

Publiée par

CLIMATE
ANALYTICS



COMPRENDRE ET INTERPRÉTER LES SORTIES DE MODÈLES CLIMATIQUES POUR LA CONDUITE DES ÉTUDES DE VULNÉRABILITÉ

Guide à l'attention des praticiens

Novembre 2019

Mis en œuvre par



Mandaté par :



Ministère fédéral
de l'Environnement, de la Protection de la Nature
et de la Sécurité nucléaire

de la République fédérale d'Allemagne

Sous la tutelle du :



MINISTÈRE DU CADRE DE VIE
ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE
RÉPUBLIQUE DU BÉNIN

En coopération avec :



Auteurs Mouhamed Ly
Alcade C. Segnon
Sarah D'haen
Edmond Totin
Melinda Noblet
Ibrahim Camara
Peter Pfeiderer

Publié par Climate Analytics gGmbH
Ritterstrasse 3
10969 Berlin, Allemagne
T/ +49(0)302 5922 9520
E/contact@climateanalytics.org

Projet d'Appui Scientifique aux processus PNA dans les pays francophones les moins avancés d'Afrique subsaharienne (PAS-PNA)

I https://climateanalytics.org/projects/pas-pna-science-based-national-adaptation-planning-in-sub-saharan-africa/benin_fr/

Sur mandat du Ministère fédéral allemand de l'Environnement, de la Protection de la Nature et de la Sécurité nucléaire (BMU)

Adresse BMU BMU Bonn
Robert-Schuman-Platz 3
53175 Bonn, Allemagne
T +49 (0)228 99 305-0
F +49 (0)228 99 305-3225
E zentrale@bmu.de
I www.bmu.bund.de

BMU Berlin
Stresemannstraße 128-130
10117 Berlin, Allemagne
T +49 (0)30 18 305-0

Citer ce document : Ly, M.; Segnon, A.C.; D'haen, S.; Totin, E.; Noblet, M.; Camara, I.; and Pfeiderer, P. (2019) Comprendre et interpreter les sorties des modeles climatiques pour la conduite des etudes de vulnerabilite: Guide a l'attention des praticiens. Climate Analytics gGmbH, Berlin

Design ORTA SERVICES **Illustration :** Yannick SONON

Crédit Photo Cover : © Voice of America, Inner : © Free-Photos from Pixabay

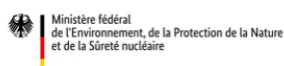
Climate Analytics est responsable pour le contenu de cette publication

Ce projet est mis en œuvre dans le cadre de l'initiative internationale pour le climat (IKI). Le ministère fédéral allemand de l'Environnement, de la Protection de la Nature et de la Sécurité Nucléaire (BMU) appuie cette initiative sur la base d'une décision adoptée par le Bundestag allemand

Mis en œuvre par



Mandaté par :



de la République fédérale d'Allemagne

Sous la tutelle du :



En coopération avec :



**COMPRENDRE ET INTERPRÉTER LES SORTIES DE
MODÈLES CLIMATIQUES POUR LA CONDUITE DES
ÉTUDES DE VULNÉRABILITÉ**

GUIDE À L'ATTENTION DES PRATICIENS

Novembre 2019

CONTENU

POURQUOI CE GUIDE	5
INTRODUCTION	7
PRINCIPE DE BASE DE LA MODÉLISATION CLIMATIQUE	9
LES DIFFÉRENTS TYPES DE MODÈLES.....	9
ANALYSES DES MODÈLES CLIMATIQUES	10
INCERTITUDES SUR LES MODÈLES CLIMATIQUES	11
NÉCESSITÉ DE FAIRE DES CORRECTIONS DE BIAIS	12
DE NOUVEAUX TYPES DE SCENARIOS CLIMATIQUES REPENSÉS.....	13
CHOIX DU SCENARIO CLIMATIQUE	15
APPLICATIONS AUX PROCESSUS D'ANALYSE DE LA VULNÉRABILITÉ	16
ETAPES DE LA GÉNÉRATION DES SCENARIOS DU CLIMAT	17
APPLICATIONS AUX PROCESSUS D'ANALYSE DE LA VULNÉRABILITÉ	17
INTERPRÉTATION DE QUELQUES INDICES SUR LES EXTRÊMES CLIMATIQUES.....	18
EVOLUTION DES PRÉCIPITATIONS MOYENNES.....	18
EVOLUTION DES TEMPÉRATURES EXTRÊMES	20
RÉFÉRENCES.....	21

POURQUOI CE GUIDE

Le changement climatique est l'un des problèmes majeurs de notre siècle. Il menace plusieurs secteurs de développement et met en danger les moyens d'existence des communautés et les écosystèmes naturels. Face aux défis que pose le changement climatique, il est important de traiter la menace en priorité et de trouver des solutions innovantes. Celles-ci doivent répondre aux problèmes de développement pressants auxquels les communautés se trouvent confrontés, mais aussi constituer une riposte aux risques que pose le changement climatique. Très souvent, le renforcement de capacité des acteurs reste une limite majeure. Dans de nombreux cas, les communautés sont entravées non par leur manque de volonté mais par la disponibilité d'expertise technique, ce qui les empêche de planifier avec efficacité et de mettre en place avec succès des initiatives pour face aux défis que pose le changement climatique.

Pour contribuer au renforcement de capacité des acteurs intervenant dans le secteur des changements, le présent guide qui dérive de l'expérience faite sous la composante 2 du Projet d'Appui Scientifique aux processus de Plans Nationaux d'Adaptation (PAS-PNA) dans trois pays de l'Afrique Francophone – Benin, Burkina-Faso et Sénégal est produit pour aider à comprendre et interpréter les résultats des modèles climatiques. Le PAS-PNA est mis en œuvre pour la période



POURQUOI CE GUIDE

2016-2019 par la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), en collaboration avec Climate Analytics, et différentes entités nationales des trois pays. Le PAS-PNA vise le renforcement des capacités pour la conception et la mise en œuvre du processus PNA à base scientifique et axé sur les résultats.

Dans chacun des trois pays pilotes du PAS-PNA, des études de vulnérabilité ont été faites pour identifier les facteurs de vulnérabilité et les options adéquates d'adaptation dans le but d'éclairer les

stratégies de développement résilient au climat. Ce guide est initié à l'attention des praticiens et des chercheurs pour qu'ils puissent se familiariser avec une gamme variée de sorties de modèles climatiques et pour qu'ils puissent analyser les résultats des modèles suivant leur contexte.

Le guide propose – sans rien imposer – des instructions détaillées, étape par étape, pour comprendre comment les modèles climatiques fonctionnent et comment les résultats peuvent être interprétés dans la pratique.

INTRODUCTION



Les Gouvernements des Parties se sont accordés depuis 2010 sur le processus des Plans Nationaux d'Adaptation (PNA) comme moyen pour ces pays, de recenser les besoins d'adaptation à moyen et à long terme et de définir des stratégies et programmes pour répondre à ces besoins. Les PNA doivent permettre de réduire la vulnérabilité aux changements climatiques et intégrer l'adaptation

dans les processus et stratégies de planification du développement. C'est dans ce contexte que le Projet d'Appui Scientifique aux processus de Plans Nationaux d'Adaptation (PAS-PNA) a été initié pour renforcer les capacités de mise en œuvre du processus PNA, entre autres de consolider les informations scientifiques nécessaires au bon déroulement des processus PNA.

Le but de ce manuel est de renforcer la capacité des acteurs qui interviennent dans le secteur du changement climatique. Il s'agit plus spécifiquement de les familiariser à :

- ☞ l'exploitation des informations issues des modèles climatiques ;
- ☞ la sélection des scénarios de changement climatique et
- ☞ leur intégration dans le processus d'analyse de la vulnérabilité climatique.

Ce document est structuré en deux grandes parties :

Une description des modèles climatiques

- ✓ Un rappel sur les principes de base de la modélisation climatique, l'importance actuel de la modélisation dans le cadre des études de vulnérabilité. Une description des différents types de modèles climatiques existantes (ex: RCM et GCM).
- ✓ Ensuite, le rapport s'intéresse au choix des modèles climatiques, leurs incertitudes,

l'identification des scénarios climatiques nécessaires pour évaluer les impacts du climat futur. Dans cette section, nous mettons aussi l'accent sur l'importance de faire de la correction de biais nécessaire pour mieux prendre en compte les impacts du climat à des échelles plus réduites d'une localité, ou de la station.

Une description des étapes nécessaires à l'élaboration des scénarios de changement climatique et leur intégration dans le processus d'analyse de la vulnérabilité.

PRINCIPE DE BASE DE LA MODÉLISATION CLIMATIQUE

Pour représenter l'ensemble des processus du système climatique, les scientifiques ont développé des modèles climatiques qui sont des outils numériques basés sur des équations mathématiques qui prennent en compte les principes fondamentaux de la conservation de la masse, de l'énergie, de l'eau et de la quantité de mouvement. Ces équations, donc les modèles climatiques, décrivent le comportement et les interactions entre les différentes composantes du système climatique (l'atmosphère, les océans, les fleuves, le sol, etc.) sous des forçages externes tels que la radiation solaire, les aérosols, ainsi que les émissions naturelles et anthropiques de gaz à effet

de serre (GES). Pour la modélisation, l'atmosphère et l'océan sont divisées en boîtes distinguées ou cellules de grille ou encore mailles. La taille des mailles détermine la résolution du modèle. Dans chaque maille on simule des variables (mouvement de l'air, les radiations, les températures, les précipitations, etc.) pour les climats passés, présents et à venir. Ainsi, les modèles climatiques constituent actuellement des outils indispensables pour l'analyse de la vulnérabilité des populations. Avec de telles informations, il devient possible de prévoir les impacts négatifs potentiels des changements climatiques tout en favorisant un développement résilient au climat.

LES DIFFÉRENTS TYPES DE MODÈLES

En modélisation climatique, on distingue deux catégories de modèles : **les modèles climatiques globaux (GCM)** et **les modèles climatiques régionaux (RCM)**. A la différence des modèles globaux, les modèles régionaux permettent en particulier d'affiner la qualité de l'information issue de la modélisation. Les modèles globaux ont une résolution classique variant de 100 à 300km.

Des techniques dites de descentes d'échelles permettent de passer du GCM au RCM en tenant compte plus finement de l'effet de l'orographie, ce qui n'est pas assez sensible avec les modèles globaux pour une certaine région. Le modèle régional est obtenu en forçant les conditions aux limites régionales par un modèle global, ce qui permet de prendre en compte, au niveau régional,

des informations sur la circulation générale atmosphérique, de l'influence des températures de surface des océans.

Les modèles régionaux peuvent avoir des résolutions de l'ordre de 10 à 50km. Heinzeller et ses partenaires, en collaboration avec les équipes de WASCAL et l'Université de Bonn ont récemment développés des simulations régionales pour l'Afrique de l'Ouest de 12km de résolution horizontale (Heinzeller et al., 2018). Ces simulations permettent de combler les gaps en termes d'informations adéquates, d'améliorer la qualité

des informations produites et d'anticiper sur les effets néfastes de la variabilité et des changements climatiques (Heinzeller et al., 2018). La résolution spatiale des modèles a été significativement améliorée.

Au niveau régional ou comme global, les progrès continus de la connaissance, la représentation des phénomènes climatiques et l'amélioration des techniques de calcul numérique ont permis d'aboutir récemment à une nouvelle génération de modèles plus complets dits modèles planétaires ou en anglais Earth System Model (ESM).

ANALYSES DES MODÈLES CLIMATIQUES

Un modèle régional est à priori considéré valide dans le contexte de l'Afrique de l'Ouest si les caractéristiques de la mousson restent bien représentées. Les incertitudes notées sur les modèles climatiques sont généralement liées à la paramétrisation physique. Cette dernière permet en fait de résoudre les équations non prises en compte dans la partie dynamique des modèles (ex. la circulation générale atmosphérique). C'est le cas de la formation des nuages dans le modèle, de la convection nuageuse, etc.... Pour beaucoup, ceci nécessite une bonne compréhension des phénomènes physiques, qui passe fondamentalement par une meilleure observation des phénomènes météorologiques (Marshall et al., 2011 ; Prein et al., 2015). On

comprend ainsi en partie, l'implication de la qualité et la disponibilité des données observées afin de prendre en compte les incertitudes notées dans les modèles climatiques. Les travaux de recherche du programme AMMA (African Monsoon Multidisciplinary Analysis) ont permis d'améliorer la connaissance et la compréhension de la mousson de l'Afrique de l'Ouest ainsi sa variabilité (Redelsperger et al., 2006). Cela a permis des projections climatiques plus précises en Afrique de l'Ouest (Redelsperger et al., 2006). Ces avancées ont aussi servi de base pour le développement du modèle régionale CP4Africa, qui a une meilleure représentation/reproduction du climat de l'Afrique de l'Ouest (Stratton et al., 2018).

INCERTITUDES SUR LES MODÈLES CLIMATIQUES

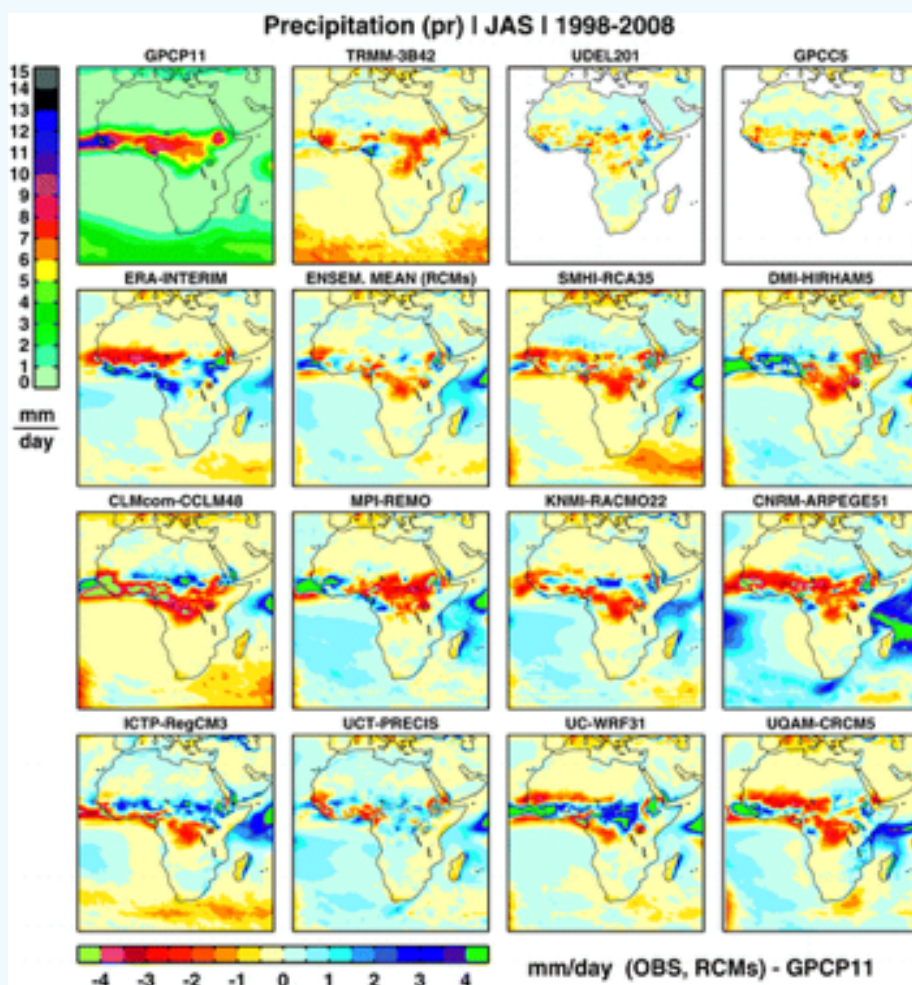


Figure 1 : Climatologie moyenne sur Juillet-Aout-Septembre des précipitations moyennes journalières en Afrique de l'Ouest de 10 modèles climatiques de l'expérience de modélisation régionale CORDEX, de leur moyenne d'ensemble comparées aux données de référence, des réanalyses ERA-INTERIM, de pluies estimées par satellites et combinaison de stations synoptique au sol, GPCP11, GPCC5, UDEL201 et TRMM-3B42 (tirée de Nikulin et al., 2013). Les modèles pris individuellement indiquent des caractéristiques différentes de la mousson Ouest Africaine. Ces incertitudes sont liées en grande partie à la paramétrisation dans les modèles. L'analyse de la moyenne d'ensemble des modèles montre plus de précisions par rapport aux caractéristiques des pluies observées dans cette région d'où la robustesse de l'analyse multi-modèle pour améliorer la qualité de l'information issue des modèles climatiques.

Les modèles climatiques présentent des divergences souvent très significatives sur la variable pluie alors que ce n'est pas le cas pour les températures qui sont bien simulées dans les modèles climatiques. La paramétrisation physique à la base des précipitations simulée dans le modèle climatique reste l'une des causes principales des incertitudes.

Les incertitudes sur les variables simulées par les modèles climatiques seront aussi appelées des biais systématiques. Il existe aussi d'autres types de biais généralement moins contraignants aux

techniques de calcul, à la méthodologie d'analyse utilisée par le scientifique. Ces dernières années, la plupart des analyses scientifiques sur les modèles climatiques ont recours à une méthode d'analyse multi-modèle qui rend plus robuste les informations produites par rapport au modèle pris individuellement. Les travaux de Nikulin (Figure 1) et ses collaborateurs ont ainsi démontrés qu'une analyse d'ensemble de 10 modèles climatiques participants dans le programme CORDEX apporte plus de précisions sur l'analyse de la climatologie des précipitations en Afrique de l'Ouest (Nikulin et al., 2013).

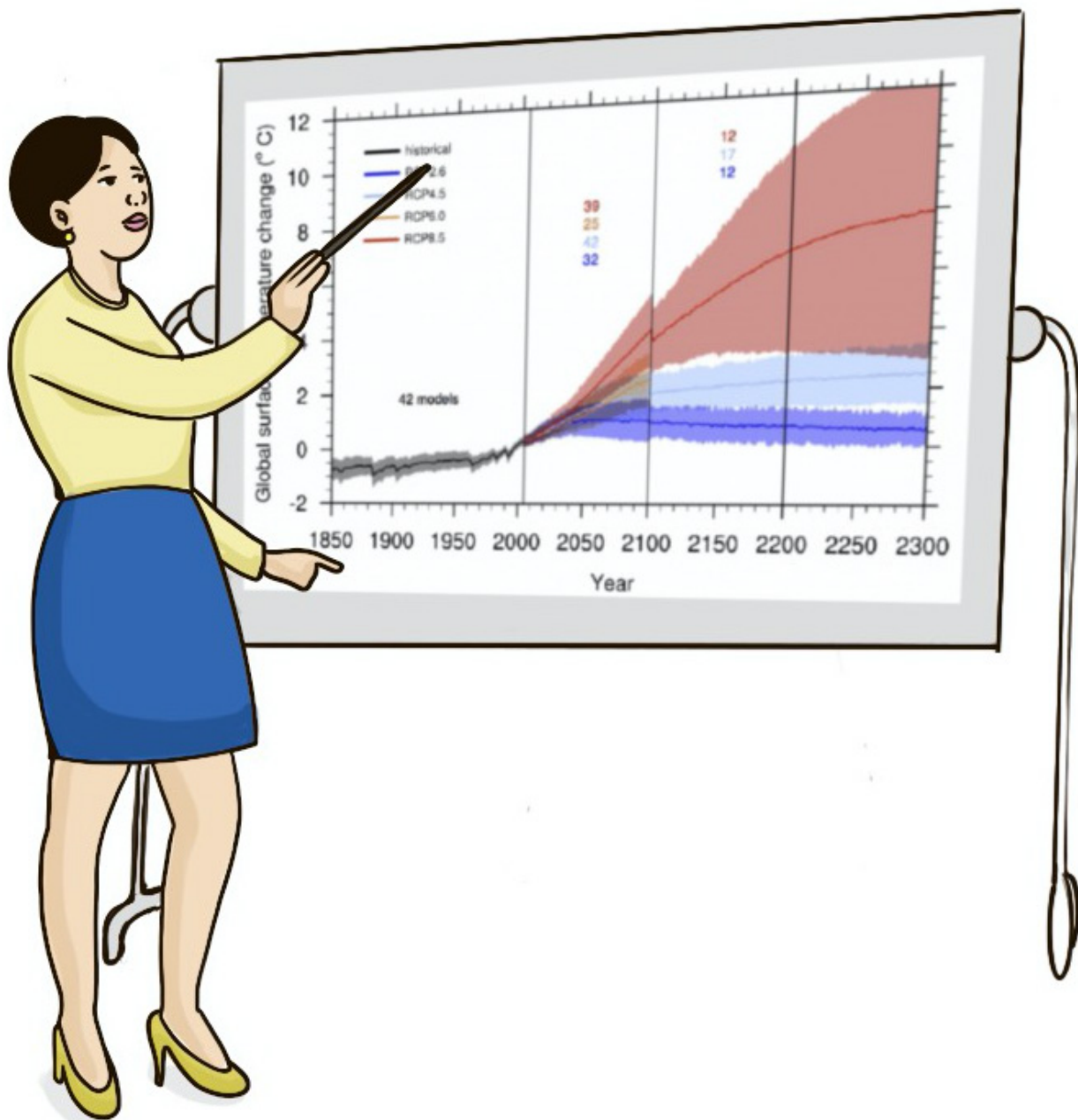
NÉCESSITÉ DE FAIRE DES CORRECTIONS DE BIAIS

Compte tenu de la faible résolution des modèles et des problèmes inhérents à la paramétrisation physique ou résolution des équations mathématiques notamment en ce qui concerne les processus liés à la précipitation (l'occurrence, l'intensité et la durée), on a recours à des méthodes alternatives indispensables pour la précision de l'information climatique à l'échelle locale. Ainsi, une évaluation rigoureuse doit être entreprise afin d'améliorer la simulation de la précipitation, pas seulement en termes de valeur moyenne, mais également en termes d'occurrence, d'intensité et de durée des événements pluvieux. La même

correction de biais appliquée aux simulations historiques peut être appliquée aux simulations du climat futur sans influencer les tendances du changement climatique.

Nous reviendrons dans la suite du document sur les étapes de la génération des scénarios de changement climatique. Nous suivons une logique d'analyse du climat, en partant des observations existantes, de l'analyse des processus atmosphériques d'échelle synoptique (ex. le forçage atmosphérique à grande échelle) liés à l'apparition et à l'intensité des précipitations locales.

DE NOUVEAUX TYPES DE SCENARIOS CLIMATIQUES REPENSÉS



Les projections du changement climatique sont basées sur des scénarios possibles de l'évolution du climat futur (c'est à dire des paramètres climatiques) ainsi que des principaux paramètres socio-économiques (ex. évolution des populations, du développement économique et des innovations technologiques). Les anciens types de scénarios (ex. SRES) n'avaient pas inclus les politiques climatiques à l'échelle globale en intégrant les effets sur la réduction des émissions et la prise en compte des rétroactions des systèmes climatiques considérés (impacts et adaptation).

Pour les climats passé et présent, les forçages de GES (CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, etc.) sont issus des observations de différentes stations dans le monde entier. Pour le climat futur, l'évolution des GES est obtenue à partir de scénarios d'émissions. Ces scénarios décrivent les changements futurs des concentrations et émissions de GES, des aérosols et autres gaz anthropiques dans l'atmosphère. Les concentrations de GES sont présentement décrites par des trajectoires de concentration représentatives (*representative concentration pathways* (RCP)). Les RCP sont nommés en fonction

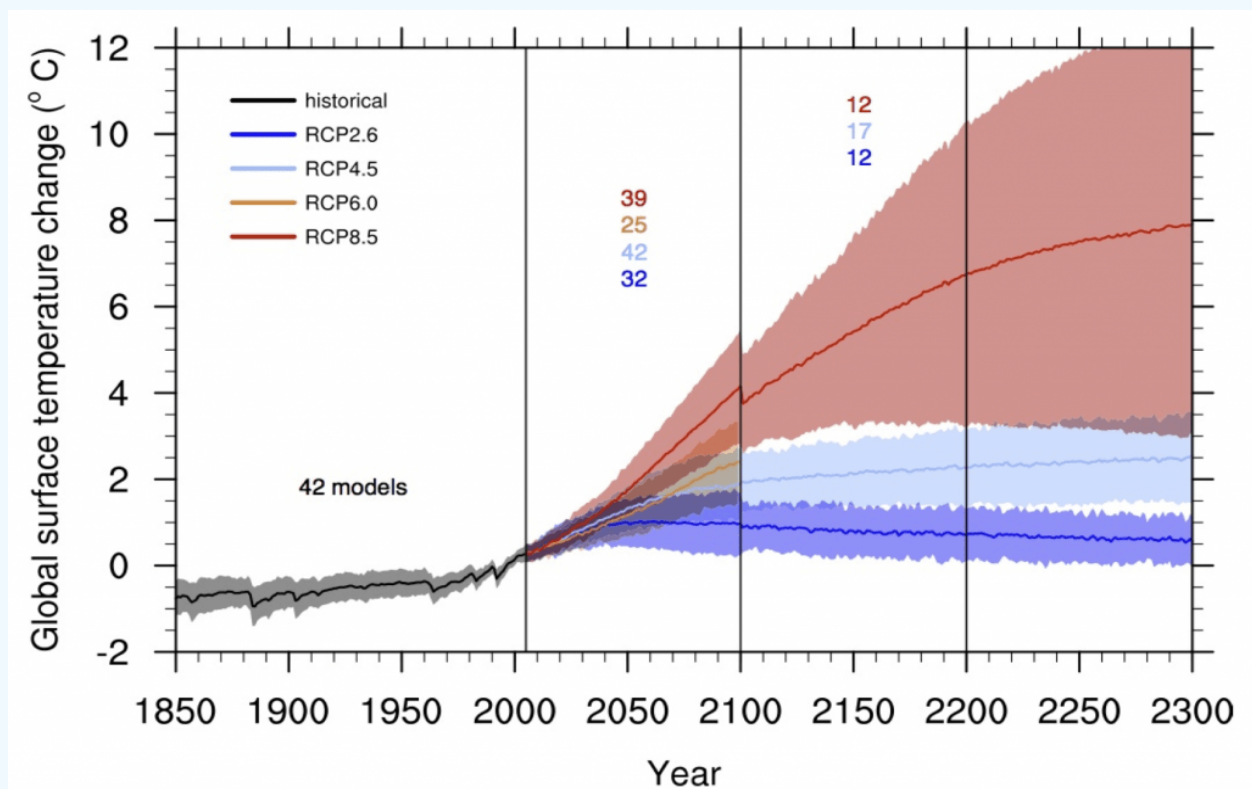


Figure 2 : Anomalie moyenne des températures de surface du globe par rapport à la période 1986-2005. Les projections des RCP sont issues des simulations de l'expérience des modèles globaux du GIEC ou CMIP5. Chaque projection de RCP est représentée respectivement suivant les couleurs par un ensemble de modèles climatiques. On montre ainsi que cet analyse multi-modèles rend plus robustes les résultats sur les projections de températures obtenues avec un degré de confiance de 95% (Figure tiré du rapport IPCC, 2013)

du niveau de forçage radiatif ($W.m^{-2}$) autour de l'année 2100

De nos jours les scientifiques ont développé de nouveaux types de scénarios ou RCP, associés à des trajectoires de l'évolution des concentrations des différents gaz à effet de serre et de l'occupation des sols. Les scientifiques ont défini a priori quatre types de RCP (RCP8.5, RCP4.5, RCP6.0, RCP2.6) (Moss et al., 2010 ; Meinshausen et al., 2011). Les RCP ont été prolongés jusqu'à 2300 (Meinshausen et al., 2011). Cet horizon temporel est pertinent dans le domaine de la recherche et permet de comprendre les processus physiques à la base de la hausse prévue des concentrations de gaz à effet

de serre sur les systèmes d'impacts biophysiques (ex. élévation du niveau de la mer), le cycle de carbone. Une interprétation des résultats sur la trajectoire des RCP (Figure 2) montre que le seul scénario sans équivalent est le RCP2.6. Il intègre les effets de politiques de réduction des émissions susceptibles de limiter le réchauffement planétaire à 2°C (van Vuuren et al., 2011).

Le scénario RCP8.5 prévoit une augmentation continue de la concentration des gaz à effet de serre sans politique de réduction aucune et en conséquence un réchauffement continue pour aller jusqu'à 12°C. Ce scénario est alors considéré comme un scénario pessimiste (Riahi et al., 2011).

CHOIX DU SCENARIO CLIMATIQUE

L'une des difficultés majeures dans le cadre d'une étude de vulnérabilité réside dans le choix du scénario climatique. Le choix d'un scénario climatique doit servir de support pour déterminer les options d'adaptation en y intégrant les préoccupations de la population, l'accès et l'utilisation des ressources, etc. Le choix des méthodes d'élaboration de scénarios climatiques dépend de l'utilisation que l'on en fera et des obstacles que les décideurs peuvent rencontrer. Dans le contexte des stratégies de développement résilient au climat, il faut surtout des modèles climatiques à résolutions spatiales et temporelles relativement fines afin d'obtenir les informations requises sur la vulnérabilité, l'adaptation et l'atténuation.

Le tableau 1 indique les changements moyens des températures projetées suivant différentes périodes 2046-2065 (Moyen terme) et 2081-2100 (Long terme) à l'échelle mondiale. Les projections sur le moyen terme montrent que les valeurs moyennes des températures globales simulées vont être quasi-similaires pour les scénarios RCP6.0 et RCP4.5 avec quelques différences par rapport au RCP2.6 sur le moyen terme.

Le scénario RCP8.5 demeure le scénario le plus extrême avec des valeurs moyennes de température pouvant atteindre 2.6°C sur le moyen terme. RCP2.6 est un scénario d'atténuation conduisant à un niveau de forçage radiatif très bas. Les deux scénarios de stabilisation sont le RCP4.5 et RCP6.0. Celui du RCP8.5 est un scénario à

émissions de gaz à effet de serre très élevées.

Le scénario de stabilisation de la concentration des gaz à effet de serre, RCP4.5 peut aussi être sélectionné afin de déterminer un niveau de vulnérabilité et d'exposition des secteurs socio-économiques. La plupart des bases de données climatiques disposent de manière complète toutes les informations relatives aux variables climatiques nécessaires à **l'analyse du scénario RCP4.5. C'est aussi un scénario qui fait un consensus pour l'étude du changement climatique dans la plupart**

des pays en Afrique de l'Ouest.

Tableau 1: Projection moyenne du changement des températures tirée du rapport 5ème rapport d'évaluation (IPCC AR5 WG1). Les projections sont relatives à la période 1986-2005. On montre ainsi selon les différents RCP que les projections moyennes des températures d'ici la fin du 21ème siècle vont varier entre 0.3 à 4.8°C.

Tableau 1: Projection moyenne du changement des températures par rapport à la période 1986-2005

	2046-2065	2081-2100
Scenario	Gamme moyenne et probable	Gamme moyenne et probable
RCP2.6	1.0 (0.4 to 1.6)	1.0 (0.3 to 1.7)
RCP4.5	1.4 (0.9 to 2.0)	1.8 (1.1 to 2.6)
RCP6.0	1.3 (0.8 to 1.8)	2.2 (1.4 to 3.1)
RCP8.5	2.0 (1.4 to 2.6)	3.7 (2.6 to 4.8)

Source : 5^{ème} Rapport d'Évaluation du GIEC. Par rapport à l'époque préindustrielle, il faudrait ajouter 0,5°C de plus. Le RCP 4.5 n'est donc pas compatible avec l'accord de Paris.

APPLICATIONS AUX PROCESSUS D'ANALYSE DE LA VULNÉRABILITÉ

Dans une étude de vulnérabilité climatique, on a souvent recours à des données journalières pour la plupart des variables climatiques générées. Ces variables sont principalement, les précipitations, les températures (maximales et minimales).

Pour des besoins de simulations dans les modèles biophysiques (agriculture, santé, ressources en eau), la radiation solaire, l'humidité relative, les vents, etc. peuvent être utilisées comme variables d'entrée dans les modèles d'impact. Il

arrive aussi que l'on déduise ces variables à partir de la connaissance des températures (Tmax et Tmin), en suivant des lois physiques. Par exemple on peut calculer l'évapotranspiration avec les variables Tmax et Tmin à partir de l'équation dite de Hargreaves (Hargreaves et al., 1985) ou aussi de l'équation dite de FAO-Penman-Monteith qui semble être le plus performant à cause du nombre important de variables qu'elle utilise.

La résolution journalière est aussi indispensable pour évaluer les indices sur les extrêmes climatiques car par définition le choix du seuil d'un indice climatique est fait en prenant en compte l'évolution au jour-le-jour de l'indicateur climatique. Par exemple le seuil de température maximale journalière est choisi pour évaluer les

vagues de chaleur dans une localité donnée. En général pour ces types d'études, les indices sur les extrêmes climatiques sont sélectionnés parmi les plus couramment utilisés pour étudier la variabilité climatique. Ils répondent également à la nécessité de caractériser le climat de référence de la zone :

- ✔ La climatologie moyenne, via le cumul total des précipitations et des précipitations quotidiennes moyennes ;
- ✔ Les indices sur les extrêmes, via le calcul du 90ème, 95ème percentile et l'occurrence de cet extrême ;
- ✔ La variabilité du régime de précipitation ou de la durée des périodes sèches, via le calcul de la fréquence des jours humides ou des jours secs consécutifs, et de l'intensité des précipitations durant les jours humides.

ETAPES DE LA GÉNÉRATION DES SCENARIOS DU CLIMAT

Evaluer le changement climatique dans une localité donnée consiste à développer une information pertinente pour les besoins des populations locales et à faciliter l'élaboration de stratégie d'adaptation dans les secteurs prioritaires de développement. La production de scénarios de changement climatique est organisée autour des points suivants :

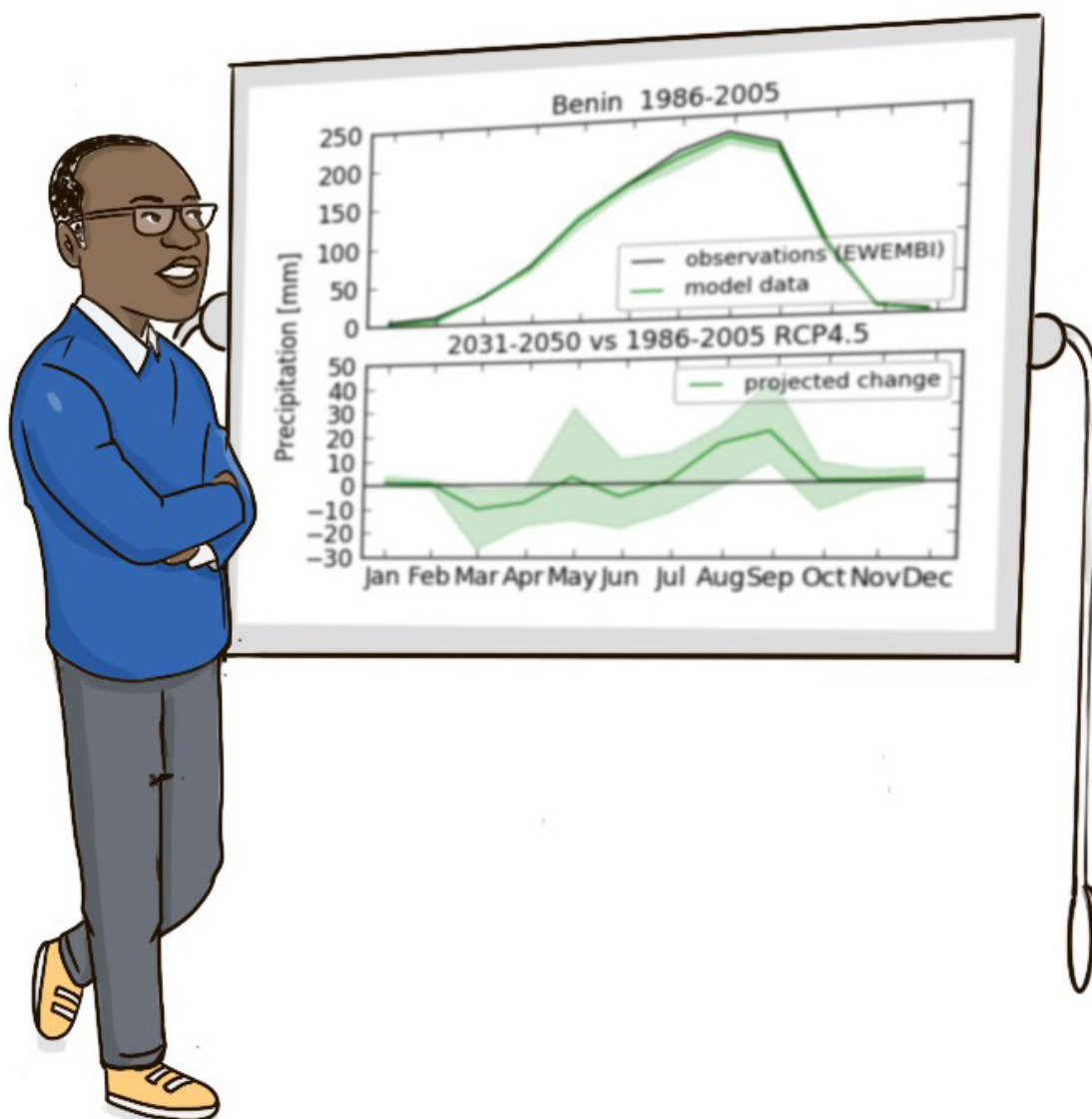
- ✔ *Caractériser et analyser le climat de la localité, le climat moyen ainsi que la variabilité et les extrêmes à partir des observations de stations disponibles ;*
- ✔ *Évaluer la performance des modèles climatiques dans la région à partir des observations et ou des*

séries de ré-analyses disponibles. Ces données sont issues de la combinaison de données estimées par des satellites et de données de stations synoptiques au sol.

- ✔ *Développer des méthodes de réduction d'échelle statistique (« downscaling » en anglais) pertinentes et les évaluer afin de reconstruire le climat observé (moyen, variabilité et extrêmes). Comme indiqué précédemment, cette méthode consiste aussi à faire une correction de biais et elle permet d'offrir des informations pertinentes à l'échelle locale.*

INTERPRÉTATION DE QUELQUES INDICES SUR LES EXTRÊMES CLIMATIQUES

Evolution des précipitations moyennes



EVOLUTION DES PRÉCIPITATIONS MOYENNES

En agriculture, par exemple, plusieurs indicateurs climatiques peuvent être analysés. Le développement de la plante est fortement tributaire des conditions météorologiques telle que la pluie, la température, etc. La connaissance des caractéristiques moyennes de la saison des pluies permet aussi d'adapter les types de cultures. La figure 3 indique le changement moyen des

précipitations sur le moyen terme au Bénin par rapport au scénario RCP4.5 et prévoit en moyenne des déficits pluviométriques de l'ordre de -20mm sur les premiers mois de la saison pluviométrique (Mai-Juin-Juillet) avec des hausses relatives jusqu'à 30mm en moyenne vers les mois d'Août et Septembre par rapport au RCP4.5.

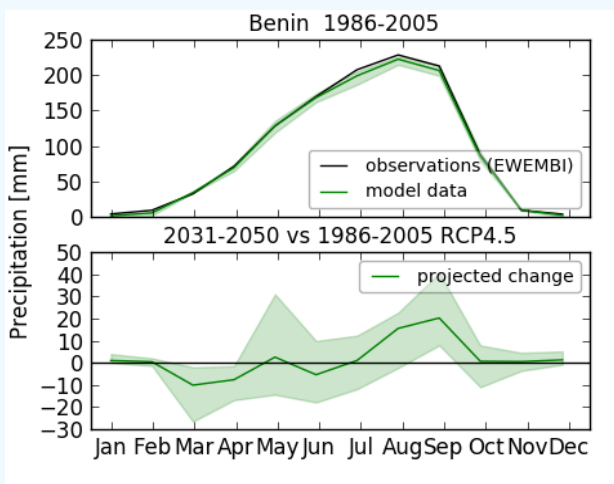


Figure 3 : Cycle saisonnier des précipitations sur le Bénin, représentant l'évolution moyenne mensuelle des précipitations en comparant les précipitations simulées par les modèles (*RegioClim par exemple*) climatiques et les observations de EWEMBI sur la période 1986-2005.

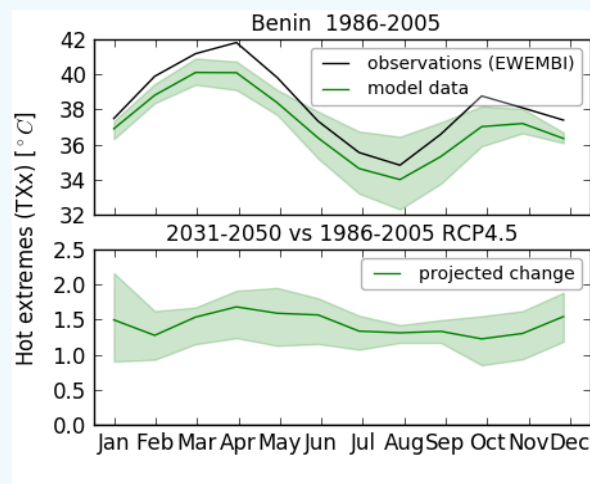


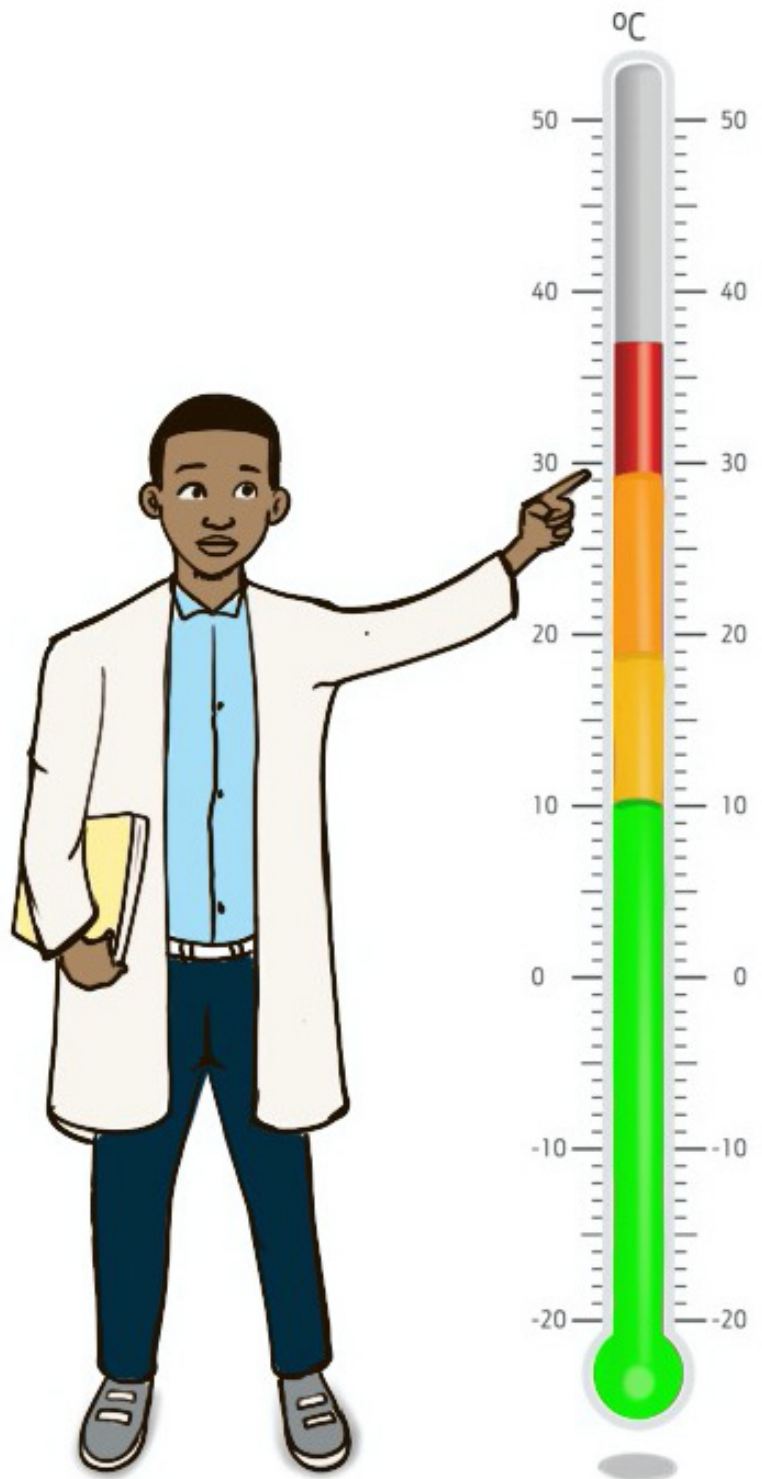
Figure 4 : Cycle saisonnier des températures extrêmes sur le Bénin, représentant l'évolution moyenne mensuelle températures maximales.

Les 4 modèles (ECEARTH, HADGEM2, IPLS et MPIESN) ont tous été individuellement corrigés des biais suivant une méthode utilisée actuellement dans le cadre du programme ISIMIP (Hempel, 2013). Ces modèles climatiques ont tous été validés a

priori pour étudier leur comportement par rapport à la situation observée. L'image en haut montre que la variabilité des températures extrêmes est bien simulée par les modèles climatiques.

Evolution des températures extrêmes

L'analyse des températures extrêmes peuvent aussi être des indicateurs importants sur le développement de certains types de cultures. Dans certains cas, les valeurs extrêmes de températures traduisent des vagues de chaleurs qui peuvent aussi avoir des effets néfastes sur la santé des populations. Nous notons ici, sur la figure 4 que les modèles climatiques prévoient des hausses significatives sur les températures extrêmes avec des hausses pouvant aller jusqu'à 2C en moyenne mensuelle sur le moyen terme par rapport au scénario RCP4.5.



RÉFÉRENCES

- Adger, N. W., N. Brooks, G. Bentham, M. Agnew et S. Eriksen. 2004. New Indicators of Vulnerability, Technical report 7. Norwich: Tyndall Centre for Climate Change Research, 128 p.
- Hargreaves, G.H., and Z.A. Samani. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engrg. in Agric.* 1:96-99.
- Heinzeller, D., Dieng, D., Smiatek, G., Olusegun, C., Klein, C., Hamann, I., Salack, S., Bliefernicht, J., and Kunstmann, H., (2018): The WASCAL high-resolution regional climate simulation ensemble for West Africa: concept, dissemination and assessment, *Earth Syst. Sci. Data*, 10, 815-835, <https://doi.org/10.5194/essd-10-815-2018>.
- Hempel, Sabrina, et al., (2013): A trend-preserving bias correction—the ISI-MIP approach. *Earth System Dynamics* 4.2 (2013): 219-236
- IPCC. in *Clim. Chang. 2013 Phys. Sci. Basis. Contrib. Work. Gr. I to Fifth Assess. Rep. Intergov. Panel Clim. Chang.* (Stocker, T. F. et al.) (Cambridge University Press, 2013).
- Marsham, J. H., Knippertz, P., Dixon, N. S., Parker, D. J., & Lister, G. M. S. (2011). The importance of the representation of deep convection for modeled dust-generating winds over West Africa during summer. *Geophysical Research Letters*, 38(16). doi: 10.1029/2011GL048368
- Meinshausen, M., Smith, S. J., Calvin, K., Daniel, J. S., Kainuma, M. L. T., Lamarque, J. F., . . . van Vuuren, D. P. P. (2011). The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic Change*, 109(1), 213. doi: 10.1007/s10584-011-0156-z
- Moss RH, Edmonds JA, Hibbard KA, Manning MR, Rose SK, van Vuuren DP, Carter TR, Emori S, Kainuma M, Kram T et al (2010): The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463:747–756
- Nikulin, G., Jones, C., Giorgi, F., Asrar, G., Büchner, M., CerezoMota, R., Christensen, O. B., Déqué, M., Fernandez, J., Hänsler, A., van Meijgaard, E., Samuelsson, P., Sylla, M. B., and Sushama, L., 2012: Precipitation Climatology in an Ensemble of CORDEX-Africa Regional Climate Simulations, *J. Climate*, 25, 6057–6078, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00375.1>.
- Prein, A. F., Langhans, W., Fosser, G., Ferrone, A., Ban, N., Goergen, K., . . . Leung, R. (2015). A review on regional convection-permitting climate modeling: Demonstrations, prospects, and challenges. *Reviews of Geophysics*, 53(2), 323-361. doi: 10.1002/2014RG000475
- Redelsperger, J.-L., Thorncroft, C. D., Diedhiou, A., Lebel, T., Parker, D. J., & Polcher, J. (2006). African Monsoon Multidisciplinary Analysis: An International Research Project and Field Campaign. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 87(12), 1739-1746. doi: 10.1175/BAMS-87-12-1739
- Riahi, K., Rao, S., Krey, V., Cho, C., Chirkov, V., Fischer, G., . . . Rafaj, P. (2011). RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, 109(1), 33. doi: 10.1007/s10584-011-0149-y
- Stefan (2016): Earth2Observe, WFDEI and ERA-Interim data Merged and Bias-corrected for ISIMIP (EWEMBI). GFZ Data Services. <http://doi.org/10.5880/pik.2016.004>
- Stratton, R. A., Senior, C. A., Vosper, S. B., Folwell, S. S., Boutle, I. A., Earnshaw, P. D., . . . Wilkinson, J. M. (2018). A Pan-African Convection-Permitting Regional Climate Simulation with the Met Office Unified Model: CP4-Africa. *Journal of Climate*, 31(9), 3485-3508. doi: 10.1175/JCLI-D-17-0503.1
- van Vuuren, D. P., Stehfest, E., den Elzen, M. G. J., Kram, T., van Vliet, J., Deetman, S., . . . van Ruijven, B. (2011). RCP2.6: exploring the possibility to keep global mean temperature increase below 2°C. *Climatic Change*, 109(1), 95. doi: 10.1007/s10584-011-0152-3

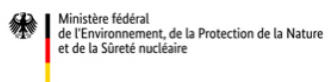


Novembre 2019

Mis en œuvre par



Mandaté par :



de la République fédérale d'Allemagne

Sous la tutelle du :



En coopération avec :

