

## **Tendances des événements extrêmes de température à Brazzaville et à Pointe-Noire (République du Congo) de 1950 à 2010**

**Martin MASSOUANGUI-KIFOUALA, Achile Patrick BATCHI MAV, Pépys Sheley Lydie MALEKE**

<sup>1</sup> Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines, Département de géographie, Université Marien Ngouabi, Brazzaville, République du Congo ; [mmartinkif@gmail.com](mailto:mmartinkif@gmail.com)  
Laboratoire Géographie, Environnement, Aménagement (LAGEA)

### **Sommaire :**

1. INTRODUCTION.....	105
2. DONNÉES ET MÉTHODES .....	106
2.1. Zone d'étude .....	106
2.2. Données.....	108
2.3. Méthodes.....	108
3. RÉSULTATS .....	111
3.1. Evolution des températures extrêmes à Pointe-Noire .....	111
3.2. Evolution des températures extrêmes à Brazzaville .....	112
4. DISCUSSION.....	114
4. CONCLUSIONS .....	115
5. RÉFÉRENCES .....	116

### **Citer ce document :**

MASSOUANGUI - KIFOUALA, M., BATCHI MAV, A. P., MALEKE, P. S. L. 2021. Tendances des événements extrêmes de température à Brazzaville et à Pointe-Noire (République du Congo) de 1950 à 2010. *Cinq Continents* 11 (23): 103-119

## Tendances des évènements extrêmes de température à Brazzaville et à Pointe-Noire (République du Congo) de 1950 à 2010

Martin MASSOUANGUI-KIFOUALA, Achile Patrick BATCHI MAV,  
Pépys Sheley Lydie MALEKE

**Trends of extreme temperature events in Brazzaville and Pointe-Noire (Republic of Congo) from 1950 to 2010.** The agglomerations of Brazzaville and Pointe-Noire are located in Central Africa, more precisely in the southern part of the Republic of Congo. The rapid evolution of the population and the sprawl of the urban fabric have strong impacts on the degradation of the environment and especially on the climate. Studying the urban climate from temperature extremes is the main objective of this study. After quality control, the extreme temperature indices were calculated from the ClimPACT2 software package. These indices were subsequently in reduced centered values. Linear regression allowed us to detect trends in the evolution of the different indices. The main results obtained show a tendency to increase the value of the lowest minimum temperature (TNn), the highest minimum temperature (TNx), the lowest maximum temperature (TXn) of the year and the highest maximum temperature (TXx) of the year. The same is true for hot days (TX90p) and hot nights (TN90p). But relatively cool nights (TN10p) and relatively cool days (TX10p) recorded a marked decrease. Pointe-Noire which is located at the edge of the Atlantic Ocean shows a pronounced increase, compared to Brazzaville. Its geographical position allows it to benefit from sea breezes which attenuate the warming of temperatures.

**Keywords:** Brazzaville, Pointe-Noire, températures, indices, trends.

**Tendances des évènements extrêmes de températures à Brazzaville et à Pointe-Noire (République du Congo) de 1950 à 2010.** Les agglomérations de Brazzaville et de Pointe-Noire sont situées en Afrique Centrale, plus précisément dans la partie sud de la République du Congo. L'évolution rapide de la population et l'étalement du tissu urbain ont des impacts forts sur la dégradation de l'environnement et surtout sur le climat. Etudier le climat urbain à partir des extrêmes des températures est le principal objectif visé par cette étude. Après contrôle de qualité, les indices des températures extrêmes ont été calculés à partir du progiciel ClimPACT2. Ces indices ont été par la suite en valeurs centrées réduites. La régression linéaire nous a permis de détecter les tendances de l'évolution des différents indices. Les principaux résultats obtenus mettent en évidence une tendance à la hausse la valeur de température minimale la plus basse (TNn), de température minimale la plus élevées (TNx), de température maximale la plus basse (TXn) de l'année et de la température maximale la plus forte (TXx) de l'année. Il en de même pour les jours chauds (TX90p) et les nuits chaudes (TN90p). Mais les nuits relativement fraîches (TN10p) et jours relativement frais (TX10p) ont enregistré une nette décroissance. Pointe-Noire qui est située au bord de l'Océan Atlantique accuse une hausse prononcée, comparée à Brazzaville. Sa position géographique lui fait bénéficier des brises de mer qui atténuent le réchauffement des températures.

**Mots-clés :** Brazzaville, Pointe-Noire, températures, indices, tendances.

## 1. INTRODUCTION

Parmi les problèmes qui préoccupent la communauté scientifique figure en bonne place l'urbanisation et le changement climatique. En raison du changement climatique, les températures de l'air mondiales ont augmenté de façon considérable (Sophie et al, 2019 ; Office for climate Education, 2019). Cette hausse qui est de l'ordre 1,5°C est associée à un réchauffement important des températures minimales et maximales au pas de temps journaliers.

D'ici la fin du 21<sup>ème</sup> siècle, le réchauffement climatique devrait entraîner une augmentation de l'intensité et de la fréquence des événements extrêmes tels que les vagues de chaleur en durée et en intensité (Lemonsu et al., 2013).

Aujourd'hui, plus de la moitié de la population mondiale (55%) se concentre dans les villes, et ce pourcentage devrait atteindre le chiffre de 68% en 2050 (ONU, 2018). Le processus d'urbanisation rapide a un impact sur le confort thermique urbain. Il s'agit précisément du phénomène de l'îlot de chaleur urbain (ICU), dont les répercussions sont péjoratives sur la qualité de vie et entraîne une forte demande de climatisation d'eau potable et une surmortalité accrue durant les vagues de chaleur (Dahech et Ghribi, 2017). Toutefois, les conditions locales peuvent affecter l'intensité de l'ICU (Dubreuil et al., 2008; Makido et al., 2016) qui varie d'une ville à une autre en fonction de plusieurs paramètres dont on peut citer la taille et la géométrie de la ville, le site, la latitude, l'éloignement de la mer et la situation météorologique (Wonga et al., 2011; Dahech, 2014).

L'intérêt récent de la communauté scientifique porté aux événements extrêmes est lié, en partie, à l'augmentation quasi-exponentielle des pertes économiques attribuées à ces événements, ainsi qu'à l'augmentation apparente du nombre de victimes de ces phénomènes au cours des trente dernières années (Karl et Easterling, 1999).

Les études menées en République du Congo montrent que l'ensemble du pays a enregistré une hausse des températures. Mais, ce réchauffement n'est pas ressenti de la même manière dans les zones urbaines que dans les zones rurales. Les agglomérations de Brazzaville et de Pointe-Noire connaissent un réchauffement très prononcé.

La présente étude s'intéresse à l'évolution des valeurs des températures extrêmes dans les agglomérations de la République : Brazzaville et Pointe. En 2007, sur un total de 3697490 habitants que comptait le pays, Brazzaville (1.373.382 habitants) et Pointe-Noire (715334 habitants) concentraient plus de la moitié de la population du pays (2088716 habitants), soit 56,49% (CNSEE, 2007). La croissance rapide de la population dans ces deux grandes villes s'accompagne d'une extension du tissu urbain et de la dégradation de l'environnement.

Elle vise à comprendre le changement et la variabilité du microclimat urbain à partir des indices des températures minimales et maximales.

Atteindre le confort thermique dans les espaces urbains de façon durable est l'une des préoccupations du développement durable.

Dans cet ordre d'idées, il est important d'entreprendre des études sérieuses sur le climat urbain en utilisant les indices des extrêmes climatiques qui rendent mieux compte les modifications du climat (Alessio et al, 2014; Jiang et al., 2016; Sahani, 2012; Almazroui et al., 2014; Athar, 2013; Kruger and Sekele, 2013).

Afin de réduire les impacts climatiques négatifs dans nos villes, les acteurs impliqués dans le développement urbain, la planification et la conception doivent commencer à intégrer les connaissances climatiques dans les stratégies de planification et créer des liens entre le microclimat, le confort thermique, la conception et les règlements d'urbanisme.

L'avantage d'utiliser les indices pour la détection du changement climatique est qu'ils peuvent être appliqués à différents paramètres du climat tels que les températures minimales, les températures maximales et les précipitations au pas de temps journalier; ils permettent aussi une comparaison facile des tendances entre diverses régions appartenant à des zones climatiques différentes ; les indices des extrêmes climatiques sont facilement compréhensibles et maniables pour des études d'impacts climatiques sur le plan socio-économique (Christensen et al, 2002 ; Polatino, 2008 ; Seneviratne, 2012).

## **2. DONNÉES ET MÉTHODES**

### **2.1. Zone d'étude**

L'agglomération de Pointe-Noire (*Punta Negra* qui veut dire : proéminence rocheuse sombre en espagnol) est située dans la partie sud-ouest du Congo, plus précisément entre les latitudes 4° et 5° sud et les longitudes 11°30" et 12° est (Figure 1). Elle est limitée au nord par la Rivière Rouge, au sud par le village Ndjemo et l'Océan Atlantique, à l'Est la de Ngondji (ex-Patra) à l'ouest par l'Océan Atlantique. Pointe-Noire est établie au bord de l'Océan Atlantique, dans le prolongement d'une étroite plaine littorale en contre-bas d'un plateau. Influencée par un climat tropical humide, Pointe-Noire est le poumon économique du Congo. Ses activités économiques basées essentiellement sur l'exploitation pétrolière ayant généré des nombreuses sous-traitances ont fait d'elle une ville très attractive. Suite à une augmentation rapide la population d'environ 4,5 % en moyenne par année, son tissu urbain a pratiquement triplé en 30 ans. Il est passé de 5 500 ha en 1974 à près de 14 800 ha en 2014, soit une extension annuelle de 300 ha. La croissance spatiale et numérique rapide a fait de Pointe-Noire un département à part entière subdivisé en six arrondissements : Lumumba, Mvoumvou, Tié-Tié, Loandjili, Mongo Mpoukou et Ngoyo (Ministère de la Construction,

de l'Urbanisme, de la Ville et du Cadre de Vie, 2016). Fondée par le décret du 22 mai 1922, elle fut la capitale du Moyen Congo de 1950 à 1959.

Fondée par Pierre Savorgnan de Brazza le 3 octobre 1880, l'agglomération de Brazzaville est située dans le sud-est du Congo sur la rive droite du fleuve Congo. Influencée par un climat tropical humide, s'étale sur un relief dominé par la plaine et les plateaux. A l'instar de Pointe-Noire, l'agglomération de Brazzaville grâce à ses structures socio-économiques exerce une influence considérable sur le reste du pays.

Cette situation justifie l'augmentation rapide de sa population et son étalement. Le taux de croissance démographique annuel est passé de 2,8 % (1984–1996) à 4,4% (1996–2007). Sa surface a plus que triplée en moins de 25 ans, passant de 6 000 ha en 1980 à près de 22 900 ha en 2014, une extension de 500 ha/an. Elle devient département à partir de 1980 et compte 9 arrondissements: Makélékélé, Bacongo, Poto-Poto, Moundali, Ouenzé, Mfilou, Djiri et Madibou (Ministère de la Construction, de l'Urbanisme, de la Ville et du Cadre de Vie, 2016).

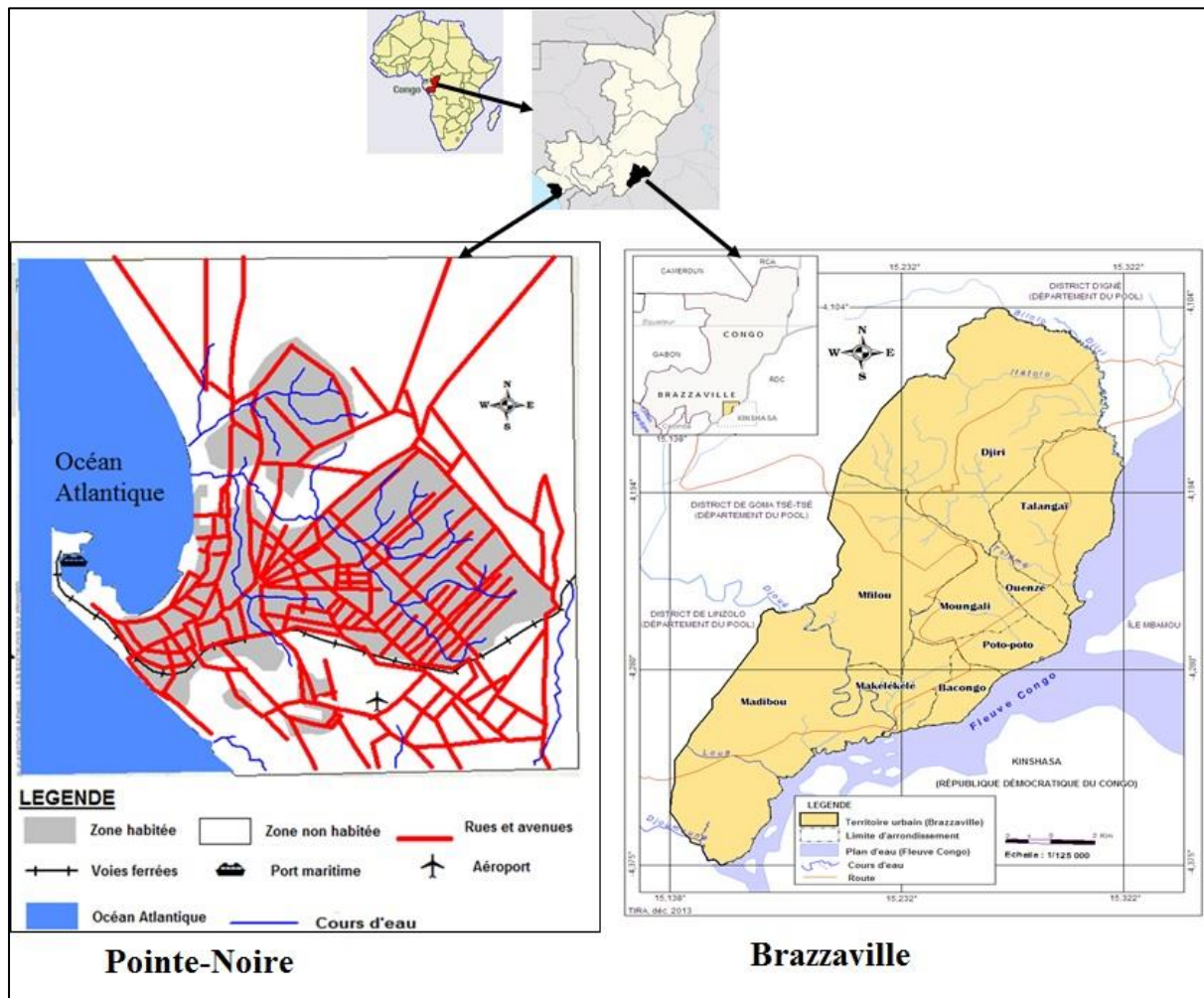


Figure 1. Zones d'étude

## 2.2. Données

Nous avons utilisé les valeurs des températures minimales et maximales au pas de temps journalier sur la période allant du 01 janvier 1950 au 31 décembre 2010 à la station de Brazzaville et de Pointe-Noire (Tableau 1). Ces données, proviennent des fichiers informatisés de la Direction de la Météorologie de la République du Congo.

Tableau 1. Informations des stations retenues

Code (OMM)	Station	Longitude	Latitude	Altitude	Période
64400	Pointe-Noire	11°54E	4°49'S	17m	1950-2010
64450	Brazzaville	15°51'E	01°54'S	377 m	1950-2010

Source : données ANAC (2006)

## 2.3. Méthodes

Les indices des extrêmes climatiques ont été calculé à partir using the du logiciel ClimPACT2 developé par Alexander and Herold (2016), disponible sur le site <https://github.com/ARCCSS-extremes/climpact2>. ClimPACT2 est basé sur l'algorithme du logiciel RCLimDex mis au point par Expert Team on Climate Change Detection and Indices, en sigle, ETCCDI et fonctionne sur l'environnement du logiciel R.

L'analyse des extrêmes climatique obéit à une démarche classique universelle dont les principales étapes sont (Chaumont, 2004 ; WMO, 2009): le contrôle de qualité, le choix des indices, le calcul des indices et l'application de tests de tendance.

### 2.2.1. Contrôle de qualité

Cette méthode est fondée sur quatre principes fondamentaux ci-après (Figures 2 et Figure 3) :

- si la valeur de température maximale est inférieure à celle la température minimale quotidienne, cette valeur est dite erronée, elle est ipso facto remplacée par le code spéciale -99.9 ;
- Il n'est pas possible d'avoir plus de 365 à 366 observations journalières par année ;
- le mois de février ne doit pas avoir plus de 28 observations, quelle que soit l'année considérée ;
- Les données manquantes ou négatives sont remplacées par -99.9 avant le contrôle de qualité par le logiciel.

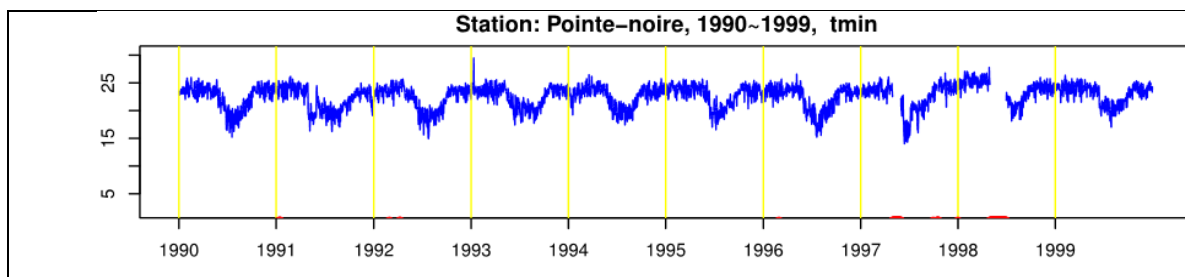


Figure 2. Exemple de contrôle de qualité des températures minimales de Pointe-Noire

Source : données ANAC

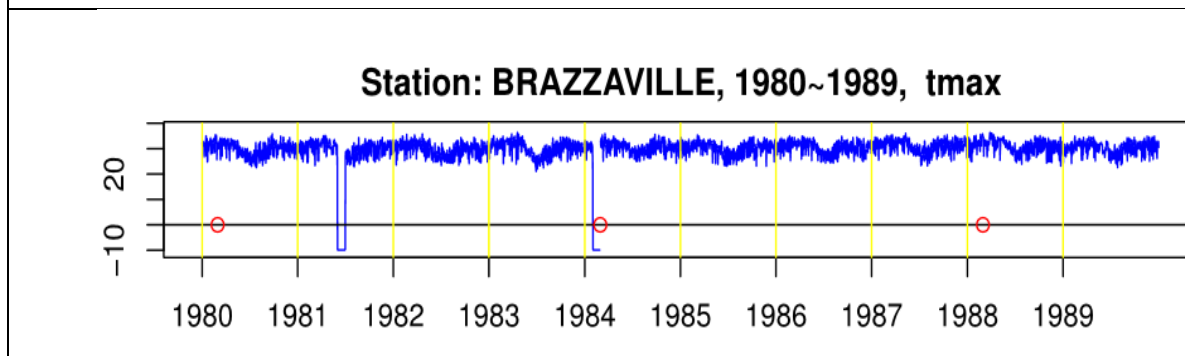


Figure 3. Exemple de contrôle de qualité des températures maximales de Brazzaville

Source : données ANAC

### 2.2.2. Choix et calcul des indices

L'analyse des extrêmes températures dans les deux grandes agglomérations de la République du Congo (Brazzaville et Pointe-Noire) a été possible grâce au calcul des indices, de 1971 - 2000 comme période de référence (baseline period).

Sur les 26 indices des températures programmés dans le progiciel ClimPACT2, 8 ont été retenus et calculés dans le cadre de cette étude. Le choix de ces indices a été fait pour apprécier les variations de températures extrêmes et leur durée. Leurs identités, noms et définitions sont présentés dans le tableau 2. Cette méthode d'analyse est communément a été utilisée avec succès dans des nombreux travaux travers le monde, des travaux portant sur l'analyse extrêmes des précipitations et des températures (Haylock et al., 2006 ; Zhang, 2011 ; Aguilar et al., 2009 ; Santos et al., 2010 ; Alexander, 2016). Elle permet des mieux analyser impacts climatiques sur le plan socio-économique (Loredana, 2008 ; UNDP, 2010; Massouangui-Kifouala, 2020).

Les huit indices retenus sont repartis en deux catégories. Il s'agit des indices fondés sur :

- les percentiles : des nuits chaudes (TN90p), les nuits relativement fraîches (TN10p), les jours chauds (TX90p) et les jours relativement frais (TX10p);

- les indices absolus représentent les valeurs maximale ou minimale de la température au cours d'une période donnée de temps (année). Ils sont aussi au nombre quatre à savoir : la température maximale la plus élevée (TXx), la température maximale la plus basse (TXn), la température minimale la plus élevée (TNx) la température minimale la plus basse (TNn).

Tableau 2. Indices des extrêmes des températures journalières

Indices	Noms	Définition	Unités
<b>TN<sub>x</sub></b>	Maximum des Tmin	Température minimale la plus forte dans l'année	°C
<b>TN<sub>n</sub></b>	Minimum des Tmax	Température maximale la plus basse dans l'année	°C
<b>TX<sub>n</sub></b>	Minimum des Tmax	Température maximale la plus basse dans l'année	°C
<b>TX<sub>x</sub></b>	Maximum des Tmax	Température maximale la plus élevée dans l'année	°C
<b>TN<sub>10p</sub></b>	Nuits relativement fraîches	Pourcentage des jours avec Tmin < 10 <sup>eme</sup> Percentile	%jours
<b>TX<sub>10p</sub></b>	Jours relativement frais	Pourcentage des jours avec Tmax < 10 <sup>eme</sup> percentile	%jours
<b>TN<sub>90p</sub></b>	Nuits relativement chaudes	Pourcentage des jours avec Tmin > 90 <sup>eme</sup> percentile	%jours
<b>TX<sub>90p</sub></b>	Jours relativement chauds	Pourcentage des jours avec Tmax > 90 <sup>eme</sup> percentile	%jours

Source : Xuebin Zhang et Feng Yang (2004)

### 2.2.3. Valeurs centrées réduite

Après calcul, les valeurs des différents indices ont été transformées en valeurs centrées réduites ou anomalies. La détermination de ces données consiste à soustraire la normale à chaque valeur observée et de diviser par la suite l'ensemble des données centrées par l'écart type de la série. La nouvelle série, centrée et réduite, ou standardisée est encore appelée par série d'anomalie. En d'autres termes, l'anomalie est l'écart d'une valeur observée par rapport à la moyenne. Elle a donc deux caractéristiques fixes : moyenne nulle et écart type à un. Cette méthode permet de soustraire la composante locale et de comparer nos résultats à ceux obtenus dans d'autres zones climatiques influencées par un climat fort différent de celui de notre zone d'étude. Cet indice traduit



un refroidissement ou un réchauffement climatique pour l'année considérée par rapport à la période de référence.

$$\Delta = \frac{(x_i - \bar{x})}{\sigma}$$

Avec  $\Delta$  = anomalie centrée réduite pour une année,  $x_i$  = valeur de la variable étudiée pour une année,  $\bar{x}$  = normale de la série considérée et  $\sigma$  l'écart-type de la série

#### 2.2.4. Evaluation des tendances

L'analyse des tendances linéaires (exprimées en % par année) a été réalisée à partir de régression linéaire. La tendance est dès lors qualifiée de significative si la probabilité p (p-value) du test t appliquée à la pente de régression est inférieure à 0,05, alors qu'elle ne l'est pas lorsqu'elle dépasse le seuil de 0,05.

### 3. RÉSULTATS

#### 3.1. Evolution des températures extrêmes à Pointe-Noire

Les valeurs centrées des indices des températures extrêmes ne présentent pas les mêmes tendances (Figure 4). Les températures minimales : la valeur de température minimale la plus basse (TNn) et de la température minimale la plus élevées (TNx) présentent une tendance à la hausse. Cette hausse est de l'ordre de 0,038°C pour les TNn et de 0,044°C pour les TNx. C'est précisément après de l'année 1980 que la hausse des TNx est devenue très importante. Cette phase est marquée par des valeurs normalisées positives, donc supérieures à la moyenne. L'année 1985 marque le début du réchauffement des valeurs minimales les plus basses.

Les températures maximales accusent une augmentation significative à 95% comme seuil de confiance. Le réchauffement est de 0,030°C par an pour les températures maximales les plus basses (TXn) de l'année contre 0,042°C pour les températures maximales les plus fortes (TXx) au cours de l'année. L'année de rupture entre la première sous-période et la deuxième est fixée en 1972 pour les TXn et en 1977 pour les TXx.

Les jours et nuits chauds: Les jours chauds et les nuits chaudes présentent une évolution en deux sous-périodes. De 1950 à 1972, les valeurs standardisées des jours relativement chauds (TX90p) sont négatives. Mais de 1973 à 2010, le nombre des jours chauds dans l'année ont évolué au-delà de la moyenne. La hausse des jours chauds est évaluée à 0,042% par an.

Les nuits chaudes (TN90p) présentent une tendance à la hausse à partir des années 1986. L'augmentation est de l'ordre de 0,045% par an.

Les Jours et les nuits frais : les jours frais (TN10p) et les nuits relativement fraîches (TX10p) sont en nette diminution dans l'agglomération de Pointe-Noire. Cette diminution qui a commencé en 1986 est de l'ordre de  $-0,041\%$  par an pour les TN10p et de  $-0,024\%$  par an pour les TX10p. Mais la période d'avant 1986 est marquée par des anomalies positives, donc par des anomalies positives.

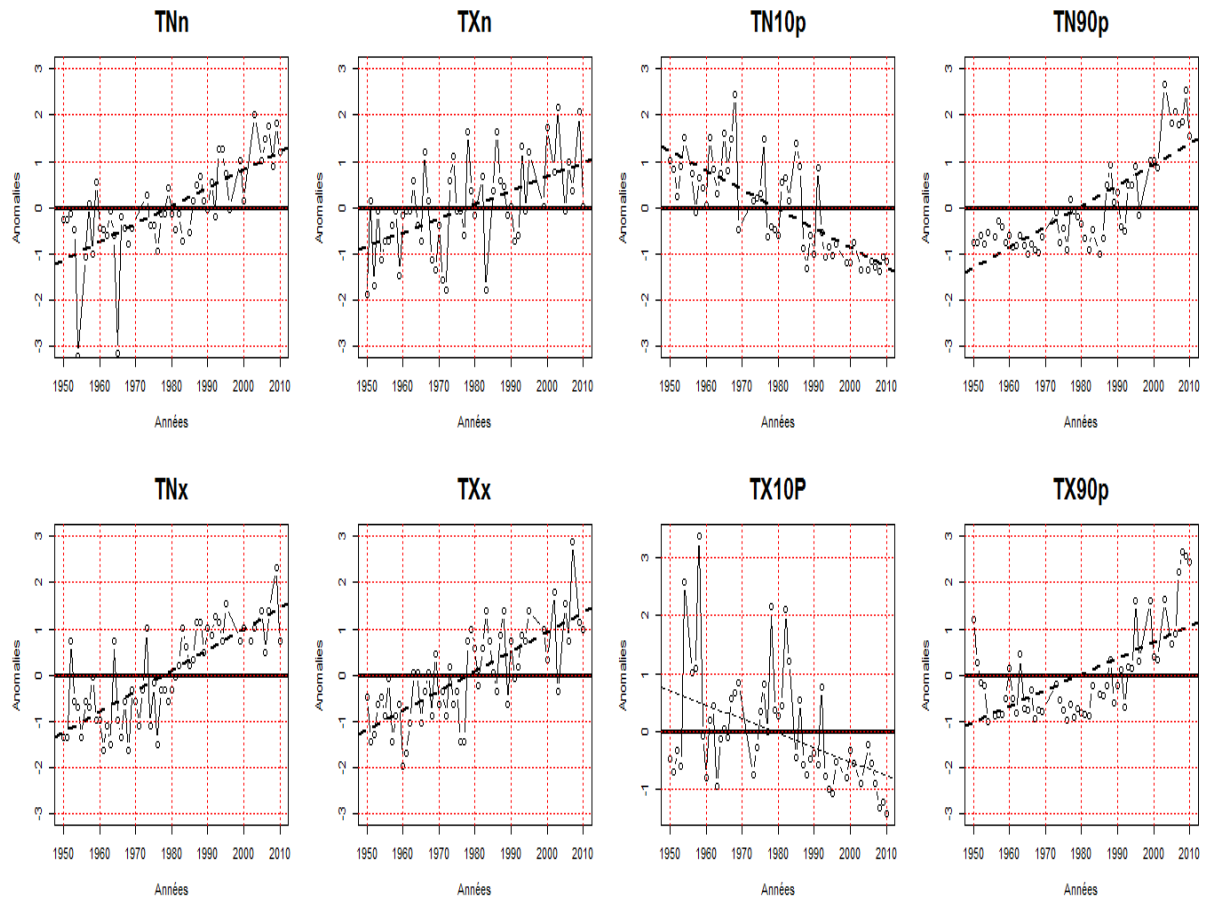


Figure 4. Les indices des températures extrêmes dans l'agglomération de Pointe-Noire (1950-2010)

Source : données ANAC

### 3.2. Evolution des températures extrêmes à Brazzaville

La température minimale la plus basse (TNn) et la température minimale la plus forte de l'année ont enregistré une hausse très significative à 95% comme seuil de confiance. Cette augmentation est évaluée à  $0,041^{\circ}\text{C}/\text{an}$  et à  $0,047^{\circ}\text{C}$  pour les TNx. C'est à partir de 1980 que le réchauffement est devenu très important avec des valeurs supérieures à la normale ;

Les valeurs des températures maximales les plus élevées (TXn) et des températures maximales les plus basses (TXx) enregistrées au cours d'une année sont en nette augmentation, la hausse est de  $0,030^{\circ}\text{C}$  pour les TXn contre  $0,042^{\circ}\text{C}$  pour les TXx. Il est

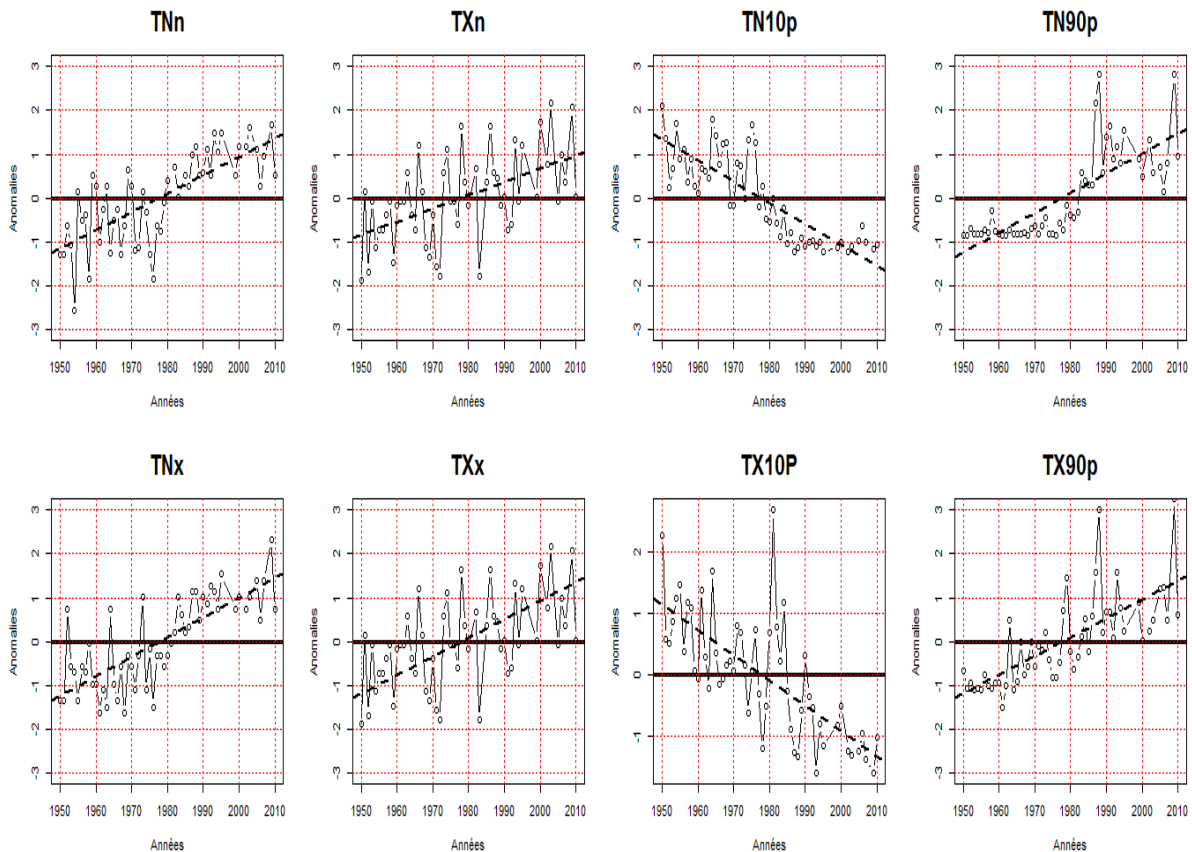
important de souligner que la hausse des températures maximales a débuté à partir de 1972 pour les TXn et 1977 pour les TXx, donc plus tôt que les températures minimales.

Les jours chauds (TX90p) et les nuits chaudes (TN90p) présente une tendance à la hausse très significative à 95% comme seuil de confiance.

En effet, les nuits chaudes ont augmenté de 0,045%/année et les jours chauds de 0,042%. Ce phénomène a commencé à se faire plus ressentir à partir de 1978.

Contrairement températures maximales et minimales tout comme les jours et les nuits chauds, les jours frais (TX10p) et les nuits fraîches (TN10p) sont en nette diminution. Cette baisse est évaluée à -0,047% par an pour les TN10p et à 0,041% pour les TX10p. Les nuits relativement fraîches ont commencé à décroître du début de l'année 1978. Quant aux jours relativement frais, le début est fixé en 1984, année au cours de laquelle les valeurs standardisées sont au-delà de la normale (Figure 5).

Figure 5. Les indices des températures extrêmes dans l'agglomération de Brazzaville (1950-2010)



Source : données ANAC

#### **4. DISCUSSION**

Brazzaville et Pointe-Noire présentent des aspects géographiques et économiques fort différents, l'une de l'autre. Néanmoins, ces deux grandes agglomérations exercent une influence considérable sur le reste du pays. Cette influence est perceptible à travers l'augmentation rapide de la population et du tissu urbain. La croissance rapide provoque la dégradation du milieu et peut avoir certainement des effets pervers sur l'évolution du climat en général, et des températures en particulier.

Les principaux résultats obtenus montrent un réchauffement du microclimat urbain des agglomérations de Brazzaville et de Pointe-Noire. L'augmentation des températures minimales (TNn et TNx) et maximales (TXn et TXx) quotidiennes a engendré une hausse significative des jours chauds (TN90p) et des nuits relativement chaudes (TX90p). A contrario, les jours chauds (TN10p) et les nuits relativement fraîches (TX10p) sont en nette décroissance.

Ces résultats confirment les conclusions des travaux antérieures (Ministère du développement durable, de l'économie forestière et de l'environnement, 2009 ; Massouangui-Kifouala, 2014) qui mettent en évidence la hausse des températures minimales et maximales sur l'ensemble du pays. Selon l'auteur, le test statistique de Pettitt et la statistique U de Buishand appliqués aux différentes séries montrent que la rupture n'est pas intervenue à la même année. Pour les températures maximales, le réchauffement a commencé à partir de 1970. Alors qu'il fallait attendre l'année 1986 pour que les températures maximales se réchauffent aussi au Congo.

La revue de la lecture a permis de constater que le phénomène de réchauffement climatique n'est pas une exclusivité des agglomérations de Brazzaville et de Pointe-Noire. Il est aussi observé à travers le monde.

A Kono (Nigeria), les jours chauds (TX10p), les jours froids (TN10p), les nuits chaudes (TN90p) et les jours chauds (TX90p) sont en nette évolution respectivement de : 0,22%, 23°C, 0,32%, 0,39% (Ghode, 2015).

Dans la partie méridionale de l'Ethiopie, les TX90p (0,326-0,565%), TN90p (0,224-0,61 %), les TNx (0,037°C-0,063), les TNn (0,075°C à 0,084) et les TXn (0,01-0,024 %) sont à la hausse. Par contre les TN10p (-0,264 à -0,65%) et les TX10p (-0,234 à -0,089%) enregistrent une baisse (Esayas et al., 2018).

La Zambie a enregistré une augmentation des jours chauds (TX90p) et les nuits chaudes (TN90p). Il en est de même pour les TX10p, TX90p, TN90p. Par contre les TX10p (jours frais) sont en décroissance (Bwalya Chisanga et al., 2017).

Dans les îles du Pacifique la température minimale la plus élevée (TNx) et la température maximale la plus forte (TXx) ont augmenté de 0,158C par décennies. Il en est de même pour les TNn et les TXn qui ont augmenté de 0,128 à 0,098C tous les dix ans. Cette situation a engendré une augmentation dans l'année le nombre des nuits

chaudes (TN90p) et des jours chauds TX90p d'une part, et la décroissance des nuits froides (TN10p) et des jours froids (TX10p) sur la période allant de 1971 à 2000 (MC GREE et al., 2019).

En Italie, les températures maximales varient entre +0,037 et 0,009°C/an à Varallo et -0,015 et -0,005°C/an à Alpe Cavalli, alors que les températures minimales ont des valeurs entre +0,037 +0,005°C/an à Malciaussia et -0,026 et -0,006°C/an à Alessandria. L'évolution des températures est aussi confirmée par le comportement des indices climatiques calculés pour chaque variable. Les séries des températures maximales et minimales extrêmes déterminent des tendances croissantes (Fратиanni et Acquotta, 2010).

Dans l'île de Prince Edward (Canada), il a été enregistré une baisse des nuits froides (TN10p) de l'ordre de -11,40 % et des jours froids (TX10p) de -5,67%. Par contre, les nuits chaudes (TN90p), la température maximale la plus basse d'un jour (TXn), la température minimale la plus forte d'un jour (TNx) et la température minimale d'un jour (TNn) ont augmenté respectivement de : 3.98 °C, 1.36°C, 1.07°C et de 1.44°C (Junaid Maqsood, 2020).

En France, tous les indices de température sur la période 1951-2000 traduisent un réchauffement marqué et des traces d'augmentation de variabilité sont repérées pour les températures maximales (Moisselin et Dubuisson, 2006).

#### **4. CONCLUSIONS**

L'analyse de l'évolution des températures minimales et maximales des agglomérations de Pointe-Noire et Brazzaville avait pour objectif de comprendre le changement et la variabilité du microclimat urbain à partir des indices des températures minimales et maximales.

Après contrôle de qualité, huit indices ont été retenus et calculés dans le cadre de cette étude à partir du progiciel ClimPACT2. La méthode de la régression linéaire nous a permis de détecter deux grandes tendances : une tendance à la hausse et une tendance à la baisse.

La tendance à la hausse est accusée par la valeur de température minimale la plus basse (TNn), de température minimale la plus élevées (TNx), de température maximale la plus basse (TXn) de l'année et de la température maximale la plus forte (TXx) de l'année. Les jours chauds (TX90p) et les nuits chaudes (TN90p) sont aussi en nette augmentation.

La tendance à la baisse est observée au niveau des indices nuits relativement fraîches (TN10p) et jours relativement frais (TX10p) ont enregistré une nette décroissance.

L'augmentation des températures minimales (TNn et TNx) et maximales (TXn et TXx) quotidiennes a engendré une hausse significative des jours chauds (TN90p) et des nuits relativement chaudes (TX90p).

Il sied de notifier que le réchauffement climatique est plus accusé à Brazzaville qu'à Pointe-Noire. Etant située au bord de l'Océan Atlantique, l'agglomération de Pointe-Noire bénéficie de l'influence des brises de mer qui atténuent le réchauffement des températures contrairement à Brazzaville qui est éloignée de l'Océan Atlantique.

Cette situation de hausse de chaleur aussi bien la nuit que le jour peut engendrer la sensation d'inconfort thermique, des vagues de chaleur et des îlots de chaleur urbain (ICU) dans ces deux agglomérations. Il serait donc important de mener une étude sur la perception et stratégies d'adaptation locale face au réchauffement climatique.

## 5. RÉFÉRENCES

- AGUILAR, E., BARRY, A., BRUNET, M., EKANG, L., FERNANDES, A., MASSOUKINA, A., MBAH, J., MHANDA, A., NASCIMENTO, D., PETERSON, C., THAMBA UMBA, O., TOMOU, M. AND ZHANG, X. 2009. Changes in temperature and precipitation extremes in western central Africa, Guinea Conakry, and Zimbabwe, 1955–2006; *Journal of Geophysical Research* 114.
- ALESSIO, S., TARICCO, C., RUBINETTI S., VIVALDO, G., MANCUSO, S. 2014. Temperature and precipitation in Northeast China during the last 150 years: relationship to large-scale climatic variability, *Annales Geophysical*, vol. n°7, pp. 749-760.
- ALEXANDER, L., HEROLD, N. 2016. ClimPACT2. Indices and software. A document prepared on behalf of The Commission for Climatology (CCI) Expert Team on Climate Risk and Sector-Specific Climate Indices (ET CRSCI), World Climate Programme, 52 p.
- ALEXANDER, L.V. 2016. Global observed long-term changes in temperature and precipitation extremes: A review of progress and limitations in IPCC assessments and beyond. *Weather Clim. Extrem.* 11:4–16.
- ALMAZROUI, M., ISLAM, M.N., DA MBUL, R., JONES, P., D. 2014. Trends of temperature extremes in Saudi Arabia, *Int. J. Climatol.* 34: 808-826
- ATHAR, H. 2013. Trends in observed extreme climate indices in Saudi Arabia during 1979-2008, Vol 34, Issue 5.
- BWALYA CHISANGA, CH., PHIRI, E., CHINENE VERNON, R.N. 2017. Trends of Extreme Events in Precipitation and Temperature during the 1963 - 2012 Period at Mt Makulu, Zambia, *Journal of Scientific Research & Reports* 15(4): 1-19.

- CHAUMONT, D. 2004. Variabilité et extrêmes climatiques au Canada. *Revue de la littérature* 101, 14 p.
- CHRISTENSEN, J., CARTERAND, T., GIORGI, F. 2002. PRUDENCE employs new methods to assess European climate change. *EOS*, 83:147.
- CNSEE. 2007. LE RGPH-2007 en quelques chiffres, Ministère de l'Economie, du Plan, de l'Aménagement du Territoire et de l'Intégration, 22 p.
- DAHECH, S., GHRIBI, M. 2017. Réchauffement climatique en ville et ses répercussions énergétiques. *Méditerranée*, 128 : 29-38.
- DAHECH, S. 2014. Impact de la brise de mer sur le confort thermique au Maghreb oriental durant la saison chaude. *Cybergeo, European Journal of Geography Environnement, Nature, Paysage*, 30 p.
- DUBREUIL, V., QUENOL, H., PLANCHON, O., CLERGEAU, P. 2008. Variabilité quotidienne et saisonnière de l'îlot de chaleur urbain à Rennes : premiers résultats du programme ECORURB. XXI<sup>ème</sup> colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Montpellier, France, 221-227.
- ESAYAS, B., SIMANE, B., TEFERI, E., ONGOMA, V. AND TEFERA, N. 2018. Trends in Extreme Climate Events over Three Agroecological Zones of Southern Ethiopia, *Advances in Meteorology*, Volume 2018, 17 p,
- FOLLAND, C., STONE, D.A., FREDERIKSEN, C., KAROLY, D.J., KINTER, J. 2014. The International CLIVAR Climate of the 20th Century Plus (C20C p ) Project : Report of the Sixth Workshop. *Clivar Exchanges*, 19 (65) : 57-59.
- FRATIANNI, S., ACQUAOTTA, F. 2010. Les tendances et les indices de changement climatique des séries historiques dans le nord-ouest de l'Italie, 23<sup>ième</sup> Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Rennes 2010, pp. 233- 238.
- GHODE, I. E., AKINSANOLA, A. A., OLANREWAJU AJAYI, V. 2015. Recent change of some observed climate extremes events in Kano, *International journal of atmospheric sciences*, Volume 2015.
- HAYLOCK, M.R., PETERSON, T., ABREU DE SOUSA, J.R., ALVES, L. M., AMBRIZZI, T., ANUNCIAÇÃO, Y. M. T., BAEZ, J., BARBOSA DE BRITO, J. I., BARROS, V. R., PERLATO, M. A., BIDGAIN, M., COLONEL, G., CORRADI, V., GARCIA, V.J., GRIMM, A. M., JAILDO DOS ANJOS, R., KAROLY, D., MARENGO, J.A., MARINO, M. B., MEIRA, P.R., MIRANDA, J. C., MOLION, L., MONCUNILL, D.F., NECHET, D., ONTANEDA, G., QUINTANA, J., RAMIREZ, E., REBELLO, E., RUSTICUCCI, M., SANTOS, J. L., TREBEJO, I., VINCENT, L. 2006. Trends in total and extreme South American rainfall in 1960-2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate* 19: 1490-1512.

- KARL, T., EASTERLING, D.R. 1999. Climate extremes: selected review and future research directions. *Climatic Change* 42: 309-325.
- KRUGER, A. C., SEKELE, S. S. 2013. Trends in extreme temperature indices in South Africa: 1962–2009. *International Journal of Climatology* 33 (3): 661-676.
- LEMONSU, A., KOUNKOU-ARNAUD, R., DESPLAT, J., SALAGNAC, J.-L., MASSON, V. 2013. Evolution of the Parisian Urban Climate under a Global Changing Climate. *Climatic Change* 116: 3-4.
- LEWIS, S.C., KING, A. D., PERKINS-KIRKPATRICK, S. E., MITCHELL, D. M. 2019. Regional hotspots of temperature extremes under 1.5°C and 2°C of global mean warming. *Weather and climates extremes* 26.
- MAKIDO, Y., SHANDAS, V., FERWATI, S., DAVID, S. 2016. Daytime Variation of Urban Heat Islands: The Case Study of Doha, Qatar. *Climate*, 4: 2-14.
- MAQSOOD, J., FAROOQUE, A. A., WANG, X., ABBAS, F., ACHARYA, B., AFZAA, H. 2020. Contribution of Climate Extremes to Variation in Potato Tuber Yield in Prince Edward Island, *Sustainability* 12.
- MARENGO, J., MCINNES, K., RAHIMI, M., REICHSTEIN, M., SORTEBERG, A., VERA, C., ZHANG, X. 2012. Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. Managing the Risk of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the IPCC, Annex managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: 109-23.
- MASSOUANGUI-KIFOUALA, M. 2014. Procédures de détection de « ruptures » dans des séries chronologiques-réchauffement climatique en République du Congo, *Annales de la Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines, Université d'Abomey-Calavi (Bénin)* 2 (20) : 191-202.
- MASSOUANGUI-KIFOUALA, M. 2020. Variabilité pluviométrique et deuxième cycle cultural dans la Vallée du Niari, *Revue Tunisienne de Géographie* 52-53 : 155-165.
- MINISTERE DU DEVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ECONOMIE FORESTIERE ET DE L'ENVIRONNEMENT. 2009. Seconde Communication Nationale de la République du Congo à la Convention-cadre des Nations-Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), 190 p.
- MINISTERE DE LA CONSTRUCTION, DE L'URBANISME, DE LA VILLE ET DU CADRE DE VIE. 2016. Schéma Directeur d'Urbanisme de la ville de Pointe-Noire, 88 p.
- MINISTERE DE LA CONSTRUCTION, DE L'URBANISME, DE LA VILLE ET DU CADRE DE VIE. 2016. Schéma Directeur d'Urbanisme de la ville de Brazzaville, 86 p.
- MCGREE, S., HEROLD N., ALEXANDER, L., SCHREIDER, S., YKULESHOV, Y., ETIENE, E., FINAULAH, S., INAPE, K., MACKENZIE, B., MALALA, H., ANGARI, A., PRAKASH



- , B., TAHANI, L. 2019. Recent Changes in Mean and Extreme Temperature and Precipitation in the Western Pacific Islands, *Journal of Climate* 32: 4919-4941.
- MOISSELIN, J-M., DUBUISSON, B. 2006. Évolution des valeurs extrêmes de température et de précipitations au cours du XXe siècle en France. *La Météorologie* 54 : 33-42.
- OFFICE FOR CLIMATE EDUCATION. 2019. Rapport Spécial du GIEC Réchauffement à 1,5°C, Résumé à destination des enseignants, 24 p.
- ONU, 2018. World Urbanization Prospect. Dossier de presse.
- POLATINO, L. 2008. Extreme temperature events in the Mediterranean, thèse de doctorat, Université de Bern, 80 p.
- SAHANI, M., MOEYERSONS, J., VANDECASTEELE, I., TREFOIS P., OZER P. 2012. Evolution des caractéristiques pluviométriques dans la zone urbaine de Butembo (RDC) de 1957 À 2010. *Geo-Eco-Trop.* 36: 121-136.
- SANTOS, C.A.C.D., NEALE, C.M.U., RAO, T.V.R., SILVA, B.B.D. 2010. Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation over Utah, USA. *International Journal of Climatology* 31: 1813-1822.
- SENEVIRATNE, S.I., NICHOLLS, N., EASTERLING, D., GOODESS, C.M., KANAE, S., KOSSIN, J., LUO, Y., MARENGO, J., MCINNES, K., RAHIMI, M., REICHSTEIN, M., SORTEBERG, A., VERA, C., ZHANG, X. 2012. Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 109-230.
- SOPHIE, C.L., ANDREW, D.K., SARAH, E.P-K., DANIEL, M.M. 2019. Regional hotspots of temperature extremes under 1.5°C and 2°C of global mean warming. *Weather and Climate Extremes*, 11 p.
- UNDP. 2010. Adaptation to the effects of drought and climate change in Agro-ecological Regions I and II in Zambia, 156 p.
- WMO. 2009. Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation; Climate Data and Monitoring; WCDMP 72.
- WONGA, N., JUSUF, S.K., TAN, CH.L. 2011. Integrated urban microclimate assessment method as a sustainable urban development and urban design tool. *Journal Landscape and Urban Planning* 100: 386-389.
- ZHANG, X., YANG, F. 2004. RclimDex 1.0, User Manual. Climate Research Branch Environment, Downsview. Ontario, Canada, 23 p.