



## **SIMULATION DES TEMPÉRATURES EN CENTRAFRIQUE AU MOYEN DES MODÈLES CLIMATIQUES ET IMPACTS POTENTIELS SUR LA SANTÉ HUMAINE**

### **DIFFICULTIES IN ACCESSING DRINKING WATER IN THE CENTRAL AND PERICENTRAL DISTRICTS OF LIBREVILLE (GABON): BETWEEN THE OBSOLESCENCE OF THE NETWORK AND RECOURSE TO TRANSPORT**

<sup>1</sup> DOUKPOLO Bertrand, <sup>2</sup> WATTA Melchycedeck, <sup>3</sup> HARRISON Mike

<sup>1</sup> Maître-Assistant de Géographie physique, Laboratoire de Climatologie, de Cartographie et d'Études Géographiques - Université de Bangui, Centrafrique, bertrandoukpolo@yahoo.fr

<sup>2</sup> Maître-Assistant de Géographie physique, Laboratoire de Climatologie, de Cartographie et d'Études Géographiques - Université de Bangui, Centrafrique, melchycedeckw@yahoo.fr

<sup>3</sup> Directeur de Recherche es. Sciences physiques, Climate for Development in Africa Program (ClimDev Africa)/African Centre of Meteorological Applications for Development (ACMAD), 007mikeharrison@gmail.com

DOUKPOLO Bertrand, WATTA Melchycedeck, HARRISON Mike, Simulation des températures en Centrafrique au moyen des modèles climatiques et impacts potentiels sur la santé humaine, *Revue Espace, Territoires, Sociétés et Santé* 5 (10), 115-132, [En ligne] Décembre 2022, URL: <https://retssa-ci.com>

### **Résumé**

L'objectif majeur de cet article est d'étudier la variabilité et les tendances de températures actuelles et futures en République Centrafricaine

puis analyser les impacts des potentiels changements thermométriques sur la santé humaine. Afin de donner une vue d'ensemble plus exhaustive du climat de l'espace centrafricain, plusieurs ensembles de données disponibles, qui fournissent des climatologies mondiales, ont été utilisées. Ces ensembles de données sont essentiellement répartis en deux groupes principaux, ceux qui sont basés sur une analyse statistique des observations disponibles et ceux qui sont basés sur des réanalyses. Les statistiques de l'Organisation Mondiale de la Santé sur l'évolution épidémiologique et la résurgence des pathologies liées aux risques climatiques ont été exploitées et croisées. Les résultats montrent qu'entre 2030 et 2050, les changements climatiques devraient causer près de 5.000 décès supplémentaires par an, en accroissant la malnutrition et la sous-alimentation des enfants, les maladies transmises par des insectes, les diarrhées et les stress liés à la chaleur. Les influences potentielles de ces changements sur la santé sont donc multiples et variées. A ces dommages, il faut ajouter les

Les difficultés d'accès à l'eau potable dans les quartiers centraux et péri-centraux de Libreville (Gabon) : entre vétusté du réseau et recours aux transports

migrations de populations fuyant des modifications profondes de leur cadre de vie : diminution des rendements agricoles, inondations et sécheresses récurrentes, etc. Plusieurs milliers de « réfugiés climatiques » sont attendus au départ de la région étudiée à l'horizon 2050.

**Mots clés** : Températures moyennes simulées, modèles climatiques, impacts futurs, santé humaine, Centrafrique

---

## Abstract

---

The main objective of this article is to study the variability and trends of current and future temperatures in the Central African Republic and to analyze the impacts of potential thermometric changes on human health. To give a more comprehensive overview of the climate of the Central African space, several available datasets that provide global climatology, have been used. These datasets are basically divided into two main groups, those that are based on statistical analysis of available observations and those that are based on reanalyses. The statistics of the World Health Organization on the epidemiological evolution and the resurgence of pathologies linked to climate risks have been used and compared. The results show that between 2030 and 2050, climate change is expected to cause nearly 5,000 additional deaths per year, by increasing malnutrition and undernutrition in children, insect-borne diseases, diarrhea, and stress related to the heat. The potential influences of these changes on health are therefore many and varied. To this damage must be added the migration of populations fleeing profound changes in their living environment: reduction in agricultural yields, recurrent floods, and droughts, etc. Several

thousand "climate refugees" are expected to depart from the region studied by 2050.

**Keyword** : Simulated average temperatures, climate models, future impacts, human health, Central, African Republic

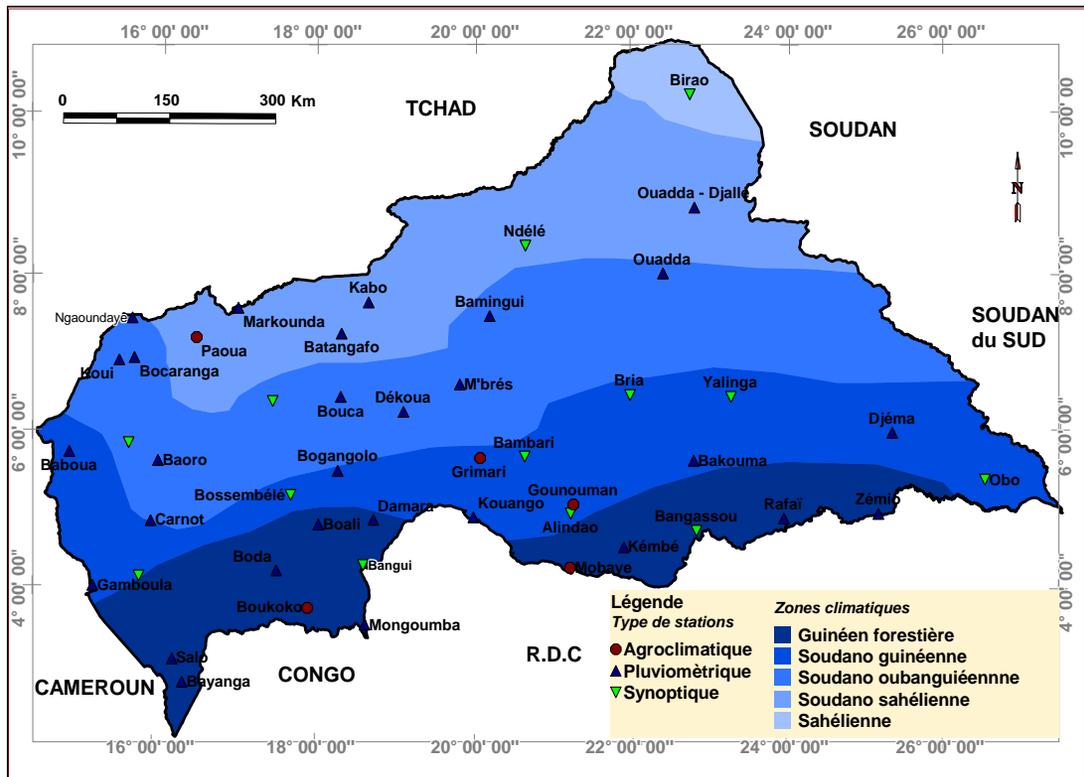
---

## INTRODUCTION

---

Vaste territoire d'une superficie arrondie à 623.000 Km<sup>2</sup>, la République Centrafricaine (RCA), pays enclavé, se trouve à l'extrémité septentrionale de la partie de l'Afrique qui est couverte par les changements d'un mois à l'autre de l'emplacement de la grande zone de convection fréquemment dénommée Zone de Convergence Intertropicale (ZCIT). L'espace centrafricain, compris entre 2 ° et 11 ° de latitude Nord et 14 ° et 28 ° de longitude Est, a un climat tropical, bien que dans les régions montagneuses de l'ouest du pays, les conditions puissent être assez fraîches. Dans le nord, les précipitations annuelles moyennes varient entre 875 et 1000 mm tandis que les données relevées à la station synoptique de Boukoko dans le sud donnent des variations de 1500 à 2000 mm. La carte n°1 présente les caractéristiques agroclimatiques de la République Centrafricaine, avec cinq (5) variantes sous-climatiques. Le relief est constitué d'un plateau qui s'étend entre les bassins fluviaux du Tchad et du Congo tandis que le massif des Bongo au nord-est, le massif de Yadé au nord-ouest et les collines du Ferti sont les traits les plus saillants du paysage. La végétation varie des forêts tropicales humides dans l'extrême sud-ouest à une végétation semi-désertique dans la pointe du nord-est, tandis que la majeure partie du pays est boisée. Le territoire centrafricain est arrosé par deux réseaux hydrographiques, le Chari qui s'écoule vers le nord et se jette dans le bassin du Tchad et l'Oubangui qui s'écoule vers le sud et se jette dans le bassin du Congo.

### Carte n°1 : Caractéristiques agroclimatiques de la République Centrafricaine



Source : Laboratoire de Climatologie, de Cartographie et d'Etudes Géographiques (LACCEG), 2021

Dans cette étude, les conséquences humaines des potentiels changements climatiques et les possibilités de s’y adapter sont également analysées et élucidées. D’un point de vue météorologique et entomologique, les chercheurs S. Lindsay et A. Martens (2018, p.331) sont convaincus que l’élargissement des zones chaudes et humides à la surface du globe, notamment à l’échelle des Tropiques africaines, décuplerait les populations d’insectes vecteurs de virus ; même s’il est sans doute admis que les effets climatiques futurs sur les maladies infectieuses sont plus complexes à élucider statistiquement en milieu tropical africain. Cependant, les impacts socio-économiques des potentiels changements climatiques en Afrique subsaharienne sont éloquentes, car selon K. Smith et *al.*, (2014, p. 723), le coût estimé des dommages directs pour la santé humaine

avoisinerait un milliard de dollars par an d’ici à 2050.

Les conclusions de récentes études du GIEC (2014 et 2022) sur l’évolution du climat global en relation avec la santé humaine indiquent que le réchauffement des températures lié à l’enrichissement atmosphérique en CO2 d’origine anthropique en particules a de profondes incidences sur les cancers, les maladies des services d’urgence, les mesures préventives cardiorespiratoires et métaboliques et les allergies. La gestion des épisodes caniculaires nécessite des mesures robustes d’adaptation en amont. Les sujets à bas âges et les personnes âgées sont notamment les plus vulnérables. Le développement des surveillances épidémiologiques, l’enseignement et la recherche biomédicale en santé environnementale constituent d’actuels

impératifs, justifiant ainsi l'intérêt scientifique de la présente étude.

Comme dans les autres pays tropicaux caractérisés par une distinction visible entre des étés chauds et humides et des hivers plus frais et secs, les maladies affectant la population centrafricaine ont un caractère saisonnier marqué. Dans l'ensemble le climat a un impact considérable sur la santé, et de nombreuses maladies sont reconnues par l'Organisation Mondiale de la Santé (WHO, 2014) comme étant sensibles au climat. Cet organisme onusien donne une classification des principales maladies infectieuses affectant la population centrafricaine. Il s'agit notamment de maladies d'origine alimentaire ou d'origine hydrique (diarrhée bactérienne et protozoaire, hépatite A et fièvre typhoïde), de maladie vectorielle (paludisme), de maladie respiratoire (méningite à méningocoques), de maladie par contact avec l'eau (schistosomiase) et de maladie par contact avec les animaux (rage).

Une telle sous-division est très utile lorsqu'on essaie d'établir un rapport entre chaque maladie et des conditions climatiques particulières, et d'analyser leur sensibilité au climat. Elle fait ressortir comment la saison sèche, particulièrement lorsqu'il y a un manque de précipitations très aigu, est propice aux maladies telles que : la fièvre typhoïde, l'hypertension, les infections respiratoires, la méningite, la diarrhée et la rougeole est également utile. D'autres maladies sont présentes d'un bout à l'autre de l'année à savoir : le paludisme, la parasitose, la fièvre typhoïde et la diarrhée.

Cependant, les observations empiriques montrent que même pendant la saison des pluies, les épidémies de grippe surviennent plus fréquemment en raison de périodes sèches qui diminuent l'humidité de l'air, déclenchant ainsi des épidémies de grippe (M. Boulahya, 2009, p.17; B.A. Brahim, 2022, p.10). Des informations sur la durée des périodes sèches pendant la saison des pluies seraient donc un outil d'alerte précoce très précieux à divers égards : on pourrait prodiguer des conseils à la

population, prévoir un approvisionnement approprié en médicaments, etc.

Le paludisme est largement reconnu comme la plus importante des maladies sensibles au climat dans le monde (B.A. Brahim, 2022, p.9). Il est considéré comme une entrave majeure au développement socioéconomique, particulièrement en Afrique où sont enregistrés 90 % des 1 à 3 millions de décès qu'il provoque chaque année (S. Lindsay et A. Martens, 1998, p.339). L'analyse des données cliniques et épidémiologiques (MSP, 2021, p.127) montre que les populations centrafricaines qui sont affectées par le VIH/SIDA ont peu d'immunité acquise au paludisme et sont par conséquent vulnérables à des épidémies explosives qui peuvent provoquer des taux élevés de décès dans tous les groupes d'âge du pays.

Cet état de fait constitue bien évidemment un problème crucial de santé publique qui se pose avec beaucoup d'acuité, d'autant plus que le climat, notamment la hausse de températures, est considéré comme le facteur primordial dans la détermination et la prévalence de certaines épidémies (P. Yaka et *al.*, 2008, p.7). Ces auteurs affirment que la température influe sur les taux de développement aussi bien du parasite paludéen que de son moustique hôte. Ils constatent que les températures plus élevées, mais uniquement jusqu'à 40°C environ, réduisent la période d'incubation parasitaire extrinsèque et augmentent la stabilité de transmission de la maladie. La recrudescence de certaines pathologies comme le paludisme est également liée à des augmentations de l'humidité atmosphérique qui entraîne une plus grande survie du vecteur adulte et par là-même une plus forte probabilité de transmission de la maladie (Y. Zhang et *al.*, 2014, p.160). Ainsi, des précipitations accrues, particulièrement dans les zones plus sèches (septentrion centrafricain), augmentent le nombre de sites de reproduction et par conséquent augmentent les populations vectorielles du paludisme et d'autres maladies infectieuses si la température est favorable.

Dans ce contexte, quels seront les impacts des potentiels changements de températures aux horizons futurs (2030 et 2050) sur la santé des populations centrafricaines confrontées de plus en plus aux effets néfastes des îlots de chaleur urbains et à la hausse des températures ?

## 1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

De sources concordantes, il y a peu de données disponibles récentes pour l'espace centrafricain pouvant permettre d'établir la climatologie de l'ensemble du pays. Certes des enregistrements pour un nombre de villes existent, mais ceux-ci ne concernent souvent que quelques années et la période d'avant 2000. Pour cette étude, deux ensembles de données du premier type ont été examinés, le premier provenant de la « Climatic Research Unit » (CRU) de l'University of East Anglia au Royaume-Uni, le second d'un Centre de collaboration basé à l'University of Delaware aux Etats-Unis. L'ensemble de données de réanalyse utilisé est celui des US National Centers for Environmental Prediction (NCEP) système basé sur les modèles de prévision météorologiques.

Pour les scientifiques et prévisionnistes du GIEC (2014), on ne peut pas s'attendre à ce qu'une technique statistique, aussi évoluée soit-elle, puisse être extrapolée avec précision en régions géographiques si elle n'est confirmée par aucune donnée in situ ou si les données sont limitées ; et il n'est pas non plus possible d'évaluer la précision des valeurs des ensembles de données

pour ces régions. Par conséquent, tandis que ces valeurs obtenues statistiquement pour l'espace centrafricain et ses environs peuvent être uniquement considérées comme les meilleures valeurs disponibles, ce n'est que lorsqu'on aura une série prolongée d'observations in situ que l'on pourra évaluer la précision de ces ensembles de données statistiques dans les régions pour lesquelles il existe peu de données. Certains problèmes inhérents aux deux ensembles de données statistiques sur les températures (paramètre plus facile à extrapoler que les précipitations) ont été remarqués lorsque ceux-ci ont été comparés graphiquement aux simulations du modèle climatique, problèmes signalés dans quelques-uns des graphiques qui en résultent.

Ceci ne veut pas dire que les modèles climatiques donnent une simulation nécessairement plus précise des températures mais aide à justifier la réalisation des études climatiques à l'échelle centrafricaine sur la base des modèles plutôt que de l'approche statistique avant l'établissement d'ensembles de données nationales basée sur des observations. Néanmoins, la réanalyse du NCEP est considérée comme l'une des meilleures par la communauté scientifique et, dans la pratique, elle est mentionnée bien plus fréquemment que tout autre ensemble de données de réanalyse. Pour cette étude, 12 modèles climatiques (tableau n°1) ont été exécutés de manière équivalente sur la même période que la réanalyse du NCEP, ce qui permet d'effectuer une comparaison interne.

**Tableau n°1. Sélection des MCG dans les archives CMIP5 et leurs résolutions d'origine**

	Modèles	Sources	Scénarios SRES	Maille de résolution d'origine	
				Atmosphère	Océan
1.	CM2.0	CCR(Norvège)	A2 & B1	2.5° - 3.85°	1.25°- 1.85°
2.	CCSM3	NCAR (USA)	A2 & B1	1.4° - 1.4°	0.46°- 1.25°
3.	CGCM3.1	CCCMA (Canada)	A2 & B1	3.75° - 3.75°	1.85°- 1.85°
4.	CM3.0	IMN (Russie)	A2 & B1	2.5° - 3.75°	1.25°- 1.25°

Les difficultés d'accès à l'eau potable dans les quartiers centraux et péri-centraux de Libreville (Gabon) : entre vétusté du réseau et recours aux transports

	Modèles	Sources	Scénarios SRES	Maille de résolution d'origine	
				Atmosphère	Océan
5.	CSIRO MK3	ABM (Australie)	A2 & B1	1.85° - 1.85°	0.95° - 1.85°
6.	ECHAM5	MPI (Allemagne)	A2 & B1	1.85° - 1.85°	1° - 1°
7.	GCCM2.3.2a	MRI (Japon)	A2 & B1	2.5° - 3.75°	1.25° - 1.25°
8.	GFDLCM2.1	NOAA(USA)	A2 & B1	2° - 2.5°	0.9° - 1.0°
9.	GISS E-R	NASA (USA)	A2 & B1	4° - 5°	4° - 5°
10.	HadCM3	UKMO (UK)	A2 & B1	2.5° - 3.75°	1.25° - 1.25°
11.	MIROC3.2	CCSR (Japon)	A2 & B1	2.81° - 2.81°	0.9° - 1.4°
12.	PCM	NCAR (USA)	A2 & B1	2.81° - 2.81°	1.0° - 1.0°

Source : Synthèse bibliographique des archives du CMIP5, 2021

Les données climatologiques de température provenant des réanalyses du NCEP ont été produites à l'aide d'un modèle assez similaire à celui qui est utilisé pour les prévisions météorologiques au NCEP, modèle qui n'est pas utilisé spécifiquement pour les prévisions climatiques. Une des différences entre le modèle utilisé pour les réanalyses et ceux qui sont utilisés pour les prévisions climatiques est que ces derniers évaluent les informations sur des grilles horizontales qui sont quelques peu plus larges que celles qui sont utilisées par le modèle NCEP. C'est l'une des nombreuses raisons de fond pour lesquelles les simulations des modèles climatiques ne peuvent pas reproduire parfaitement celles du modèle NCEP. Ainsi, les statistiques saisonnières ont été estimées pour des périodes de trois mois, à savoir Décembre-Janvier-Février (DJF), Mars-Avril-Mai (MAM), Juin-Juillet-Août (JJA) et Septembre-October-Novembre (SON). Bien que ce choix de mois soit basé sur une pratique climatologique traditionnelle, il est admis que ces groupes de mois ne représentent pas forcément de manière optimale le cycle climatique annuel du pays. Quant aux données climatologiques observées, elles proviennent de la Direction Nationale de

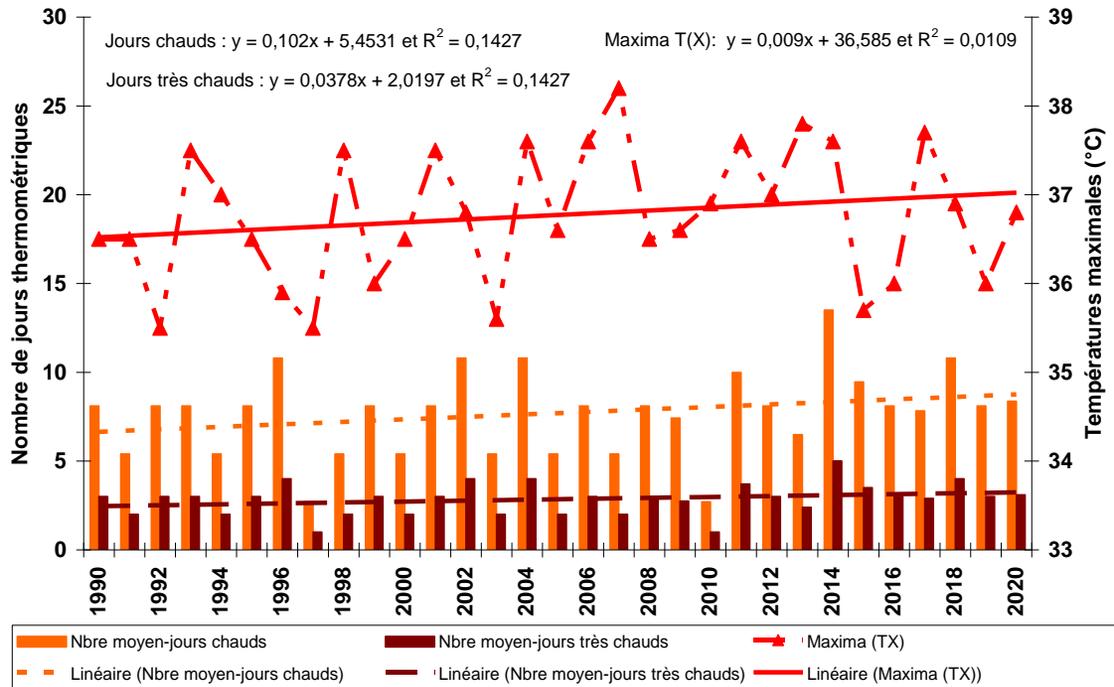
Météorologie et du Service de Climatologie de la représentation de l'ASECNA en RCA. Ces données historiques sont ensuite compilées, traitées et archivées par le Laboratoire de Climatologie, de Cartographie et d'Etudes Géographiques (LACCEG) de l'Université de Bangui (RCA). Celles-ci ont été produites sur une série chronologique normale de 1990 à 2020, notamment pour quelques stations synoptiques encore fonctionnelles (Bangui, Berbérati, Bria, Birao, Bossembélé, Bouar, Ndélé, Bossangoa, Bambari et Bangassou). Les traitements statistiques et cartographiques ont été effectués au LACCEG (2021). Les sorties logicielles ont été rendues possible grâce aux contributions scientifiques du ClimDev in Africa Program, une composante de l'ACMAD (2021).

## 2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Variabilité et tendances des températures observées

La RCA est un pays tropical caractérisé par des températures de chaudes à très chaudes tout au long de l'année (figure n°1). Les mois les plus chauds en moyenne sont ceux qui précèdent immédiatement la saison des pluies, c'est-à-dire mars et avril, tandis que les températures ont tendance à être plus basses pendant la saison des pluies elle-même.

**Figure n° 1. Variabilité inter annuelle du nombre de jours de forte chaleur, de très forte chaleur et des paroxysmes des températures maximales en Centrafrique, 1990-2020**



Source : Laboratoire de Climatologie, de Cartographie et d'Etudes Géographiques (LACCEG), 2022

Au jour le jour, on peut raisonnablement supposer que les jours secs auront tendance à être plus chauds que les jours pluvieux. Des températures minimales élevées sont plus fréquentes dans le sud humide du pays, atteignant parfois 110 jours par an dans le sud-ouest, chiffre qui tombe à environ 70 jours, ou le double de l'attente climatique, dans le nord plus sec. Ainsi, la fréquence des jours chauds peut facilement passer du simple à plus du double dans les années sèches, tandis que le nombre de nuits chaudes pourrait passer du simple au triple (mais, dans ce cas, pas nécessairement pendant les années sèches), et dans les deux cas par comparaison avec les moyennes climatologiques.

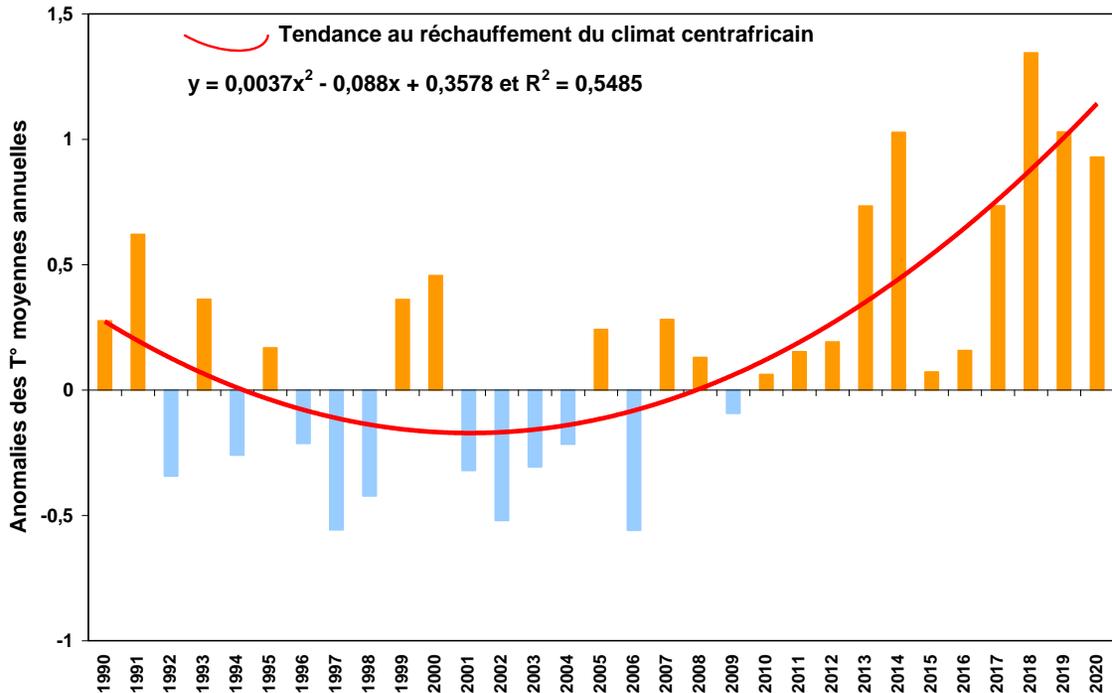
La fréquence des jours à forte chaleur et des températures maximales affiche une tendance à l'augmentation, particulièrement remarquable depuis la fin des années 2000. La fluctuation de fréquence des jours à chaleur paroxysmique est étroitement corrélée aux températures

maximales inter-vernales (mars à juin). Les années 1993, 2007, 2014 et 2018 ont été particulièrement chaudes. Elles ont enregistré des fréquences élevées de paroxysmes de chaleur. Des températures paroxysmiques plus importantes restent possibles, mais avec des probabilités de retour plus espacées, de l'ordre de plus de 20 ans. La tendance actuelle au réchauffement climatique est observée sur le territoire centrafricain (B. Doukpolo, 2014, p.163).

Les températures en RCA ont augmenté, en général, depuis l'accident climatique des années 1970, alors que celles-ci semblaient relativement stables auparavant. La figure n°2 présente l'allure d'une courbe de tendance quasi-exponentielle vers l'aridité. L'analyse des indices de températures et les cycles interannuels indiquent que la température de l'air connaît une hausse régulière et la tendance ne semble pas inversée. Les indices et tendances

Les difficultés d'accès à l'eau potable dans les quartiers centraux et péri-centraux de Libreville (Gabon) : entre vétusté du réseau et recours aux transports thermométriques ont été déterminés sur la période de 1990 à 2020, avec  $i < 1$  pour les basses températures et  $i > 1$  pour les hautes températures.

**Figure n°2. Anomalies et tendances des températures moyennes en RCA, 1990-2020**



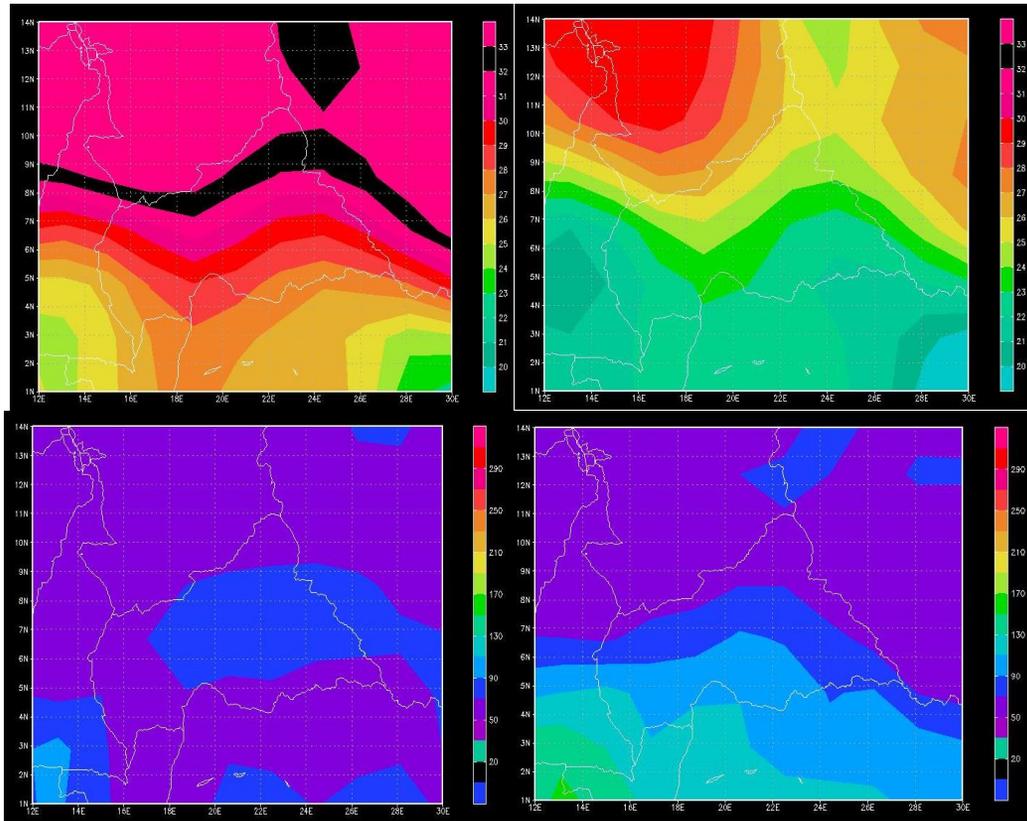
Source : Laboratoire de Climatologie, de Cartographie et d'Etudes Géographiques (LACCEG), **2022**

La contrainte thermique due à la chaleur est un problème plus important que la contrainte thermique due au froid, car les températures minimales ne tombent généralement pas en dessous de 15°C, étant donné en particulier la nature humide du climat (sans compter les températures plus fraîches qui peuvent survenir la nuit dans les parties de plus haute altitude du nord-ouest et du nord-est du Centrafrique.

D'un bout à l'autre de l'année, les températures maximales dans le nord du pays dépassent 33°C soit 10 % du temps, tandis que dans le sud plus humide la valeur comparable est de 26°C environ

(figure n°3). Les nuits peuvent être plus chaudes dans le nord, les températures ne descendant pas en dessous de 25°C voire 26°C soit 10 % des nuits, tandis que la valeur équivalente dans le sud-est de 20°C ou 21°C. Compte tenu du fait que l'attente climatologique est de 36,5 jours, les valeurs de la partie inférieure de la figure 4 indiquent que les températures maximales élevées peuvent en certaines années être dépassées entre 70 et 90 jours dans les régions centrales du territoire centrafricain (dorsale oubanguienne) et pendant 70 jours ou moins dans le sud et le nord du pays.

Figure n°3 : Valeurs de température qui ne sont dépassées que 10% du temps sur une base annuelle.



Sources : ACMAD (ClimDev Africa Program), 2020 et LACCEG, 2021

A gauche les valeurs journalières maximales, à droite les valeurs journalières minimales ; en haut les valeurs en °C, en bas nombre maximal de jours pendant lesquels les valeurs ont été dépassées entre 1990 et 2020. Les extrémités du code couleur sur le côté représentent respectivement toutes les valeurs supérieures à 33°C et inférieures à 20°C sur les graphiques des températures et toutes les valeurs de plus de 310 jours et de moins de 10 jours sur les deux graphiques inférieurs.

Selon ces calculs, le taux d'augmentation est plus rapide dans le nord-est de la RCA (20° à 26°N, 7° à 10°E), 0,34°C par décennie, que dans le sud-ouest de la RCA (14° à 20°N, 3° à 6°E), 0,24°C par décennie. D'après les données in situ disponibles, la tendance à Bambari est de 0,03°C par décennie tandis qu'à Bossangoa, plus au

nord, elle est de 0,48°C par décennie. Ces tendances enregistrées sur des périodes relativement normales correspondent donc assez bien aux tendances calculées d'après la réanalyse. Les températures maximales ont augmenté plus rapidement que les températures minimales sur l'ensemble du pays : 0,35°C par décennie contre 0,21°C par décennie. Cette différence est entièrement due aux changements des températures maximales dans le nord-est, qui ont augmenté au rythme de 0,44°C par décennie. Les taux d'augmentation des températures minimales dans le nord-est et des températures maximales et minimales dans le sud-ouest sont tous similaires à celui des températures minimales sur l'ensemble du pays, c'est-à-dire approximativement de 0,21°C à 0,24°C par décennie. Ces résultats et analyses y relatives

Les difficultés d'accès à l'eau potable dans les quartiers centraux et péri-centraux de Libreville (Gabon) : entre vétusté du réseau et recours aux transports corroborent avec les conclusions pertinentes de Y. ZHANG et al., (2014, p.213).

maximales et de températures minimales élevées.

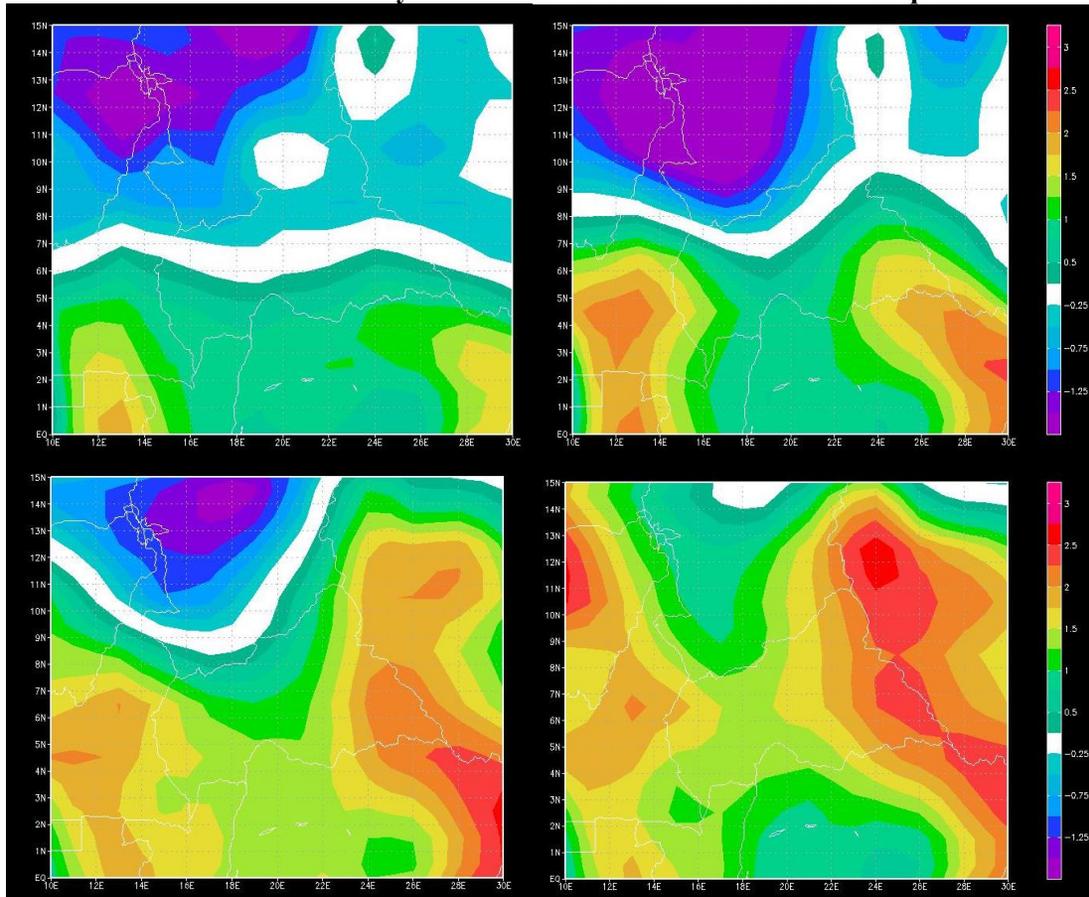
## 2.2. Variabilité et tendances des températures journalières moyennes simulées

Cette section présente les résultats portant sur les différences de températures journalières moyennes de la RCA selon la réanalyse du NCEP et en considérant trois niveaux, d'abord avec la moyenne d'ensemble des 12 modèles climatiques, ensuite avec les valeurs les plus chaudes et enfin avec les valeurs les plus froides. La contrainte thermique due à la chaleur est examinée plus bas en termes de températures

### 2.2.1. Simulation des températures selon la réanalyse NCEP et selon la moyenne d'ensemble

La moyenne d'ensemble (moyenne des 12 modèles) est généralement considérée comme la meilleure estimation disponible et les résultats illustrant les différences de température entre la moyenne d'ensemble des modèles climatiques et la réanalyse sont donnés à la figure n°4 (les valeurs positives indiquent que la moyenne d'ensemble du modèle climatique est la plus chaude).

**Figure n°4. Différences entre les températures journalières moyennes selon la réanalyse du NCEP et selon la moyenne d'ensemble des 12 modèles climatiques**



Sources : ACMAD (ClimDev Africa Program), 2020 et LACCEG, 2021

L'échelle de différence en °C est la même pour tous les graphiques ; les extrémités du code couleur sur le côté représentent respectivement toutes les différences de température négatives de moins de -1,5°C et toutes les différences de température positives de plus de 3,0°C ; les valeurs positives indiquent que la moyenne d'ensemble est plus chaude. Le blanc indique une concordance dans une plage de  $\pm 0,25^\circ\text{C}$ . Les quatre graphiques de la figure n°5 ci-haut donnent les valeurs des périodes DJF, MAM, JJA et SON (de gauche à droite).

Concernant la précision de simulations de cette nature, on peut raisonnablement affirmer que la température moyenne annuelle sur l'ensemble de l'espace centrafricain est bien simulée par la moyenne d'ensemble ; la bande blanche vers le nord du pays indique que les valeurs des deux types de modèles concordent à plus ou moins 0,25°C.

Dans le sud, les modèles climatiques donnent en moyenne des températures supérieures à celle de la réanalyse du NCEP à concurrence de 1,25°C environ au plus sur la majeure partie du pays, mais avec des valeurs de pointe de plus de 1,75°C, tandis qu'il n'y a aucune région du pays pour lesquelles les modèles climatiques donnent des valeurs plus froides que la réanalyse.

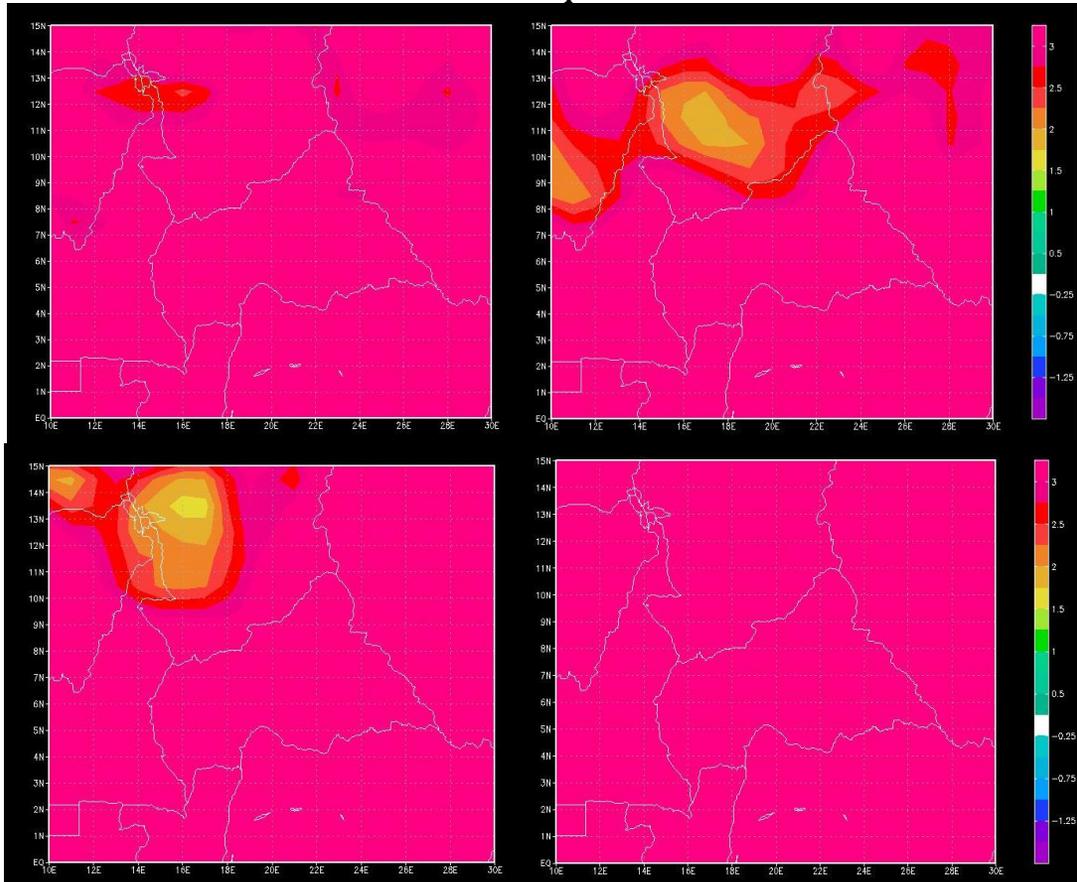
Il existe un mode similaire de différences des simulations de température entre les modèles dans la majeure partie des saisons de trois mois, avec une bande de concordance de plus ou moins 0,25°C en travers ou à proximité du nord du pays et les modèles climatiques simulant des températures plus fraîches au nord et plus chaudes au sud de cette bande. Une exception à cette règle, dont les raisons ne sont pas entièrement évidentes, est constatée durant la période SON pendant laquelle les modèles climatiques donnent des températures plus chaudes à concurrence de 1,25°C que celles des réanalyses sur l'ensemble du pays ; la raison peut être liée à la capacité des divers modèles de simuler les précipitations à différentes époques de l'année.

### **2.2.2. Simulation des températures selon la réanalyse NCEP et les valeurs chaudes**

L'interprétation de la figure n°5 qui suit indique que sur une base annuelle, les modèles individuels les plus chauds simulent des températures en RCA qui sont supérieures de 3°C aux températures données par les réanalyses du NCEP.

Les difficultés d'accès à l'eau potable dans les quartiers centraux et péri-centraux de Libreville (Gabon) : entre vétusté du réseau et recours aux transports

**Figure n°5. Différences entre les températures journalières moyennes de Centrafrique selon la réanalyse du NCEP et les valeurs les plus chaudes de l'un quelconque des 12 modèles climatiques**



Sources : ACMAD (ClimDev Africa Program), 2020 et LACCEG, 2021

Les tendances saisonnières sont équivalentes à la tendance annuelle, mais il est peut-être utile d'attirer l'attention sur la tendance de la période SON où, au pire, les modèles climatiques donnent des températures supérieures de plus de 3°C à celles du NCEP sur l'ensemble de la région. L'échelle de différence en °C est la même pour tous les graphiques ; les extrémités du code couleur sur le côté représentent respectivement toutes les différences de température négatives de moins de -1,5°C et toutes les différences de température positives de plus de 3,0°C ; les valeurs positives indiquent que la moyenne d'ensemble est plus chaude. Le blanc indique une concordance dans une plage de

±0,25°C. Les quatre graphiques donnent les valeurs des périodes DJF, MAM, JJA et SON (de gauche à droite).

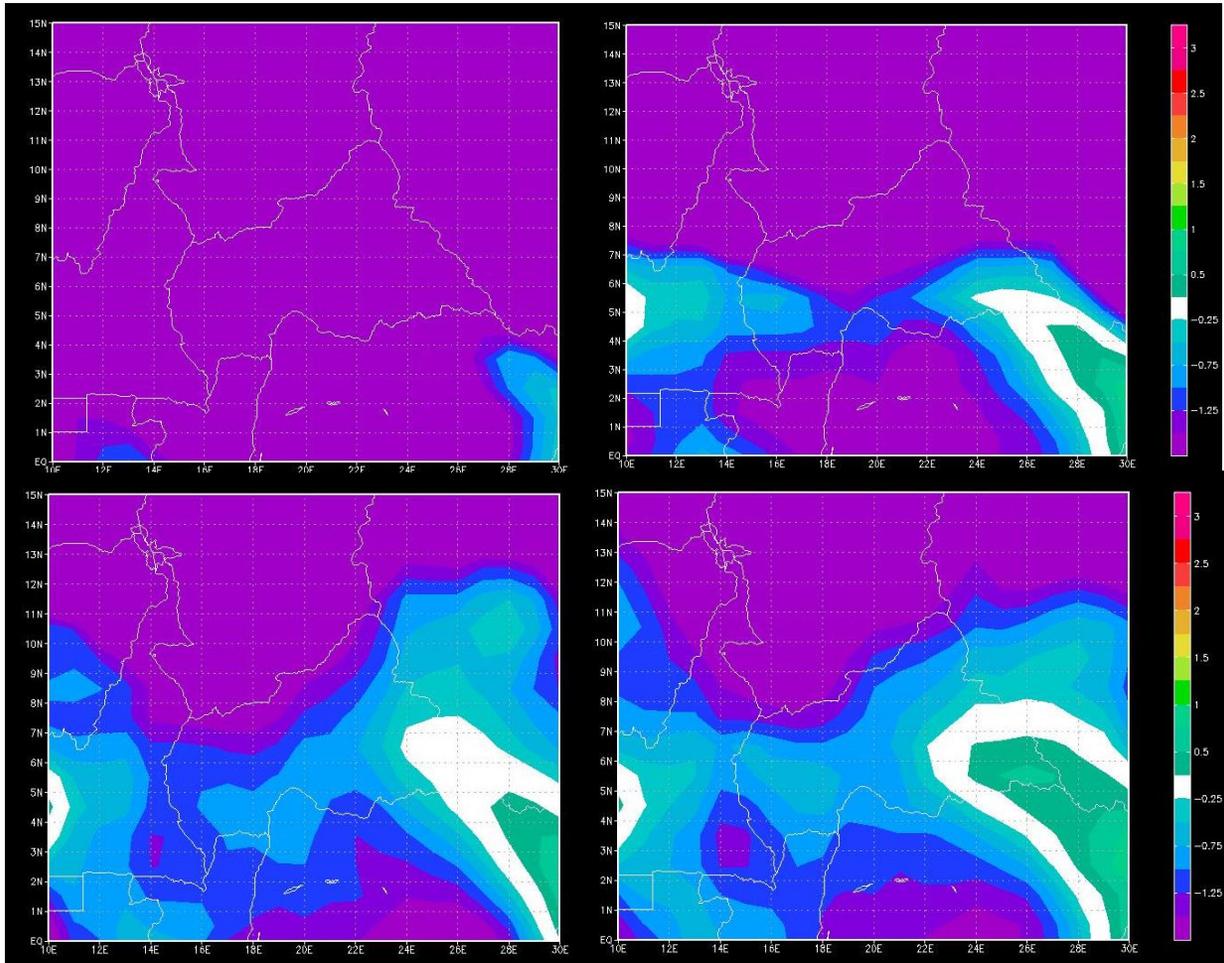
### 2.2.3. Simulation des températures selon la réanalyse du NCEP et les valeurs les plus froides

Les valeurs minimales simulées par l'un ou l'autre des modèles sont souvent, mais pas toujours, au moins 1,5°C plus froides que celles données par les réanalyses du NCEP (figure n°6). Ainsi, la plage des températures simulées en RCA par tous les modèles climatiques dépasse 4,5°C pour la période de 1990 à 2020, valeur qui est assez supérieure à l'augmentation de température sur l'ensemble du pays au cours du

siècle due au réchauffement mondial (selon la moyenne d'ensemble). En dépit de cette plage de valeurs entre les modèles, la moyenne

d'ensemble, comme on l'a déjà vu à la figure n° 5, fournit une simulation raisonnable par comparaison avec les valeurs du NCEP.

**Figure n°6. Différences entre les températures journalières moyennes de l'espace Centrafricain selon la réanalyse du NCEP et les valeurs les plus froides de l'un quelconque des 12 modèles climatiques**



Sources : ACMAD (ClimDev Africa Program), 2020 et LACCEG, 2021

L'échelle de différence en °C est la même pour tous les 4 graphiques ; les extrémités du code couleur sur le côté représentent respectivement toutes les différences de température négatives de moins de -1,5°C et toutes les différences de température positives de plus de 3,0°C ; les valeurs positives indiquent que la moyenne

d'ensemble est plus chaude. Le blanc indique une concordance dans une plage de  $\pm 0,25^\circ\text{C}$ . Le graphique principal donne les valeurs annuelles. Les quatre graphiques plus petits donnent les valeurs des périodes DJF, MAM, JJA et SON (de gauche à droite).

Les difficultés d'accès à l'eau potable dans les quartiers centraux et péri-centraux de Libreville (Gabon) : entre vétusté du réseau et recours aux transports

L'utilisation d'une moyenne d'ensemble offre de nombreux avantages par rapport à l'utilisation d'informations provenant d'un modèle unique. Cependant la plage de valeurs sur l'ensemble des 12 modèles au cours de la période de 1990 à 2020 ne sert qu'à tester l'aptitude des divers modèles à simuler les températures en RCA dans les conditions actuelles, et cela a été confirmé par les résultats d'une étude sur les scénarii climatiques en Centrafrique (B. Doukpolo et A. Kamga, 2021, p. 293). De ce qui précède, on peut

aisément comprendre que les températures sont calculées en tant que différences entre la simulation de chaque modèle sur la période de 1990 à 2020 (ou en tant que différences entre les moyennes d'ensemble respectives), plutôt que par rapport aux valeurs des réanalyses du NCEP, et les résultats sont par conséquent cohérents pour chaque modèle (ainsi que pour l'ensemble). Le tableau n°2 présente les principales tendances observées et les projections climatiques en République Centrafricaine.

**Tableau n°2. Tendances historiques et projections climatiques en RCA**

	Tendances observées	Projections climatiques	Impacts potentiels sur la santé humaine
Températures	La température moyenne annuelle a augmenté de 0,3 °C par décennie depuis 1990, avec des augmentations plus rapides dans les régions du nord-est.	Augmentation de 0,7 à 3 °C des températures moyennes annuelles d'ici 2050.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réduction de la qualité de l'eau et du cadre de vie.</li> <li>- Propagation des maladies vectorielles et hydriques.</li> <li>- Stress thermique.</li> </ul>
Précipitations	Diminution des précipitations, avec une variabilité interannuelle plus importante.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmentation des précipitations moyennes annuelles.</li> <li>- Irrégularité prononcée des précipitations</li> </ul>	

Source : Synthèse bibliographique, 2022

L'ensemble multimodèle précise systématiquement que les températures augmenteront de 1,4 à 2,7 °C d'ici aux années 2050 en République Centrafricaine (B. Doukpolo, 2014, p. 204). L'avenir des précipitations est moins certain, les projections suggérant à la fois des augmentations et des diminutions. Toutefois, on s'accorde à dire que les caractéristiques (moment, intensité, durée) des précipitations vont changer (A. Haensler et al., 2013, p.16). Les épisodes de précipitations intenses et extrêmes sont susceptibles d'augmenter, tandis que les précipitations moyennes seront moins uniformément réparties, avec une tendance accrue aux périodes de sécheresse qui impacteraient la santé des populations centrafricaines.

### 2.3. Impacts potentiels des changements climatiques sur la santé humaine

Cette section traite des effets les plus évidents du changement climatique sur la santé de l'homme, en mettant davantage d'accent sur les facteurs de stress thermométriques. Deux points sont à souligner. La mesure des effets du changement climatique sur la santé des populations ne peut être que très approximative, notamment sur les effets graduels par opposition aux événements extrêmes type canicule (cas de l'impact sur les maladies vectorielles). Ceci est essentiellement dû au côté «imprévisible» des agents infectieux, relèvent les scientifiques M. Harrison et B. Karlh (2020, p. 93).

De nombreux résultats d'études, notamment ceux de J.C. Bomba (1999), du WHO (2014) et du GIEC (2022) révèlent que le secteur de la santé en République Centrafricaine, à l'instar d'autres pays tropicaux d'Afrique subsaharienne, est vulnérable aux impacts des changements climatiques futurs qui, si aucune action n'est efficacement envisagée, entraîneraient des

répercussions négatives sur la santé des populations. Le tableau n°3 fait la correspondance entre les facteurs de stress climatiques et les risques climatiques en lien avec la santé humaine.

**Tableau n°3. Facteurs de stress climatiques et risques climatiques sur la santé humaine**

Facteurs de stress	Risques
<b>Hausse des températures</b>	Extension de l'aire de répartition des vecteurs de maladies (par exemple, les moustiques) et augmentation de la transmission de maladies infectieuses telles que le paludisme et le virus de la variole du singe
<b>Augmentation de la fréquence des précipitations intenses</b>	Un stress thermique plus prononcé à mesure que le nombre de jours et de nuits chauds augmente.
	Augmentation de l'incidence des maladies diarrhéiques (notamment le choléra)
	Stress accru sur la santé de la population vivant avec VIH/SIDA

Source : Synthèse bibliographique, 2022

En République Centrafricaine, le paludisme est une cause majeure de morbidité et de mortalité. Les zones situées à une altitude de 500 à 1000 m connaissent une transmission stable pendant la majeure partie de l'année, les niveaux de transmission les plus élevés coïncidant avec les limites de la forêt marécageuse de la basse Lobaye et de la Sangha-Mbaéré. Les zones montagneuses du nord-ouest (*Mambéré-Kadéi* et *Ouham-Pendé*) connaissent des saisons de transmission courtes mais sont sujettes aux épidémies de paludisme. Compte tenu de l'impact de la température sur le cycle de vie et l'habitat des espèces de moustiques et de parasites porteurs de paludisme, des températures plus élevées peuvent ouvrir de nouveaux lieux propices à la transmission dans le centre et le nord-est du pays, avec une saison relativement courte (7 à 9 mois).

Plus précisément, une analyse menée par l'USAID (2018, p.6) sur la base de l'aptitude des moustiques et de l'augmentation des températures suggère que d'ici 2030, 65.000 à 80.000 personnes supplémentaires en République Centrafricaine et en République Démocratique du Congo seront exposées au risque de paludisme endémique (10 à 12 mois d'aptitude à la transmission) dans des zones auparavant inadaptées à la transmission du paludisme, principalement dans le sud-est et les

poches des paysages du Chinko, du haut Oubangui et de l'Ituri-Epulu.

Outre les changements attendus dans la transmission du paludisme, l'augmentation de la température et les épisodes de précipitations plus intenses sont susceptibles d'avoir un impact sur la propagation des maladies à transmission hydrique et des maladies infectieuses émergentes. Bien qu'il s'agisse de l'une des régions les plus humides du monde, la majorité de ses habitants n'ont pas accès à l'eau potable et à l'assainissement (REACH, 2020, p.5). Les maladies diarrhéiques représentent déjà une charge importante pour la santé publique en RCA. Les températures élevées de l'air et les périodes de précipitations excessives créent des conditions qui favorisent la croissance et la propagation de bactéries, telles que *Vibrio cholerae* (choléra). La déforestation et le climat sont des catalyseurs importants de transmission du virus de la variole du singe (MPX) de la faune sauvage à l'homme dans les conditions climatiques actuelles (S. Lindsay et A. Martens, 2018, p.340).

Le croisement des données diachroniques (2010 à 2020) de l'évolution du climat en RCA donne la quasi-certitude sur la reconnaissance des liens entre les changements de températures et la prévalence de plusieurs maladies infectieuses. Les catastrophes, de même que les risques liés

surtout au secteur de l'eau, font peser des menaces importantes sur la santé des populations. D'après R. Ossé *et al.* (2019, p. 32), les changements climatiques entraîneront des conséquences sur la prévalence de deux types de maladies infectieuses aux horizons 2030 et 2050, notamment les maladies liées aux vecteurs (paludisme, fièvres) et les maladies liées à l'eau (dysenterie, cholera, gastro-entérites).

Dans une récente étude, le WHO (2014) précise qu'en RCA, les zones n'ayant pas de bonnes infrastructures de santé, pour la plupart dans le nord et le nord-est du pays, seront les moins en mesure de se préparer et de faire face à la situation sans assistance. Si un gros effort d'atténuation n'est pas entrepris, il va arriver un moment donné où l'adaptation des systèmes de santé (coups de chaleur) ne sera plus possible. La seule attitude responsable, désormais, serait un changement radical de nos modèles économiques et de nos modes de vie en société.

Selon M. Harrison et B. Karlh (2020, p.187), l'identification et la prévention des maladies saisonnières qui dépendent des variations climatiques, particulièrement lorsqu'elles sont transmissibles par l'air ou par l'eau est un élément prioritaire de la politique de santé publique en Centrafrique. Les intoxications alimentaires et la contamination par l'eau peuvent être dues à des parasites, des microbes ou des virus qui se reproduisent rapidement ou se répandent rapidement sous certaines conditions climatiques. Par exemple, des températures estivales plus chaudes et des débits réduits dans les cours d'eau peuvent provoquer une prolifération d'algues. Il peut également y avoir un plus grand taux d'agents pathogènes dans les eaux de crue qui, si elles inondent des zones peuplées, peuvent provoquer d'importants problèmes de santé publique. Pour pouvoir faire face à de tels événements, les impacts potentiels doivent être identifiés, circonscrits et compris.

---

## CONCLUSION

---

On peut conclure qu'en moyenne, les modèles climatiques saisissent le cycle des températures saisonnières de la RCA avec uniquement des erreurs relativement mineures, mais qu'ils ont tendance à simuler des températures plus chaudes que les températures observées. Les résultats qui viennent d'être discutés sont basés sur la moyenne d'ensemble des 12 modèles et l'on peut se demander pourquoi cette méthode a été adoptée au lieu d'obtenir les résultats d'un seul modèle. Il est très probable que si cette étude avait été élaborée par un cabinet spécialiste en modélisation, la démarche à modèle unique aurait été adoptée, cette méthode étant habituellement décrite dans les publications. Pour une solution unique, par opposition à une carte de probabilité, la moyenne d'ensemble est optimale à tous égards.

Ainsi, pour les raisons évoquées dans la méthodologie, la moyenne d'ensemble représente la meilleure estimation disponible de tous les modèles ; il est bien entendu possible que, dans un cas particulier, certains des modèles individuels pourraient fournir de meilleures solutions que la moyenne d'ensemble, mais il est peu probable que ces modèles donnent des résultats concordants dans tous les cas, qui présagent des impacts potentiels des changements climatiques sur la santé humaine, en République Centrafricaine, aux horizons 2030 et 2050.

La population centrafricaine sera très vulnérable aux impacts potentiels du changement climatique futur, sur le secteur de la santé, car les personnes ayant des conditions médicales préexistantes, particulièrement celles qui souffrent du VIH-SIDA ou du paludisme s'inscrivent dans cette catégorie (A. McMichael, 2013, p.1338). Il est important que les recherches sur les impacts sanitaires du changement climatique étudient soigneusement les besoins de ces groupes. Ce sont les éléments de la communauté qui ont le moins de chances de pouvoir se prendre en charge et s'adapter soit à des changements

graduels du climat soit à des événements météorologiques extrêmes.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BOMBA Jean Claude, 1999, « Rythmes climatiques et rythmes pathologiques en Centrafrique ». Thèse de doctorat de Climatologie, CRC de Dijon, Université de Bourgogne, 175 p.

BOULAHYA Mohammed, 2009, « Rapport de mission de la Banque Mondiale à Bangui, 23 juillet - 6 août 2009 ». Banque Mondiale, 47 p.

BRAHIM Bichara About, 2022, « Rythmes climatiques saisonniers et paludisme dans la ville de N'Djamena, Tchad », Mémoire de Master de Géographie physique, Climatologie et changements globaux. Département de Géographie, Université de Bangui, 93 p.

DOUKPOLO Bertrand, 2014, « Changements climatiques et productions agricoles dans l'Ouest de la République Centrafricaine ». Thèse de Doctorat unique de Géographie, Géosciences de l'environnement, Agroclimatologie. Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 305 p.

DOUKPOLO Bertrand et KAMGA André, 2021, « Modélisation et analyse des données d'observation et de simulation du climat actuel dans l'Ouest de la Centrafrique ». *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*. Vol. n° 30, décembre, pp.288-300

GIEC(IPCC), 2014, « Incidences, adaptation et vulnérabilité » – Résumé à l'intention des décideurs. Contribution du GT II au 5<sup>e</sup> rapport d'évaluation du GIEC [FIELD Christopher, BARROS Vicente, DOKKEN David, MACH Katharina, MASTRANDREA Michael, BILIR Eren, CHATTERJEE Monalisa, EBI Christie, ESTRADA Yuka, GIRMA Birhanu, LEVY Adam, CRAMER Wolfgang, MACCRACKEN

DOUKPOLO Bertrand, WATTA Melchycedeck, HARRISON Mike. (2022). *Revue Espace, Territoires, Sociétés et Santé*, 5 (10), 115-132  
Robert, MASTRANDREA Paije et WHITE Leslie (eds.). OMN, Genève, Suisse, 34 p.

GIEC (IPCC), 2022. Technical Summary, in *Climate Change, Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of WG II to the Sixth AR of IPCC* [PÖRTNER Hans-Otto, ROBERTS Debra, TIGNOR Melinda, POLOCZANSKA Elvira, MINTENBECK Katjat, ALEGRÍA Andrés, CRAIG Marlies, LANGSDORF Alexander Suss, LÖSCHKE Sina, MÖLLER Vincent, OKEM Andrew, RAMA Bardhyl, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA, pp. 37–118.

HAENSLER Andreas, JACOB Daniela, KABAT Pavel, LUDWIG Fulco, 2013, Scénarios climatiques du bassin du Congo. CSC Report No. 11, Hamburg, Germany, ISSN : 2192-4058, 210 p.

HARRISON Mike, BOULAHYA Mohammed, 2010, « Analyse des risques climatiques en République Centrafricaine », in *Gestion Environnementale et Croissance Durable en Afrique*. Vol. n° II, 102 p.

HARRISON Mike, KARLH Beniston., 2020, « Analyse des risques climatiques en République Centrafricaine », in *Gestion Environnementale et Croissance Durable en Afrique*. Vol. n° III, 221 p.

LINDSAY Steve & MARTENS Anne, 2018, « Malaria in the African highlands : past, present and future ». *Bull World Health Organ*, pp.333-345.

MCMICHAEL Anthony, 2013, « Globalization, Climate change and Human Health ». *New England Journal Medecine* n° 368 : pp. 1335-1343.

MSP (Ministère de la Santé Publique), 2021, « Annuaire statistique sur les districts et FOSA en RCA ». Direction Générale des Infrastructures

Les difficultés d'accès à l'eau potable dans les quartiers centraux et péri-centraux de Libreville (Gabon) : entre vétusté du réseau et recours aux transports sanitaires et des établissements hospitaliers, 201 p.

OSSE Razaki, TOKPONNON Filémon, OKÊ Mariam, ADJINDA Sourou, ZOUNMENO Alexandre, 2019, « Etude de Vulnérabilité sectorielle face aux changements climatiques au Bénin », Projet d'Appui Scientifique aux processus de Plans Nationaux d'Adaptation, 52 p.

REACH, 2020, « Susceptibilité et risque d'inondations en République Centrafricaine - Méthodologie d'analyse », Ressource Center, Fonds Humanitaire, RCA, 10 p.

SMITH Kirk, 2014, « Human Health : Impacts, adaptation, and co-benefits ». In Climate change : Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A : Global and Sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the 5th AR5 of the IPCC, Cambridge University Press, UK, pp.709-754.

USAID, 2018, « Risques climatiques dans le programme régional pour l'environnement en Afrique centrale (CARPE) et dans le Bassin du Congo », Fiche d'information, 8 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO), 2014, « Quantitative risk assessment of the effects of climate change on selected causes of death », 2030s and 2050s, 133 p.

YAKA Pascal, SULTAN Benjamin, BROUTIN Hélène, JANICOT Serge, PHILIPPON Solenne, FOURQUET Nicole, 2008, « Relationships between climate and year-to-year variability in meningitis outbreaks : A case study in Burkina Faso and Niger ». International J-Health Geo 7 : pp.1-13.

ZHANG Ying, HANSEN Alana, BI Peng, 2014, « Climate change and vector-borne viral diseases ». In Viral infections and global change. Singh SK ed John Wiley & sons Hoboken, New Jersey, 234 p.