pour toute l'Afrique, en utilisant le domaine défini par le projet CORDEX (Expérience coordonnée de réduction d'échelle des prévisions météorologiques au niveau régional) (Giorgi et al., 2009). Celle-ci est représentée dans la Figure 1. La configuration de ces simulations présente une résolution de 50 km, avec 19 niveaux atmosphériques, et comprend MOSES 2.2 (Programme d'échange de surface du bureau météorologique, version 2.2), un programme de la surface du sol carrelée (Essery et al., 2001) à 4 niveaux de sols. Les éléments choisis de l'ensemble mondial QUMP, en utilisant la méthodologie décrite dans la Section 3, déterminent les critères de délimitation des simulations des MCR.

Pour tous les éléments de l'ensemble, le scénario SRES A1B (Nakićenović et al., 2000) est utilisé pour représenter les émissions anticipées. Ce scénario ne comprend aucune réduction et représente seulement une projection parmi plusieurs envisagées dans le 4<sup>ème</sup> rapport d'évaluation du GIEC (Meehl et al., 2007).

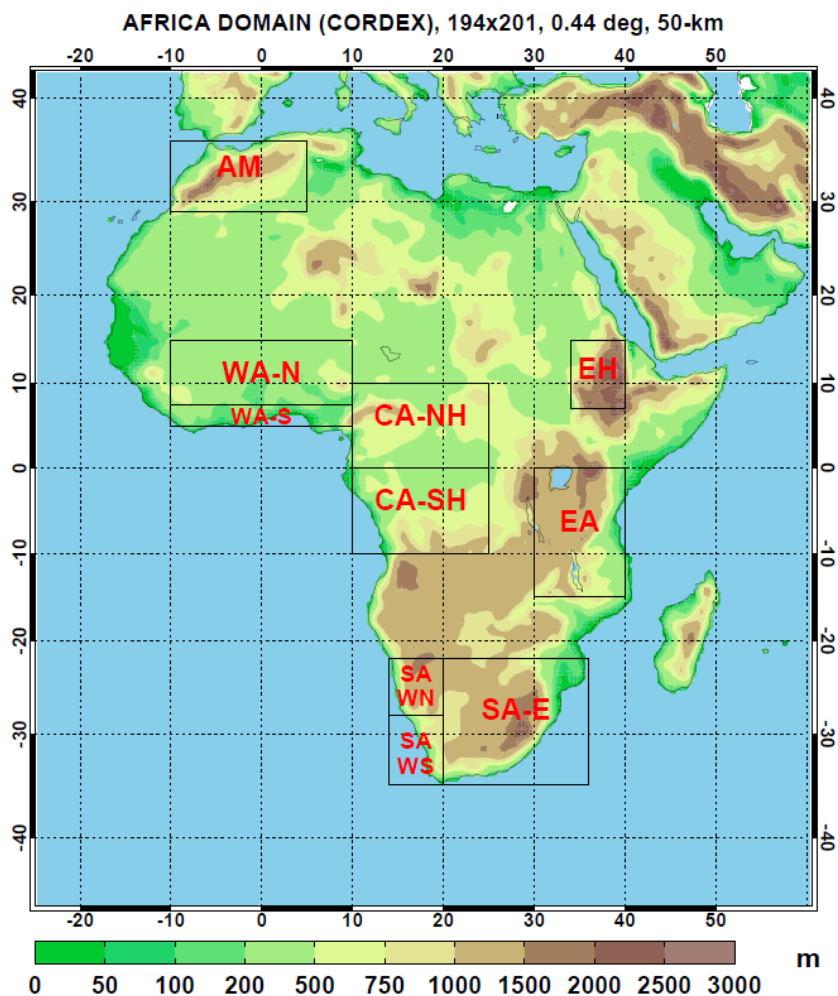


Figure 1. Domaine utilisé dans les simulations issues du projet CORDEX

## 2.1 Les Grands lacs africains

Les Grands lacs africains constituent une caractéristique essentielle de l’Afrique, et influencent le climat de la région. La configuration MOSES2.2 de PRECIS ne comporte pas de modèle spécifique aux lacs, et certaines hypothèses sont donc faites dans le modèle lorsque les lacs sont paramétrés en tant que masses d’eaux continentales ou zones de mer. L’une des limites de cette configuration spécifique du modèle régional correspond à la supposition que les lacs sont situés au niveau de la mer, et que les températures des lacs en surface sont interpolées à partir de la zone maritime la plus proche. Cette approche engendre un écart de températures plus élevées des lacs en surface et, par conséquent, une évaporation excessive. Afin d’atténuer le problème lié à ces simulations, deux actions ont été mises en place. Premièrement, les Grands lacs sont paramétrés en tant que zones terrestres dans le domaine de l’orographie, ce qui les situe à la bonne altitude au-dessus du niveau de la mer, tout en les conservant en tant que masses d’eaux grâce au masque terre-mer. Deuxièmement, les températures des lacs en surface sont corrigées par rapport aux valeurs



interpolées à partir de zones maritimes, par le biais d'observations des températures des lacs en surface.

Les observations qui ont servi à corriger les écarts des températures de la mer en surface dans le modèle sont celles issues du projet ARCLake (MacCallum et Merchant, 2010, 2011). Les températures moyennes de trois des Grands lacs faisant partie du domaine africain sont utilisées pour estimer le cycle annuel des températures des Lacs Nyasa (Malawi), Tanganyiki et Victoria. Les écarts sont calculés à partir de la moyenne observée pour les lacs. Ces résultats sont ensuite utilisés pour ramener les températures des lacs en surface dans le modèle vers la moyenne des observations ARCLake. La Figure 2 illustre ce processus : la courbe noire décrit le cycle annuel des observations, et les courbes orange et jaune correspondent au cycle annuel des données originales. Une fois les écarts corrigés par rapport aux observations, les températures des lacs en surface dans le modèle sont bien plus proches des températures moyennes ARCLake observées. Une hypothèse capitale dans cette approche a trait au fait que les corrections apportées aux écarts demeureront pertinentes à l'avenir, c.-à-d. que la différence entre les températures moyennes réelles des lacs (fournies par ARCLake) et les températures interpolées depuis la zone maritime la plus proche restera inchangée dans un climat futur. Toutefois, étant donné que l'écart entre les données du modèle et les températures moyennes des lacs fournies par ARCLake est vaste, près de 3°C dans certains cas, l'application de la correction des écarts est nécessaire afin de garantir que le climat actuel et d'un avenir proche soit représenté correctement. Dans le cadre du domaine de l'Afrique de l'Ouest, seuls les lacs Aby et Ebrie dans le sud de la Côte d'Ivoire étaient disponibles dans la base de données ARCLake.

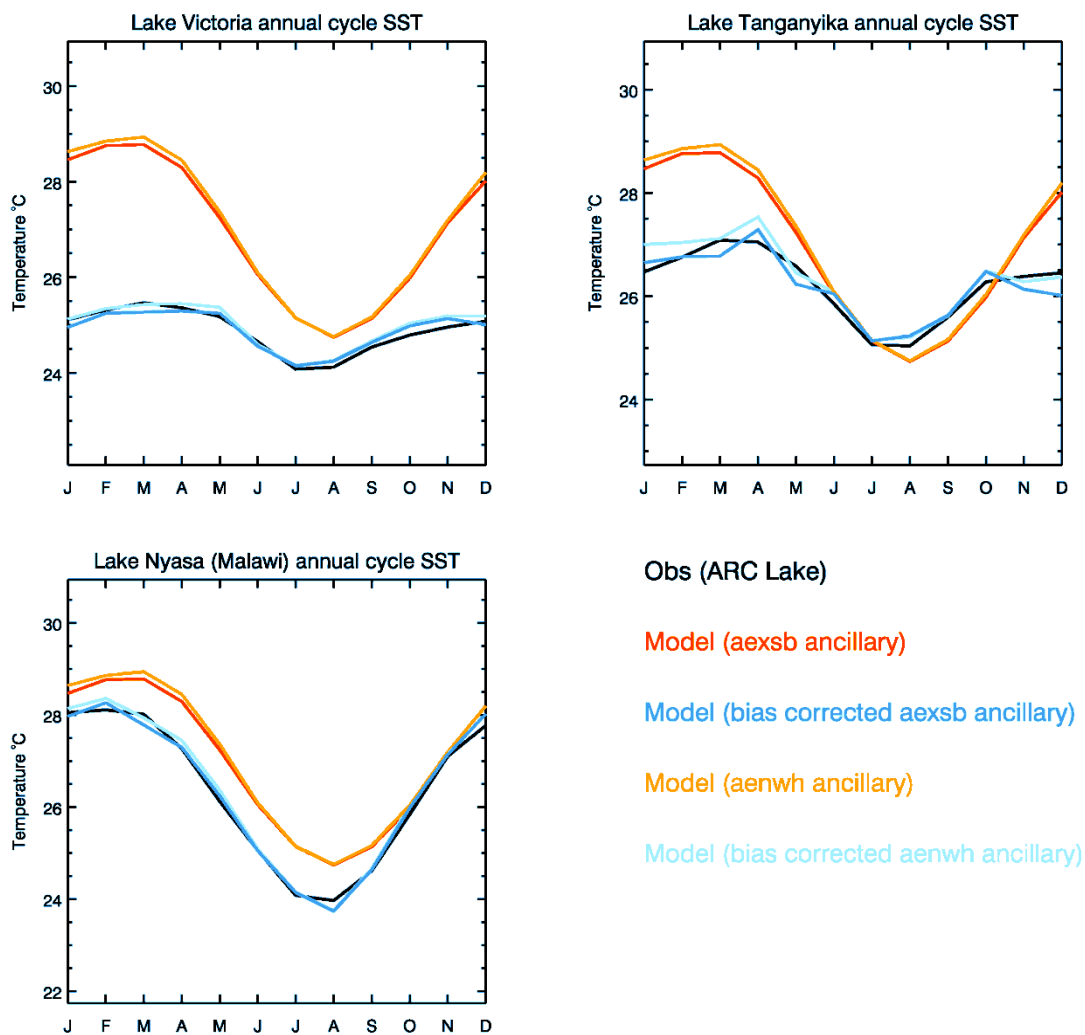


Figure 2. La variation annuelle des observations ARCLake (en noir) ; les données originales des températures des lacs en surface pour deux des éléments de l'ensemble du modèle (en rouge et en jaune) ; et les données des températures des lacs en surface une fois les écarts corrigés en fonction des observations (en bleu et en bleu clair).

### 3. Les procédures de sélection

Afin d'obtenir un éventail de résultats climatiques plausibles tout en minimisant les exigences en termes de ressources, un sous-ensemble de l'ensemble principal QUMP de 17 éléments a été déterminé pour réduire l'échelle, initialement mondiale, et générer des informations spécifiques aux régions. L'objectif consiste à sélectionner un échantillon qui caractérise l'éventail de projections climatiques pour d'importantes régions d'Afrique, notamment l'Afrique de l'Ouest. Afin de sélectionner l'échantillon le plus approprié, il est important de prendre en considération le vaste éventail de régimes climatiques présents à travers l'Afrique. Aussi, outre la validation des projections de l'ensemble QUMP par rapport aux données relatives aux températures et aux précipitations pour toute l'Afrique, nous présentons également les résultats de deux sous-régions

géographiques choisies pour représenter les différents régimes climatiques à travers l’Afrique. La Figure 3 illustre les différentes régions climatiques, qui sont les suivantes :

1. Toute l’Afrique
2. Le Sahel de l’Ouest
3. L’Afrique tropicale de l’Ouest

Les coordonnées qui ont été utilisées pour déterminer la région de l’Afrique et les autres sous-régions climatiques sont illustrées dans la Figure 3 et détaillées dans le Tableau 1.

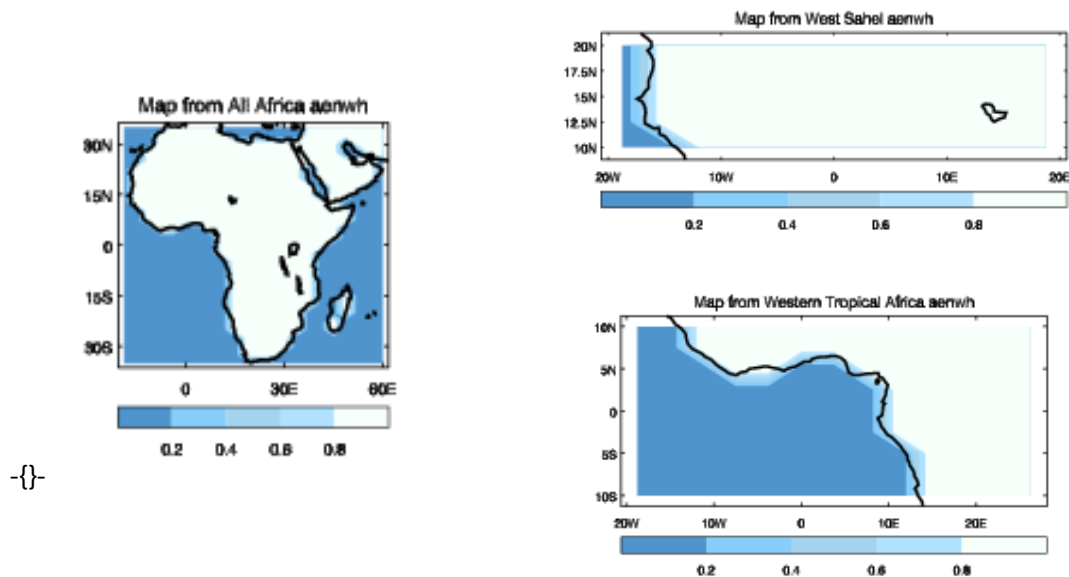


Figure 3. Régions sélectionnées pour valider les éléments de l’ensemble QUMP à travers différentes régions climatiques d’Afrique. De gauche à droite sur chaque ligne, les groupes couvrent : l’Afrique, l’Afrique tropicale de l’Ouest et le Sahel de l’Ouest.

| Région                                  | Longitude ouest<br>(O) | Longitude est (E) | Latitude nord (N) | Latitude sud (S) |
|---|------------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| <b>Afrique</b>                          | -20°                   | 60°               | 36°               | -35°             |
| <b>Sahel de l’Ouest</b>                 | -20°                   | 20°               | 20°               | 10°              |
| <b>Afrique tropicale<br/>de l’Ouest</b> | -20°                   | 27.5°             | 10°               | -10°             |

Tableau 1. Coordonnées des sous-régions africaines.

La sélection d’un échantillon représentatif issu de l’ensemble QUMP qui soit approprié pour l’Afrique et l’Afrique de l’Ouest est effectuée en adoptant la procédure décrite dans McSweeney et al. (2012) :

1. Eliminer les éléments de l'ensemble peu efficaces dans la simulation des caractéristiques essentielles du climat régional africain actuel.
2. Sélectionner, parmi les éléments restants, un sous-ensemble qui capture l'amplitude des réactions en termes de températures et de précipitations simulées par les 17 éléments de l'ensemble QUMP.

### 3.1 Validation des simulations climatiques africaines

Afin de confirmer l'efficacité des modèles, nous comparons les cycles annuels observés et simulés des températures et des précipitations ainsi que les tendances géographiques des précipitations et des vents à 850 hPa (vitesse et direction) dans les simulations à ceux des jeux de données observées. Le Tableau 2 détaille les jeux de données observées qui ont été utilisés.

| Jeu de données | Variables utilisées | Résolution   | Source   | Référence                  |
|----------------|---------------------|--|--|----------------------------|
| <b>CRU 3.0</b> | Température à 1,5 m | 0,5° mensuellement,<br>1900-2006 en zone<br>terrestre uniquement | Données des stations<br>alignées sur le<br>maillage  | Mitchell et Jones,<br>2005 |
| <b>ERA40</b>   | Vents à 850 hPa     | 2,5° mensuellement,<br>1979-1993                                 | Nouvelle analyse   | Uppala et al.,<br>2005     |
| <b>CMAP</b>    | Précipitations      | 2,5° mensuellement,<br>1979-2002                                 | Données des stations<br>alignées sur le<br>maillage, fusionnées<br>aux données<br>satellites | Xie et Arkin, 1997         |

Tableau 2. Les jeux de données d'observation utilisés pour valider les simulations de modèles régionaux pour l'Afrique.

Les cycles annuels pour chacune des sous-régions sont présentés dans la Figure 3. La variation annuelle des températures (à gauche) et des précipitations (à droite) pour l'Afrique, le Sahel de l'Ouest et l'Afrique tropicale de l'Ouest. La ligne noire représente les valeurs observées et les lignes de couleur décrivent les résultats du modèle.

. Le cycle annuel des températures pour l'ensemble de l'Afrique indique que les modèles capturent le cycle saisonnier des températures de manière réaliste, bien que la majorité des éléments surestiment légèrement les températures entre mai et septembre (Figure 4, en haut à gauche). L'ampleur des résultats est importante pour les deux sous-régions.

La plupart des modèles capturent également les différents cycles de températures saisonnières des sous-régions de manière similaire. Le modèle Q16 est en général systématiquement le modèle le plus chaud, et se distingue des autres modèles, alors que Q4 correspond au modèle le plus frais. Les températures pour le Sahel de l'Ouest, Figure 4 (au centre à gauche), sont généralement sous-estimées par la plupart des modèles sur la période d'avril à juin.

Les éléments de l'ensemble capturent en général le cycle annuel des précipitations pour les régions d'Afrique présentées ici (dans la Figure 4, colonne de droite). Toutefois, l'ampleur se différencie parmi les éléments de l'ensemble pour différentes régions, de même que le degré de similarité entre les simulations et les observations. Les modèles capturent la saison des pluies principale dans la région du Sahel de l'Ouest en JAS, bien que la saison des pluies débute trop tôt dans la plupart des modèles, et la variation de l'ampleur des précipitations lors de la saison des pluies est vaste. Les précipitations dans la région tropicale de l'ouest (Figure 4, en bas à droite) arrivent aux bonnes saisons, mais sont systématiquement trop importantes, à un degré variable selon chaque modèle spécifique.

Cependant, deux aspects sont à prendre en compte par rapport à l'analyse des précipitations. Premièrement, la modélisation du climat africain est une procédure complexe, tel que souligné dans la 4<sup>ème</sup> évaluation du GIEC qui présente les erreurs systématiques survenant en Afrique et aux alentours dans un grand nombre de MCG décrits dans ce rapport. Dans 90 pour cent des modèles exposés dans la 4<sup>ème</sup> évaluation du GIEC, un excès de précipitations est constaté (d'une moyenne de 20 pour cent) pour le sud de l'Afrique, et la Zone de convergence intertropicale est déplacée vers l'équateur. Par ailleurs, plusieurs MCG du GIEC n'incluent aucune représentation de la mousson ouest-africaine (Meehl et al., 2007). Des différences sont donc couramment constatées entre l'ensemble du modèle HadCM3 étudié ici et les observations et, dans ce contexte, ce modèle est par conséquent plutôt satisfaisant. Deuxièmement, les quantités de précipitations dans la région sahélienne de l'Afrique de l'Ouest sont très faibles, les erreurs de simulation pouvant donc sembler beaucoup plus importantes qu'elles ne le sont en réalité. Dans ce cas, il est utile de faire également référence aux tendances géographiques des précipitations et de les comparer aux observations afin de déterminer si les éléments de l'ensemble capturent la situation synoptique observée.

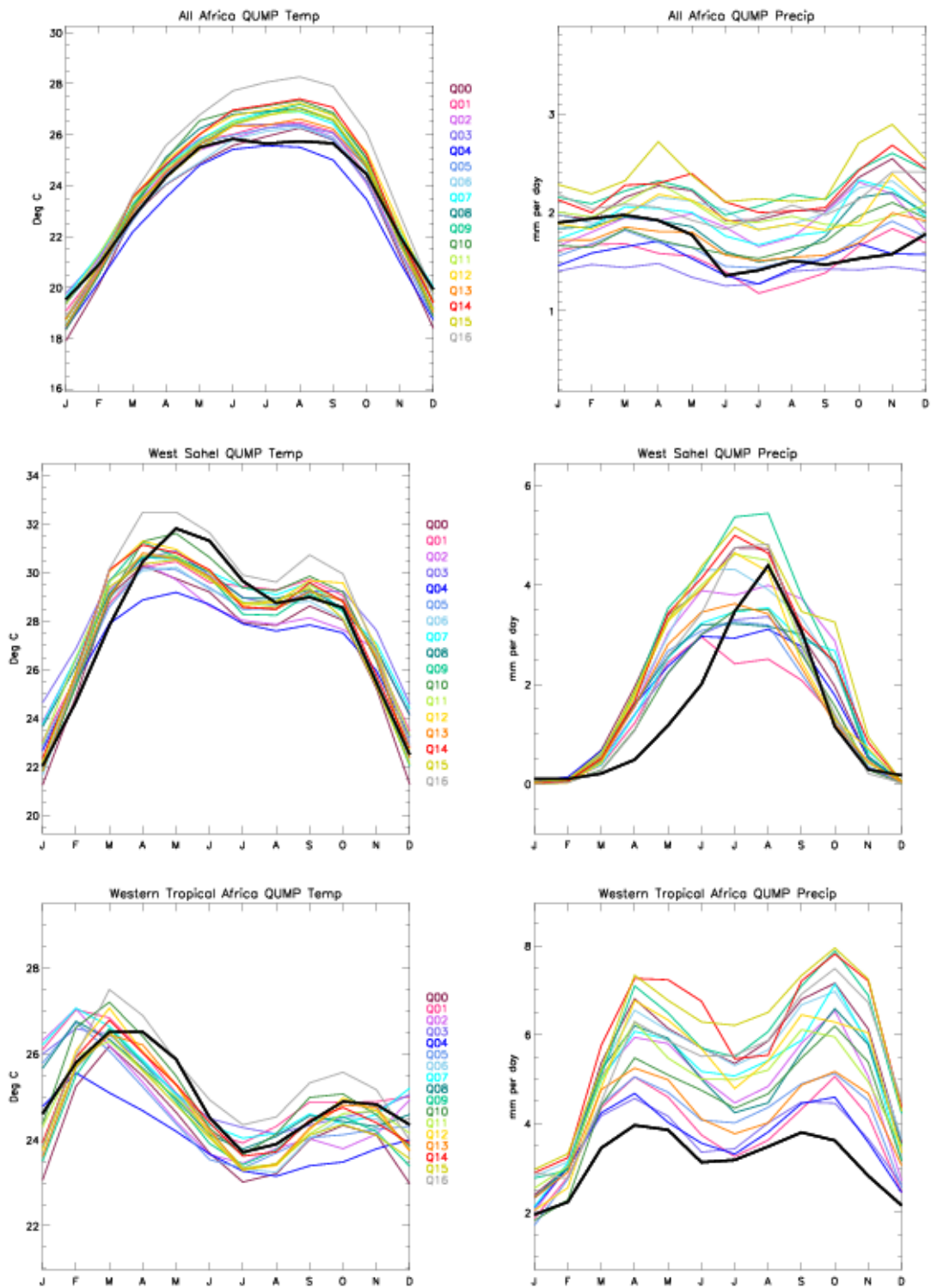


Figure 3. La variation annuelle des températures (à gauche) et des précipitations (à droite) pour l’Afrique, le Sahel et l’Afrique tropicale de l’Ouest. La ligne noire représente les valeurs observées et les lignes de couleur décrivent les résultats du modèle.

Les figures 5 et 6 représentent les précipitations pour l'Afrique durant les saisons, respectivement, de juin, juillet, août, septembre (JJAS) et de décembre, janvier, février (DJF). Les tendances à grande échelle sont généralement capturées par tous les éléments de l'ensemble, toutefois nombre d'entre eux surestiment l'ampleur des précipitations sur la partie centrale du sud de l'Afrique, notamment en DJF. Dans la Figure 6, les modèles de sensibilité inférieure (Q1-Q5) correspondent généralement à l'ampleur de la climatologie observée en DJF en termes de précipitations, davantage que les modèles de sensibilité supérieure (Q15 et Q16). Les périodicités et la situation géographique des phases et des régions pluvieuses sont cependant réalistes.

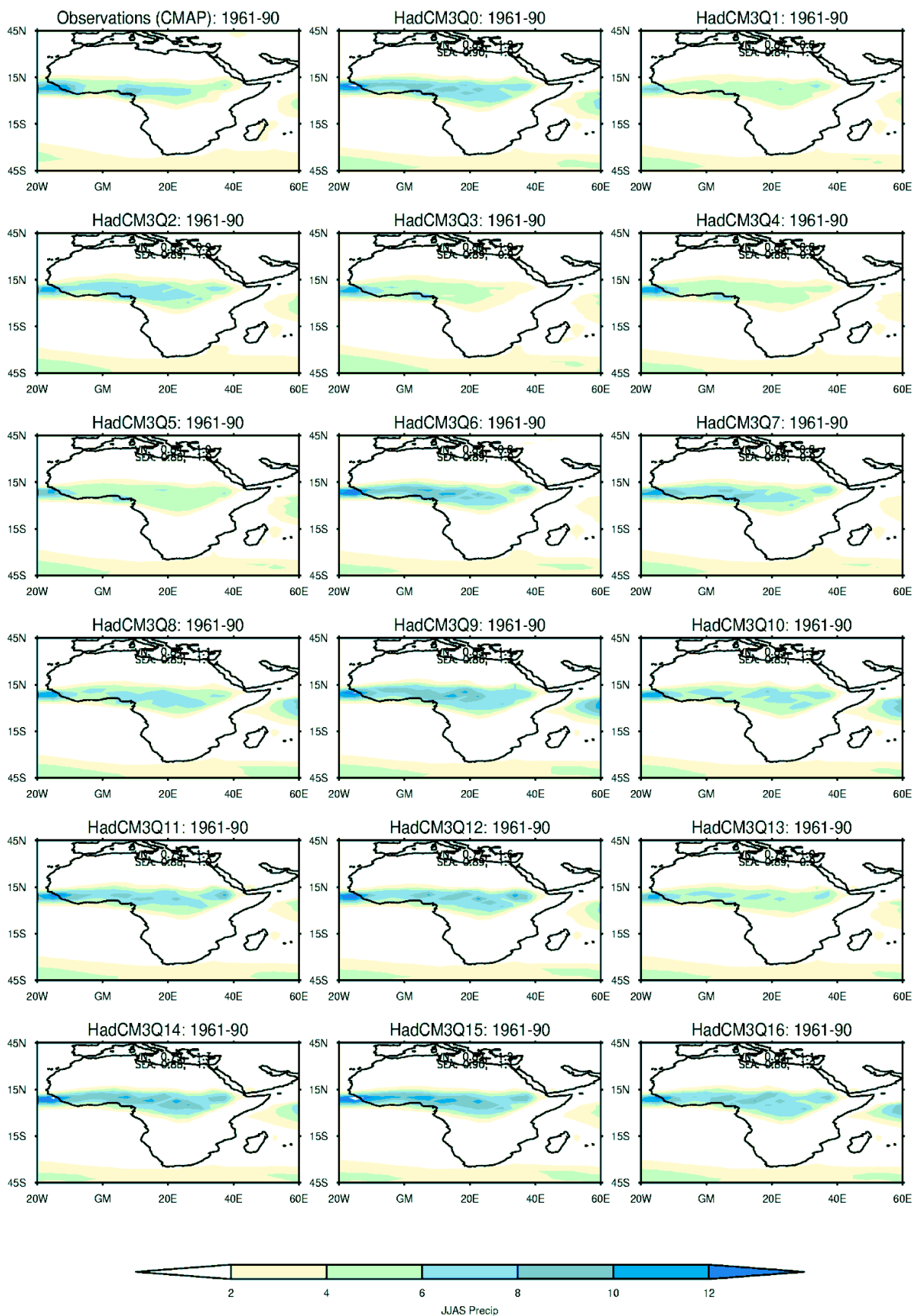


Figure 4 Comparaison des précipitations observées et simulées pour l’Afrique en JJAS. Les observations ont été relevées au cours de la période de 1979-1998, et les données de simulation au cours de la période de 1961-1990.



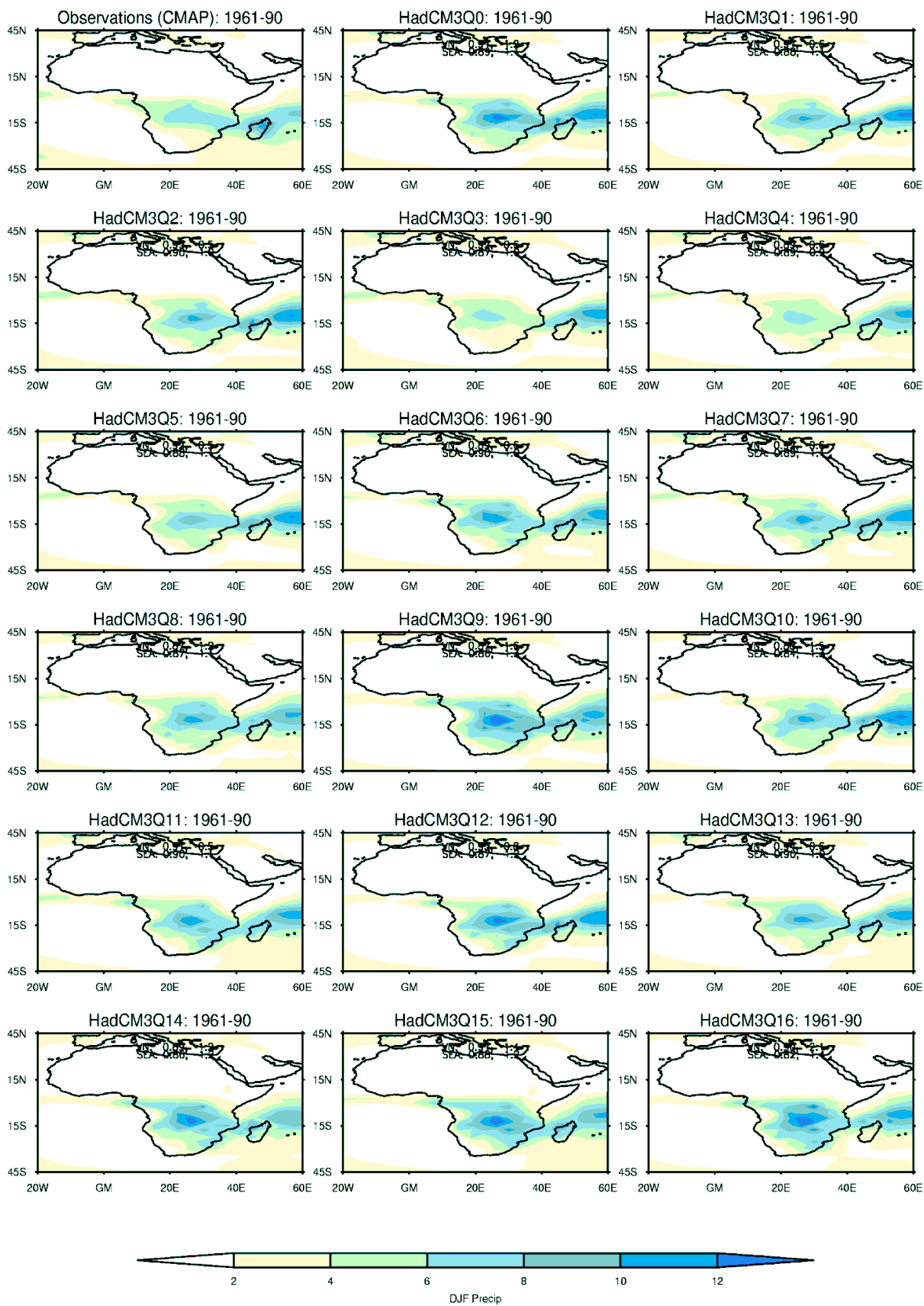


Figure 5. Comparaison des précipitations observées et simulées pour l'Afrique en DJF. Les observations ont été relevées au cours de la période de 1979-1998, et les données de simulation au cours de la période de 1961-1990.

Les figures 7 et 8 comparent les vents à 850 hPa simulés, respectivement, pendant les mois de JJAS et DJF à partir du jeu de données ERA40 (Uppala et al., 2005). Comme dans le cas des cartes de précipitations (Figure 5 et Figure 6), les modèles reproduisent généralement les tendances dominantes de circulation, en indiquant la direction des alizés (nord-est et sud-est). Au cours de la période de JJAS, les régions présentant des vents de vitesse plus élevée sur la corne de l'Afrique (désignés sous le nom de « jet de Somalie ») sont également capturées. Toutefois, un certain degré de variation est relevé entre les éléments de l'ensemble sous l'ampleur du Jet de Somalie, Q2, Q3, Q6 et Q7 correspondant davantage aux observations que les autres éléments de l'ensemble. La direction des alizés de DJF est également capturée par la plupart des éléments de l'ensemble, p. ex. Q8, Q9, Q11 et Q13. Toutefois, l'ampleur des vents sur le Sahel et le sud de l'Afrique est légèrement surestimée pour la plupart des éléments de l'ensemble. Parmi tous les éléments de l'ensemble, Q3 correspond le plus à la climatologie observée en termes d'ampleur de la vitesse des vents en DJF.

Les tendances des températures de la terre et de la mer en surface (non représentées ici) soutiennent en général la comparaison, respectivement, avec les observations provenant de CRU et les jeux de données HadISST. Cependant, certains des éléments de l'ensemble, particulièrement les modèles de sensibilité supérieure (Q9 - Q16), surestiment les températures dans les régions qui présentent des températures élevées. Les tendances de la pression moyenne au niveau de la mer (non représentées) pour les éléments de l'ensemble soutiennent également la comparaison avec les observations.

Notre validation des 17 modèles dénote que, quoique tous les modèles capturent les vastes tendances saisonnières et géographiques pour des caractéristiques climatiques clés, la variation d'ampleur de caractéristiques telles que les précipitations saisonnières, et le réalisme de cette ampleur, varient d'un modèle à l'autre. Toutefois, il n'est pas simple d'identifier un sous-ensemble de modèles qui soient plus ou moins efficaces à travers toute la région ; les modèles les moins satisfaisants dans certaines régions sont en général les plus réalistes dans d'autres.

Notre approche consiste donc à sélectionner le sous-ensemble en se basant principalement sur la représentation de l'ampleur des résultats climatiques anticipés à travers les régions. Lors de cette prise de décision, nous prenons toutefois en compte les défauts de certains des modèles. Par exemple, lorsque deux modèles anticipent des caractéristiques similaires de changements à venir, nous pouvons utiliser les informations de validation afin de choisir d'inclure le modèle le plus performant.

En fonction de l'analyse présentée, Q1, Q3, Q4, et Q16 ne sont plus pris en compte dans le cadre de cette étude étant donné que le cycle saisonnier des précipitations et des températures ne soutient pas la comparaison avec les observations de manière aussi satisfaisante que d'autres ensembles, pour la plupart des régions. Dans l'analyse qui suit, nous étudions l'éventail de modèles en matière de changement de températures et de précipitations afin de réaliser la sélection finale des éléments de l'ensemble (voir Section 3.2).

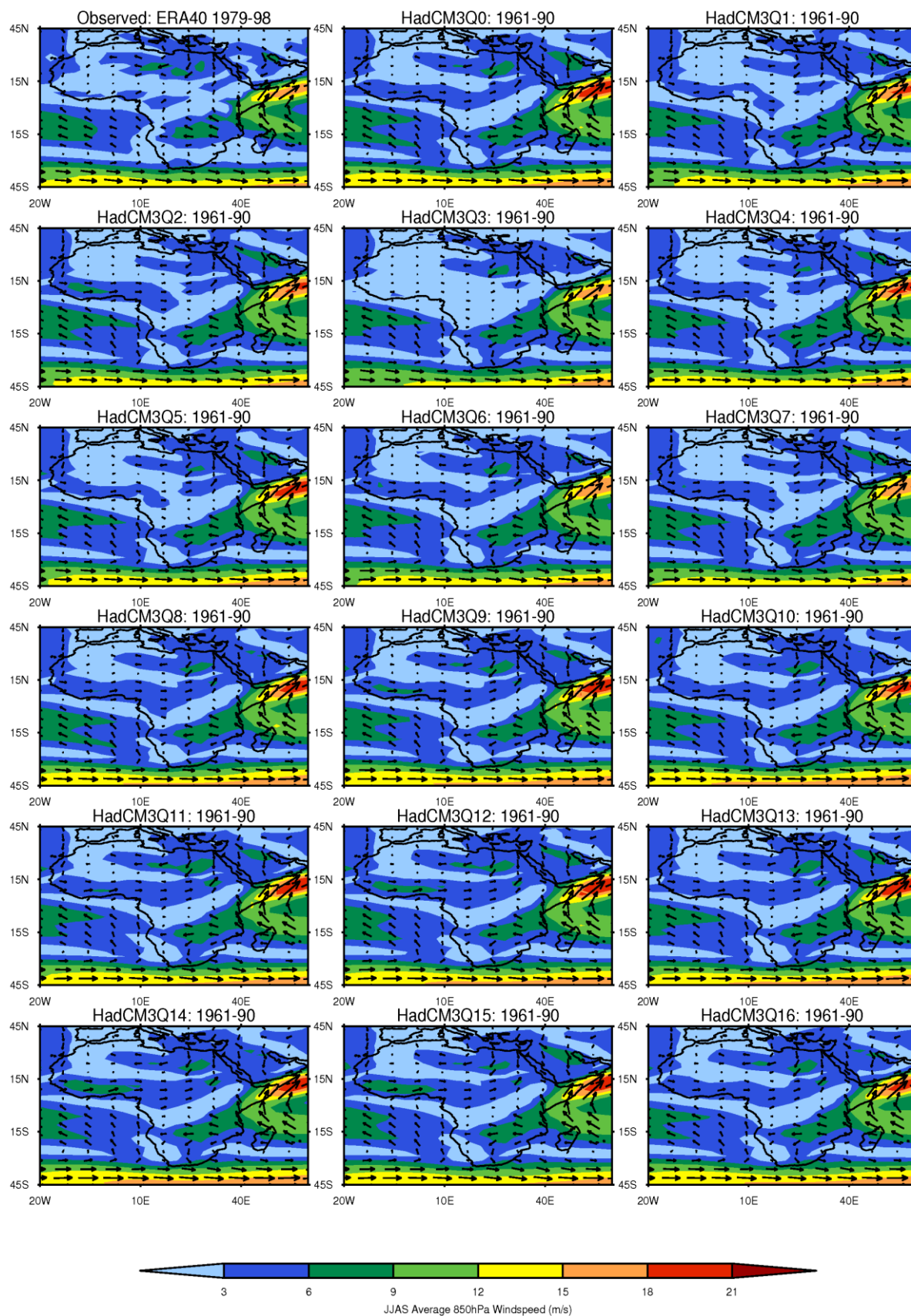


Figure 6. Comparaison des vents à 850 hPa observés et simulés pour l'Afrique en JJAS. Les observations ont été relevées au cours de la période de 1978-1998, et les résultats simulés au cours de la période de 1961-1990.

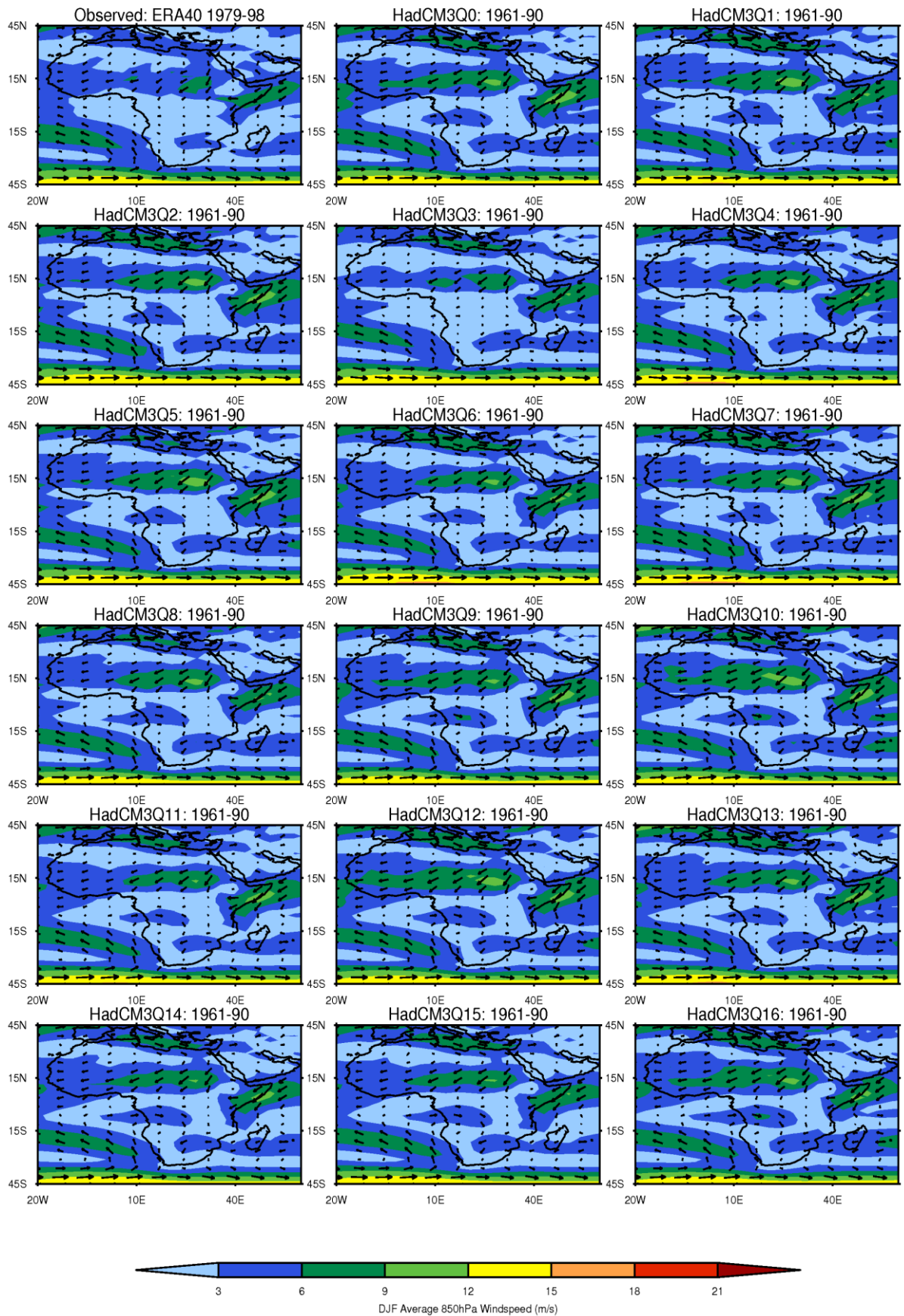


Figure 7. Comparaison des vents à 850 hPa observés et simulés pour l'Afrique en DJF. Les observations ont été relevées au cours de la période de 1978-1998, et les résultats simulés au cours de la période de 1961-1990.

### 3.2 Sélection pour l'Afrique

La sélection finale des éléments de l'ensemble pour l'Afrique implique l'identification des modèles qui représentent l'amplitude de la totalité de l'ensemble quant à leurs variations en termes de précipitations ( $\Delta P$ ) et de températures ( $\Delta T$ ) pour l'Afrique et les sous-régions climatiques clés (voir Tableau 1).

Cette analyse prend la forme de diagrammes de dispersion qui sont représentés pour chaque région et chaque saison dans la Figure 9. Aucun modèle spécifique ne présente systématiquement le changement le plus important en termes de précipitations pour toutes les régions sur toute l'année. Par exemple, en Afrique tropicale de l'Ouest en DJF (Figure 9, en haut), la variation la plus importante des précipitations est constatée dans le modèle Q9, bien que ce dernier ne soit pas toujours le modèle présentant le degré de pluviosité le plus élevé au cours des autres saisons pour cette région. Q14 est également l'un des modèles présentant le degré de sécheresse le plus élevé pour certaines des sous-régions, telles que le Sahel de l'Ouest à certaines saisons (MAM, JJA, SON) (Figure 9, colonne centrale). Sur la base de ces différents points, les extrêmes de la distribution de l'ensemble sont classés en fonction des modèles qui présentent systématiquement les variations positives ou négatives les plus importantes en matière de précipitations à travers toutes les sous-régions et les saisons. Par ce système de notation, Q9 correspond donc à l'un des modèles présentant un degré de pluviosité des plus élevés et Q0 à l'un des modèles présentant un degré de sécheresse des plus élevés parmi l'amplitude de l'ensemble (cela ne signifie toutefois pas qu'il s'agit des modèles les plus pluvieux et les plus secs pour toutes les sous-régions et toutes les saisons).

Bien que les modèles soient numérotés de 1 à 16 en fonction de leur réaction sur le plan mondial en termes de températures, les réactions régionales sont variables. Les réactions en termes de températures sont plus constantes à travers les régions et les saisons que les réactions en termes de précipitations, les modèles qui présentent les plus fortes réactions capturant en général l'extrémité de l'amplitude où la température est la plus élevée (Q13, Q14, et Q16 présentent généralement la réaction la plus importante en termes de températures à travers les régions et les saisons). Les modèles qui présentent les réactions les plus faibles indiquent généralement des réactions moins importantes en termes de températures (Q0, Q1, Q2, Q3 présentent en général le plus de fraîcheur). Par conséquent, étant donné que Q1 et Q3, parmi les modèles présentant les réactions plus faibles, ne sont pas validés de manière aussi satisfaisante que Q0 et Q2 par rapport aux observations, Q0 et Q2 sont sélectionnés pour représenter l'extrémité la plus froide de l'amplitude. À l'extrémité la plus chaude de l'amplitude, Q16 a déjà été

écarté compte tenu des résultats de la validation, Q13 et Q14 étant donc sélectionnés pour représenter cette partie de l'amplitude de l'ensemble.

Cette analyse nous mène à la conclusion selon laquelle un échantillon qui reproduit d'importantes caractéristiques des climats actuels d'Afrique et d'Afrique de l'Ouest et qui représente l'ampleur des résultats anticipés produits par l'ensemble QUMP se compose des modèles suivants : Q0, Q2, Q9, Q13 et Q14.

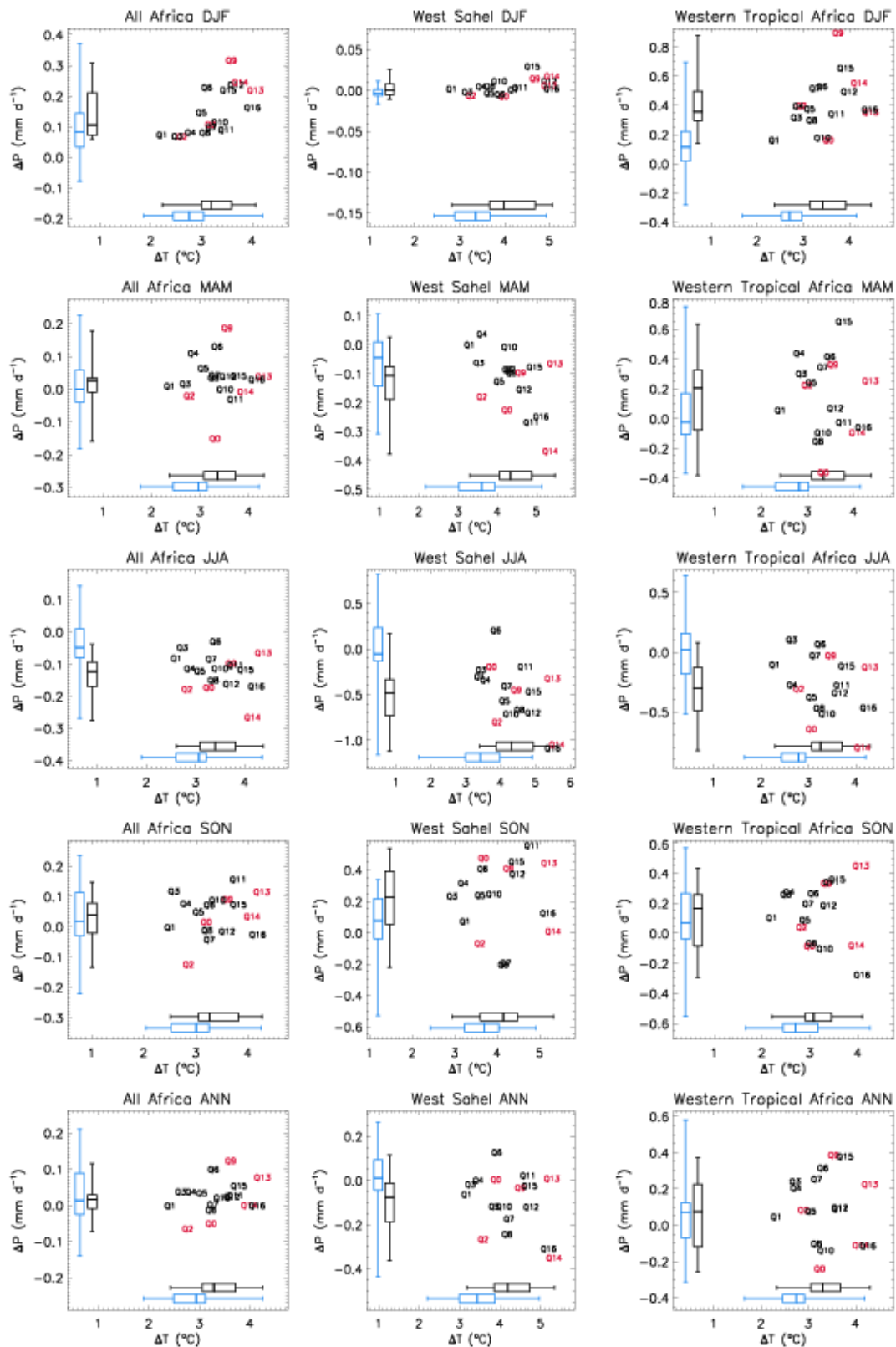


Figure 8. Diagrammes pour l'ensemble QUMP présentant les variations anticipées en termes de précipitations par rapport aux variations anticipées en termes de températures pour toute l'Afrique, le Sahel de l'Ouest et l'Afrique tropicale de l'Ouest. Les différents groupes montrent l'ampleur des résultats anticipés en DJF, MAM, JJA, SON et annuellement (ANN). Les désignations des points de données (Q#) permettent d'identifier les modèles et les points de données rouges indiquent l'échantillon sélectionné.



## 4. Résumé

---

Le présent rapport expose une synthèse de la conception expérimentale qui sous-tend les simulations du modèle régional de l'ensemble pour le projet PARCC Afrique de l'Ouest. Les simulations de modèles sont réalisées pour la période allant de décembre 1949 à décembre 2100 par le biais du système PRECIS de modélisation du climat régional, intégrant le programme MOSES2.2 de la surface du sol carrelée et le scénario A1B SRES, sur le domaine CORDEX-Afrique à 50 km de résolution. Ce domaine comprend la représentation des Grands lacs africains ; toutefois, la configuration de PRECIS ne dispose pas d'un modèle de lacs et détermine plutôt les températures des lacs en surface en tant que critère de niveau inférieur. Dans ces simulations, les températures des lacs en surface sont dérivées par interpolation des TMS provenant de maillages maritimes à proximité, dont les écarts sont ensuite corrigés en fonction d'observations réalisées à la surface des lacs, issues du projet ARCLake.

Les données des délimitations latérales pour les simulations proviennent d'un sous-ensemble de 5 éléments tirés de l'ensemble d'éléments physiques perturbateurs QUMP du centre Hadley. La sélection du modèle est principalement basée sur l'analyse régionale de simulations climatiques mondiales pour l'Afrique. Les éléments de l'ensemble QUMP sont sélectionnés en vue de capturer l'ampleur des résultats issus de l'ensemble complet, tout en excluant tout élément ne représentant pas le climat africain de manière réaliste.

Les principaux points qui découlent de l'analyse régionale sont les suivants :

- La répartition géographique à grande échelle des données relatives aux températures et aux précipitations pour le climat africain est capturée ; toutefois, leur ampleur ne soutient pas toujours la comparaison avec les observations. Nous choisissons un échantillon sur la condition qu'il capture la totalité des résultats produits par l'ensemble QUMP et qu'il capture les variations annuelles pour le plus grand nombre de sous-régions possible.
- Pour l'ensemble de l'Afrique ainsi que pour l'Afrique de l'Ouest, Q0 et Q2 correspondent à l'extrémité de l'amplitude de projections futures dont les températures sont les plus fraîches, et Q13 et Q14 correspondent à l'extrémité de l'amplitude dont les températures sont les plus élevées, afin de fournir la variation des températures.
- Aucun modèle spécifique ne présente systématiquement le changement le plus important en termes de précipitations pour toutes les régions sur toute l'année. Q14 correspond à l'extrémité de l'amplitude présentant le degré de pluviosité le plus élevé dans les projections futures pour l'Afrique tropicale de l'Ouest sur la période de décembre, janvier et février (DJF),

mais non pour la période de juin, juillet, août (JJA) et annuellement. Dans le Sahel de l'Ouest, il s'agit en fait du modèle présentant le degré de sécheresse le plus élevé. Dans l'ensemble, l'analyse indique que, à travers toutes les régions, saisons et annuellement, Q0 capture l'extrémité de l'amplitude de projections futures présentant le degré de sécheresse le plus élevé, et Q9 capture l'extrémité de l'amplitude de projections futures présentant le degré de pluviosité le plus élevé.

Ainsi, le sous-ensemble des éléments sélectionnés comprend : Q0, Q2, Q9, Q13 et Q14.

## 5. References

---

Collins, M., Tett, S.F.B., Cooper, C. (2001). 'The internal climate variability of HadCM3, a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments.' *Cim Dyn*.17:61-81

Collins, M., Booth, B. B. B., Harris, G. R., Murphy J. M., Sexton D. M. H., Webb M. J., (2006). Towards quantifying uncertainty in transient climate change, *Clim Dyn*, 27:2-3, pages 127-147.

Essery, R., Best, M., Cox, P. (2001). 'Moses 2.2 Technical Documentation'. Hadley Centre Technical Note 30 [http://www.metoffice.gov.uk/publications/HCTN/HCTN\\_30.pdf](http://www.metoffice.gov.uk/publications/HCTN/HCTN_30.pdf)

Giorgi, F., Jones, C., Asrar, G. R., (2009). Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. *WMO Bulletin* 58 (3) - July 2009

Gordon C., Cooper C., Senior C.A., Banks, H.T., Gregory J.M., Johns, T.C., Mitchell, J.F.B, Wood, R.A. (2000) The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Clim. Dyn.* 16, 147–168. doi:10.1007/s003820050010.

Jones, R., Noguer, M., Hassell, D., Hudson, D., Wilson, S., Jenkins, G., Mitchell, J., (2004). 'Generating High resolution climate change scenarios using Precis'

[http://precis.metoffice.com/docs/PRECIS\\_Handbook.pdf](http://precis.metoffice.com/docs/PRECIS_Handbook.pdf)

C.F. McSweeney, R.G Jones and B.B.B. Booth, 2012: Selecting a sub-set of perturbed physics ensemble members for downscaling experiments with PRECIS in south-east Asia. *J. Clim.* doi:10.1175/JCLI-D-11-00526.1

MacCallum, S. N., and Merchant, C. J. 2010, ARC-Lake Algorithm Theoretical Basis Document, School of GeoSciences, The University of Edinburgh

MacCallum, S., N., and Merchant, C. J. (2011). ARC-Lake – Data Product Description. [http://www.geos.ed.ac.uk/arclake/ARCLake\\_DPD\\_v1\\_1\\_1.pdf](http://www.geos.ed.ac.uk/arclake/ARCLake_DPD_v1_1_1.pdf),  
<http://www.geos.ed.ac.uk/arclake/data.html>

Meehl, G.A., T.F. Stocker, W.D. Collins, P. Friedlingstein, A.T. Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A. Noda, S.C.B. Raper, I.G. Watterson, A.J. Weaver and Z.-C. Zhao, 2007: Global Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Mitchell, T.D. and Jones, P.D. (2005): An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids, *International Journal of Climatology*, 25, 693-712, DOI:10.1002/joc.1181.

Murphy, J. M., Sexton, D. M. H., Jenkins, G. J., Booth, B. B. B., Brown, C. C., Clark, R. T., Collins, M., Harris, G. R., Kendon, E. J., Betts, R. A., Brown, S. J., Boorman, P., Howard, T. P., Humphrey, K. A., McCarthy, M. P., McDonald, R. E., Stephens, A., Wallace, C., Warren, R., Wilby, R., Wood, R. A. (2009), UK Climate Projections Science Report: Climate change projections. Met Office Hadley Centre, Exeter.

Nakićenović, N., Alcamo J., David, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grubler, A., Jung, T.Y., Kram, T., Rovere, E.L.L., Michaelis, L., Mori, S., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Price, L., Riahi, K., Roehrl, A., Rogner, H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., van Rooijen, S., Victor, N., Dadi, Z.,(2000). *Special Report on Emissions Scenarios*. Cambridge University Press, Cambridge UK and New York, NY.

Pope, V.D., Gallani, M.L., Rountree, P.R., Stratton, R.A., (2000). The impact of new physical parameterisations in the Hadley Centre Climate Model-HadAM3. *Clim Dyn* 16: 123-146.

Uppala, S.M., and Coauthors, 2005: The ERA-40 re-analysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 131, 2961-3012.

Xie, P. and Arkin, P. A. (1997): Global precipitation: a 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 2539-2558.