

# EVOLUTION DES NORMALES DES PLUIES EXTREMES EN AFRIQUE DE L'OUEST : CAS DU DISTRICT D'ABIDJAN (SUD DE LA COTE D'IVOIRE)

A. M. KOUASSI<sup>1</sup>, R. A.-K. NASSA<sup>2</sup>, K. E. AHOUSI<sup>3</sup>, K. F. KOUAME<sup>3-4-5</sup>, J. BIEMI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB) ; Département des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STeRMi) ; Laboratoire du Génie Civil, des Géosciences et des Sciences Géographiques ; BP 1093 Yamoussoukro, Tel : (+225) 30 64 67 15 (Côte d'Ivoire).

<sup>2</sup>Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB) de Yamoussoukro ; Ecole Doctorale Polytechnique (EDP) ; Bp 1093 Yamoussoukro, Tel : (+225) 30 64 04 06 (Côte d'Ivoire).

<sup>3</sup>Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan-Cocody, Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR-STRM) ; Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LSTEE) ; 22 BP 582 Abidjan 22 ; Tel : (+225) 22 48 38 03 (Côte d'Ivoire).

<sup>4</sup>Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan-Cocody, Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT) ; 22 BP 801 Abidjan 22 ; Tel : (+225) 22 44 52 70 ; Côte d'Ivoire.

<sup>5</sup>Université Virtuelle de Côte d'Ivoire (UVCI), 28 BP 536 Abidjan 28 ; Tel : (+225) 42 22 22 00 ; Côte d'Ivoire.

\*Auteur Correspondant : KOUASSI Amani Michel : E-mail : michel.a\_kouassi@yahoo.fr

## RESUME

L'objectif de ce travail est d'étudier l'évolution des normales des pluies journalières maximales annuelles dans le District d'Abidjan (Sud de la Côte d'Ivoire) dans un contexte du changement climatique. La méthodologie a consisté d'une part au calcul des normales des pluies maximales journalières annuelles sur des périodes de trente ans glissantes allant de 1931 à 2020, et d'autre part, à la comparaison des normales calculées à travers les matrices des écarts relatifs absolus et binaires. Les normales évaluées varient de 118 mm (1991-2020) à 153 mm (1951-1980), avec une moyenne de 139 mm. La moyenne de la série entière (136 mm) est comprise entre les deux normales extrêmes et est inférieure à la moyenne des normales. Les coefficients de variation des différentes normales oscillent entre 28,7 et 39,8 % et mettent en évidence une hétérogénéité des séries afférentes aux normales ainsi que la série entière. Les différentes valeurs des normales ont été jugées non homogènes et non-stationnaires eu égard aux impacts des changements climatiques qui ont affecté les pluies journalières maximales annuelles de la station de Port-Bouët (Abidjan). Ainsi, la matrice binaire des normales des pluies journalières maximales annuelles reste donc un outil d'aide pour les concepteurs et Ingénieurs quant au choix d'une normale.

**Mots clés :** Changement climatique, Pluies extrêmes, Normales pluviométriques, District d'Abidjan, Côte d'Ivoire.

## ABSTRACT

### EVOLUTION OF EXTREME RAINFALL NORMALS IN WEST AFRICA: CASE OF ABIDJAN DISTRICT (SOUTH OF IVORY COAST)

*The objective of this work is to study the evolution of daily maximum annual rainfall normals in the District of Abidjan (southern Ivory Coast) in the context of climate change. The methodology consisted on the one hand in the calculation of normal daily maximum rainfall rates over thirty years sliding from 1931 to 2020, and on the other hand, to the comparison of normality calculated through absolute and binary differences. Normal estimates ranged from 118 mm (1991-2020) to 153 mm (1951-1980) with an average of 139 mm. The entire series (136 mm) is between the two normal extremes and is below the average of normal. The coefficient of variation of the different normal ranges ranged from 28.7 to 39.8% and showed a heterogeneity of the normal series and the whole series. The different values of normals were considered non-homogeneous and non-stationary in view of the impacts of climate*

change which affected the maximum daily rainfall of the station of Port-Bouët (Abidjan). Thus, the binary matrix of daily maximum annual rainfall normals thus remains a tool of help for designers and engineers in choosing a normal.

**Key words:** Climate change, Extreme rain, Normal rainfall, Abidjan District, Ivory Coast.

## INTRODUCTION

Une définition simple de la norme est « la moyenne des valeurs observées ». Morel (1986) distingue la norme hydrologique qui est la moyenne d'une série la plus longue possible pour pouvoir valider les occurrences cinquantennales ou centennales, de la norme météorologique qui désigne une moyenne sur 30 ans (Ferry *et al.*, 1998 ; Ouédraogo 2001). Cette dernière permet le calcul des normales pluviométriques qui sont des moyennes glissantes de 30 ans se succédant les unes aux autres tous les 10 ans. Ces moyennes historiques sur 30 ans sont appelées « normales climatologiques » et peuvent être établies à l'échelle locale, nationale ou mondiale. Les expressions « moyennes climatiques » ou « normales climatiques ou climatologiques » sont donc interchangeableables. Elles désignent le résultat de calculs arithmétiques fondés sur les valeurs de paramètres climatiques observées à un endroit donné au cours d'une période spécifique. Les normales climatologiques servent souvent à catégoriser le climat d'une région et à prendre des décisions à diverses fins, que ce soit pour l'habitabilité, l'agriculture et végétation, l'utilisation de l'énergie, les transports, le tourisme et la recherche dans de nombreux domaines environnementaux. Les normales sont aussi utilisées comme référence dans la surveillance saisonnière du climat, dont la température et les précipitations, aux fins des intérêts publics de base et dans la surveillance des sécheresses, des risques d'incendie de forêt, des inondations, etc.

Dans un monde où le climat évolue rapidement, nous devons procéder plus souvent que par le passé à l'actualisation des normales climatologiques, afin que celles-ci gardent toute leur utilité. Ainsi, en raison de la sécheresse persistante des 40 dernières années en Afrique de l'Ouest, les normales hydrologiques, calculées sur les périodes de 30 ans, devraient être largement en deçà de celles de la période de référence de l'OMM (1961-1990) habituel-

lement utilisées. Paturol *et al.* (2003) ont montré qu'il en va de même si les moyennes sont déterminées en réunissant les données anciennes et celles de la période récente. Todorov (1985) suggère l'établissement de nouvelles normales pluviométriques incluant toutes les années récentes, mais précise que la longueur de la période sur laquelle les normales seraient calculées devra dépendre de l'utilisation envisagée. Hubert *et al.* (1989) recommandent que les normes hydrologiques soient désormais établies sur la base des données récentes, éventuellement « grossies » de certaines phases similaires antérieures. Farmer (1986) affirme quant à lui qu'il y a un danger à utiliser les moyennes pluviométriques anciennes qui ne prennent pas en compte les fluctuations récentes, avec le risque de ne jamais atteindre les prévisions. Morel (1986) de son côté suggère deux séries de normes dont une pour chaque contexte, soit une norme de période sèche et une autre pour la période humide. A l'opposé, le fait de prendre en compte, ou non, les données des années récentes pour estimer les caractéristiques hydrologiques peut conduire à des résultats très différents et à de sérieuses conséquences sur la conception et le fonctionnement des ouvrages équipant les bassins versants (Paturol *et al.*, 2003).

En nous référant à la conclusion de Paturol *et al.* (2003) qui estiment que le problème de la révision des normes en hydro-pluviométrie revêt une très grande importance sur un plan pratique, il est difficile de proposer une solution unique et définitive. Il se pose alors la question de la période de référence qu'il convient de retenir pour la définition des caractéristiques hydrologiques utilisées pour la réalisation des différents aménagements hydrauliques. Pour évaluer les risques associés à la gestion des nouveaux projets, doit-on utiliser les anciennes normes ou en élaborer de nouvelles et sur quelles bases ? Ainsi l'objectif de ce travail est d'étudier l'évolution des normales des pluies journalières maximales annuelles dans le District d'Abidjan (Sud de la Côte d'Ivoire) dans un contexte de changement climatique.

## MATERIEL ET METHODES

### PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

La Côte d'Ivoire fait partie des pays du Golfe de Guinée. Elle s'étend sur une superficie de 322 462 Km<sup>2</sup>, environ 1 % du continent africain. La zone d'étude est le District d'Abidjan qui est situé au Sud de la Côte d'Ivoire entre les

latitudes 5°10 et 5°30 Nord et les longitudes 3°45 et 4°21 Ouest. Elle est composée de dix (10) communes auxquelles s'ajoutent trois (3) sous-préfectures que sont Bingerville, Songon et Anyama (figure 1). Le District s'étend sur une superficie totale de 2 119 km<sup>2</sup> dont 566 km<sup>2</sup> de lagune et regroupe une population estimée à environ 4 707 404 selon le Recensement Général de la Population et de l'Habitat de 2014 (RGPH, 2014).

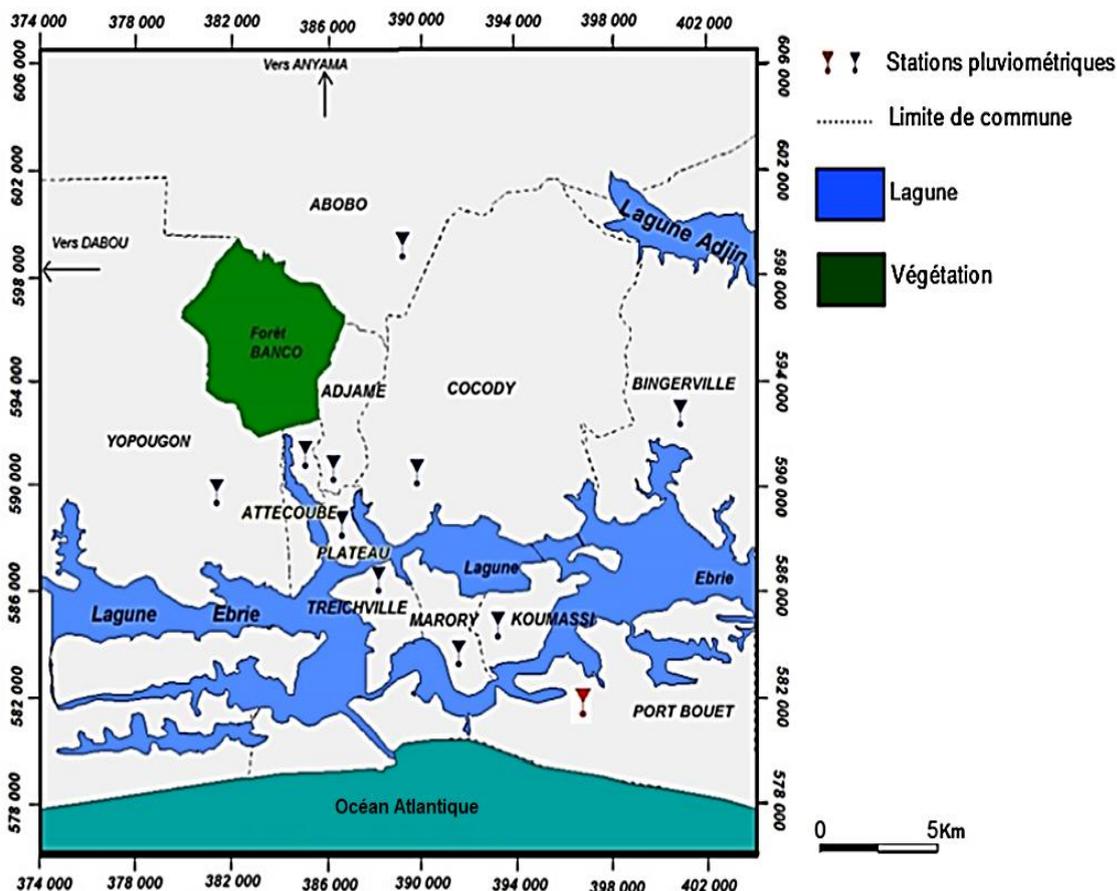


Figure 1. Localisation de la zone d'étude (Konaté *et al.*, 2016).

Location of the study area (Konaté *et al.*, 2016).

Concernant la pluviométrie, la moyenne mensuelle des pluies varie de 23 mm en janvier à 525 mm en juin. La pluviométrie dans le District d'Abidjan est très importante. Elle participerait à l'effet d'inondation par débordement de réseau d'assainissement et au transport de polluants liquides et solides, affectant ainsi les conditions de vie et d'assainissement des populations (Dongo *et al.*, 2008). Le District d'Abidjan est caractérisé par un climat équatorial avec quatre saisons dont deux saisons pluvieuses et deux

saisons sèches. Au cours de la grande saison pluvieuse, il est enregistré plus de deux tiers de la pluviométrie annuelle (1922 mm). Ensuite, s'en suit une petite saison sèche (août-septembre). Un second pic des hauteurs de pluie est atteint pendant la petite saison pluvieuse (octobre-novembre). La dernière saison est la grande saison sèche qui va de décembre à mars. Les températures moyennes mensuelles dans le District d'Abidjan varient de 24,2 en août à 27,4 °C en mars (Kablan, 2016). La durée moyenne

mensuelle de l'insolation est comprise entre 110 et 219 h/j (Kablan, 2016). L'humidité relative moyenne mensuelle varie entre 78 et 87 % (Kablan, 2016).

## MATERIEL

Les données climatiques utilisées pendant cette étude, ont été fournies par la Société D'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM) à travers la Direction de la Météorologie Nationale (DMN). Il s'agit des données de pluviométrie journalière de la station synoptique d'Abidjan-Port-Bouët. Ces données collectées couvrent la période 1931-2020. Les données de la période 2018-2020 (3 ans) ont été simulées à partir de chaînes markoviennes d'ordre 1 (Konaté, 2018). Les hauteurs de pluies journalières maximales annuelles de la période 1931-2020 enregistrées à Abidjan plus précisément à la station de Port-Bouët varient entre 30 et 330 mm avec une moyenne de 136,4 mm et un écart-type de 45,9 mm. Le traitement des données a nécessité l'utilisation du logiciel Excel 2016 pour la réalisation des calculs et des graphes.

### CALCUL DES NORMALES DES PLUIES EXTREMES

Il y a de nombreuses façons de calculer les « normales climatologiques », dont les plus utiles respectent les normes établies par l'OMM qui considère qu'une période de trente ans est assez longue pour éliminer les variations interannuelles (OMM, 1998 ; Ouédraogo, 2001 ; OMM, 2003, Sighomnou, 2004 ; Kouassi *et al.*, 2010 ; OMM, 2011, 2007, 2017). Ainsi, on admet généralement qu'une moyenne statistique est d'autant plus proche de la réalité que la série à partir de laquelle elle a été déterminée est longue, mais on reconnaît par ailleurs qu'une chronique de 30 années d'observations est suffisante pour conduire à une moyenne convenable. En effet, l'Organisation météorologique mondiale (OMM) recommande que les pays préparent des normales hydrologiques voire climatologiques sur des périodes officielles de 30 ans se terminant en 1930, 1960 et 1990, pour lesquelles les normales climatologiques mondiales sont publiées. Elle a adopté une nouvelle approche à deux niveaux des périodes de référence de 30 ans pour les données climatologiques, afin de tenir compte de l'accélération du rythme du changement

climatique ainsi que du besoin de disposer, à des fins opérationnelles, d'informations climatologiques actualisées. Actuellement, les normales climatologiques sont mises à jour tous les 30 ans. La période officielle de référence pour ces normales est donc toujours la période allant de 1961 à 1990. Les moyennes calculées sur cette base sont appelées normales climatologiques standard de l'OMM. Cependant, avec l'augmentation des concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre, le climat de la planète terre varie beaucoup qu'auparavant. Il se peut par conséquent que les décideurs de secteurs sensibles aux conditions climatiques, comme la gestion des ressources en eau, l'énergie, l'agriculture ou la viticulture, se fondent sur des informations obsolètes pour prendre des décisions importantes. Le Congrès Météorologique Mondial (CMM), la plus haute instance de l'OMM en matière normative, a approuvé une résolution selon laquelle l'OMM actualise les normales climatologiques standard à des fins opérationnelles tous les 10 ans et utilise la période 1981-2010 comme période de référence actuellement en vigueur. Cette période est actualisée tous les 10 ans, de sorte que, dans les années 2020, on devra utiliser la période de référence de 30 ans allant de 1991 à 2020. Mais l'on conservera cependant la période de référence 1961-1990 comme période de référence historique, afin de faciliter les évaluations du changement climatique à long terme et permettre au public et aux scientifiques de se faire une idée plus exacte du rythme du changement climatique, jusqu'à ce qu'il y ait une raison scientifiquement impérieuse de la modifier. Ainsi, l'adoption d'une approche à deux niveaux pour les périodes de référence contribuera à harmoniser et normaliser les différentes méthodes employées au niveau national et facilitera les comparaisons internationales. La période climatologique standard de l'OMM pour le calcul des normales correspond à des données consécutives sur 30 ans, débutant le 1<sup>er</sup> janvier et se terminant le 31 décembre de chaque année.

Les chroniques de données disponibles en pluviométrie sur la station d'étude couvrent la période 1931-2020. Deux options ont été envisagées :

- i) les normales calculées régulièrement sur la base des 30 ans ;
- ii) la moyenne calculée sur toute la chronique disponible (1931-2020).

Ainsi, les normales des pluies journalières maximales annuelles de la station de Port-Bouët ont été calculées sur les périodes glissantes de trente ans (30 ans) allant de 1931 à 2020. Les moyennes, les écart-types ainsi que les coefficients de variation des normales ont été évalués. En effet, le coefficient de variation (CV) est le rapport de l'écart-type à la moyenne. Les différents seuils d'appréciation de ce coefficient sont :

- si  $CV < 2 \%$ , la série est considérée comme très homogène ;
- si  $2 \% < CV < 25 \%$ , la série est considérée comme homogène ;
- si  $CV > 25 \%$ , la série est considérée comme hétérogène.

Pour mieux apprécier l'évolution des normales des pluies journalières maximales annuelles déterminées, un histogramme a été construit.

#### COMPARAISON DES NORMALES DES PLUIES EXTREMES

L'analyse comparative a été basée sur le principe selon lequel le concept de normes hydrologiques fait référence à une stabilité du climat (Paturel *et al.*, 2003). Ainsi, les écarts relatifs absolus entre les normales des pluies journalières maximales annuelles en considérant à chaque fois, une normale comme valeur de référence ont été évalués. Les écarts relatifs absolus représentent la valeur absolue de la différence entre la normale (ou moyenne) considérée et la normale (ou moyenne) de référence rapportée à la normale (ou moyenne) de référence et sont exprimés en pourcentage (équation 1) (Kouassi *et al.*, 2019) :

$$\Delta N_{i / réf} = 100 \times \left| \frac{N_i - N_{réf}}{N_{réf}} \right| \quad (1)$$

Avec :

- $\Delta N_{i / réf}$  : écart relatif absolu ;
- $N_i$  : normale (ou moyenne) de la période  $i$  ;
- $N_{réf}$  : normale (ou moyenne) de référence ;
- $i$  : période (année).

Un seuil d'acceptabilité de 5 % a été retenu, c'est-à-dire que si l'écart relatif absolu est inférieur ou égal à 5 %, on considère que la différence entre la normale considérée et la normale de référence n'est pas statistiquement significative (Kouassi *et al.*, 2019). L'ensemble des écarts relatifs absolus va permettre de constituer la matrice des écarts relatifs absolus. Cette matrice a été transformée en une matrice binaire (0 ; 1). En effet, les écarts inférieurs à 5 % ont été remplacés par 1 tandis que les écarts supérieurs à 5 % ont été remplacés par 0. Le « 1 » traduit une stationnarité des normales alors que le « 0 » traduit une non-stationnarité des normales (Kouassi *et al.*, 2012).

## RESULTATS ET DISCUSSION

### CARACTERISTIQUES DES NORMALES DES PLUIES EXTREMES

Les caractéristiques statistiques des normales des pluies journalières maximales annuelles calculées sur les différentes périodes de trente ans allant de 1931 à 2020 ainsi que la moyenne de la série entière sont consignées dans le tableau 1.

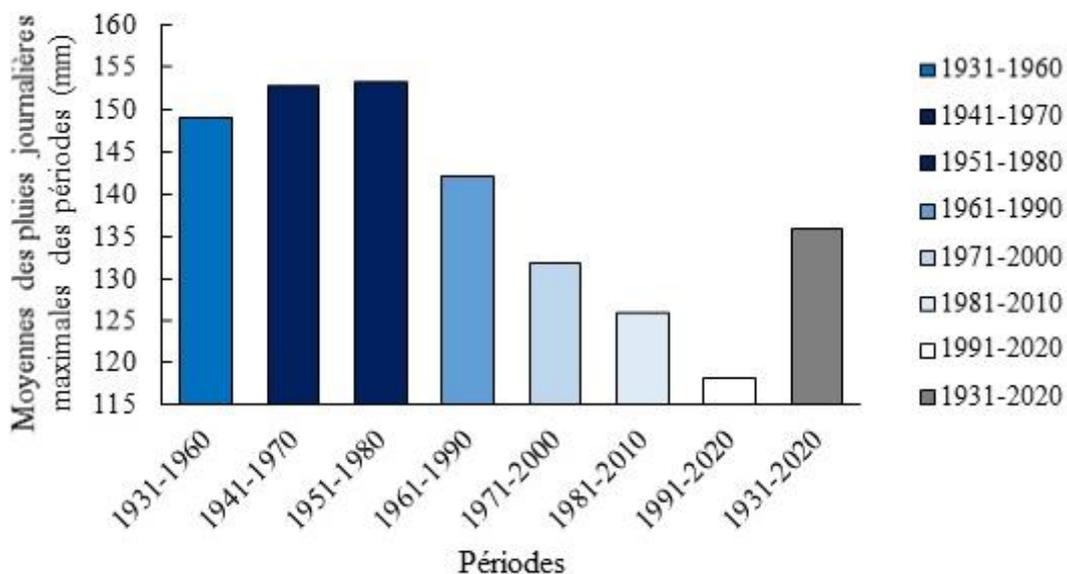
Les normales évaluées varient de 118 mm (1991-2020) à 153 mm (1951-1980), avec une moyenne de 139 mm. La moyenne de la série entière (136 mm) est comprise entre les deux normales extrêmes et est inférieure à la moyenne des normales. Cette moyenne reste inférieure aux normales de références historiques (1931-1960 : 149 mm ; 1961-1990 : 142 mm) et supérieure à la normale de référence future (1991-2020 : 118 mm). Cet écart-type est compris entre les deux valeurs extrêmes des écart-types des normales et est supérieur à la moyenne des écart-types des différentes normales. Les coefficients de variation des différentes normales oscillent entre 28,7 et 39,8 %, avec une moyenne de 32,86 %. Le coefficient de variation de la moyenne de la série entière est de 33,7 %. Les différentes valeurs obtenues restent supérieures à 25 %, ce qui met en évidence une hétérogénéité des séries afférentes aux normales ainsi que la série entière.

**Tableau 1** : Caractéristiques statistiques des normales des pluies maximales annuelles.  
*Statistical characteristics of normal maximum annual rainfall.*

Séries	Moyenne	Écart-type	Coefficient de Variation (%)
1931-1960	149	42,8	28,7
1941-1970	153	45,4	29,7
1951-1980	153	44,3	28,9
1961-1990	142	48,0	33,7
1971-2000	132	45,5	34,5
1981-2010	126	50,2	39,8
1991-2020	118	41,0	34,7
1931-2020	136	45,9	33,7

L'analyse de l'évolution des normales des pluies journalières maximales annuelles (Figure 2) montre que les normales varient de façon croissante de la première période (1931-1960) à la deuxième période (1941-1970) suivie d'une stabilisation (1951-1980). A partir de cette

période, un amenuisement des normales est observé jusqu'à la dernière période (1991-2020). La moyenne de la série entière est inférieure aux quatre premières normales allant de 1931 à 1990. Les normales après 1990 se trouvent être inférieures à la moyenne de la série entière.



**Figure 2** : Histogramme des normales des pluies journalières maximales annuelles.  
*Histogram of normal maximum daily rainfall.*

#### ECARTS ENTRE LES DIFFÉRENTES NORMALES

Les écarts relatifs absolus entre les différentes normales des pluies journalières maximales annuelles indiquent plusieurs regroupements. D'abord, il est mis en évidence un premier groupe caractérisé par des écarts relatifs absolus inférieurs à 5 % entre les normales des périodes 1931-1961, 1941-1970, 1951-1980 et 1961-1990. Ensuite, un deuxième regroupement est observé et caractérisé par des écarts relatifs absolus

inférieurs à 5 % entre les normales des périodes 1971-2000 et 1981-2020. Enfin, le dernier groupe est marqué par une seule normale (1991-2020), avec des écarts relatifs absolus supérieurs à 5 % avec les autres normales. Il est mis en évidence des différences significatives entre d'une part les normales de la période 1931-1990 et d'autre part, les normales des périodes 1971-2020 et 1991-2020.

Les écarts relatifs absolus entre les différentes normales des pluies journalières maximales annuelles et la moyenne de la série entière

indiquent que seules les normales des périodes 1961-1990 et 1971-2000 ont des valeurs d'écart relatif inférieures à 5 %. Ainsi, on peut considérer les normales des périodes 1931-1960, 1941-1970 et 1951-1980 comme des normales historiques de référence de la période humide.

Les normales des périodes 1961-1990 et 1971-2000 sont considérées comme des normales de référence de la situation pluviométrique normale. Quant à la normale de la période 1991-2020, elle est considérée comme la normale de référence de la période sèche.

**Tableau 2 :** Matrice des écarts relatifs absolus (%) des normales des pluies extrêmes.

*Matrix of absolute relative differences (%) of extreme rainfall normals.*

	31-60	41-70	51-80	61-90	71-00	81-10	91-20	31-20
31-60	0	2,61	2,61	4,93	12,88	18,25	26,27	9,56
41-70	2,68	0	0	7,75	15,91	21,43	29,66	12,5
51-80	2,68	0	0	7,75	15,91	21,43	29,66	12,5
61-90	4,7	7,19	7,19	0	7,58	12,7	20,34	4,41
71-00	11,41	13,73	13,73	7,04	0	4,76	11,86	2,94
81-10	15,44	17,65	17,65	11,27	4,55	0	6,78	7,35
91-20	20,81	22,88	22,88	16,9	10,61	6,35	0	13,24
31-20	8,72	11,11	11,11	4,23	3,03	7,94	15,25	0

L'analyse des écarts relatifs absolus des normales des pluies maximales annuelles a permis de dégager la matrice binaire des normales (Tableau 3). Il ressort de l'analyse de cette matrice qu'il y a représentation des deux

codes (0 ; 1). Il a été enregistré 21,43 % de « 1 » contre 78,57 % de « 0 ». Ces résultats montrent que les normales calculées sur les différentes périodes glissantes de 30 ans et la moyenne de la série entière ne sont pas stationnaires.

**Tableau 3 :** Matrice binaire des normales des pluies maximales annuelles.

*Binary matrix of normal maximum annual rainfall.*

	31-60	41-70	51-80	61-90	71-00	81-10	91-20	31-20
31-60	1	1	1	1	0	0	0	0
41-70	1	1	0	0	0	0	0	0
51-80	1	0	1	0	0	0	0	0
61-90	1	0	0	1	0	0	0	1
71-00	0	0	0	0	1	1	0	1
81-10	0	0	0	0	1	1	0	0
91-20	0	0	0	0	0	0	1	0
31-20	0	0	0	1	1	0	0	1

## DISCUSSION

L'analyse des normales a montré que les normales les plus humides sont celles des périodes 1941-1970 et 1951-1980. La normale la plus sèche reste celle de la période 1991-2020. La moyenne de la série entière (1931-2020) est comprise entre les deux catégories de normales extrêmes. Ces différentes tendances sont liées aux sécheresses qui ont affecté les

différentes séries constituées. L'hétérogénéité des séries des périodes de référence ayant servi à la définition des normales est due à l'impact des changements climatiques qui ont affecté les pluies journalières maximales annuelles à la station de Port-Bouët (Abidjan) marqués par des ruptures en 1970 et 1982-1983 (Nassa, 2017).

L'analyse comparative des normales a montré que seule la normale de référence historique (1961-1990) se démarque nettement des autres

normales en général et la normale de référence actualisée en particulier, ce qui souligne le caractère nettement excédentaire de cette période qui est marquée par une importante fréquence de pluies journalières intenses à rares (100-330 mm) (Nassa, 2017).

L'étude de l'interchangeabilité a mis en évidence le caractère interchangeable des normales des périodes 1931-1960, 1941-1970, 1951-1980 et 1961-1990. Il a également été observé l'interchangeabilité entre les normales 1971-2000, 1981-2010 et la moyenne de la série entière (1931-2020). La normale de la période 1991-2020 n'est interchangeable ni avec les différentes normales ni avec la moyenne de la série entière. En effet, on commettrait moins d'erreur en choisissant la moyenne de la période entière (1931-2020) ou la normale de référence actualisée (1981-2010), comme recommandée par certains auteurs (Todorov, 1985 ; Hubert *et al.*, 1989 ; Paturel *et al.*, 2003 ; Sighomnou, 2004), pour tenir compte des phénomènes de changements climatiques en cours. Ainsi, choisir la normale de référence humide (1941-1970 ou 1951-1980) pour le dimensionnement d'un ouvrage hydraulique aujourd'hui, serait se placer dans une hypothèse optimiste de reprise des précipitations dans le futur. Par contre, choisir la normale de référence actualisée (1981-2010) qui est recommandé par le principe d'actualisation des normes, ou la normale de référence future (1991-2020), qui est la normale de fin 2020, pour le dimensionnement d'un ouvrage hydraulique aujourd'hui, serait se placer dans une hypothèse pessimiste de baisse des précipitations dans le futur. Un choix porté sur la normale de la période 1961-1990 ou 1971-2000 et la moyenne de la série entière (1931-2020), serait donc choisir la voie de la prudence c'est-à-dire la voie de la situation intermédiaire.

Sur la base de la matrice binaire et partant du principe selon lequel le concept de normes hydrologiques fait référence à une stabilité du climat (Paturel *et al.*, 2003), on peut conclure donc que le climat du District d'Abidjan étudié à partir des données de pluies journalières maximales annuelles de la station de Port-Bouët, n'a pas été stable au cours de la période considérée (1931-2020). En effet, les normales et moyennes obtenues sur les différentes périodes ont été non homogènes et non stationnaires. Ainsi, la matrice binaire des normales des pluies journalières maximales annuelles reste donc un outil d'aide pour les Concepteurs et Ingénieurs quant au

dimensionnement des ouvrages hydrauliques dans un contexte de changement climatique. En effet, la stationnarité des normales sur les périodes de 30 ans est un grand risque à surmonter en choisissant la meilleure normale de référence pour les différents calculs de dimensionnement et projections.

## CONCLUSION

Les normales évaluées varient de 118 mm (1991-2020) à 153 mm (1951-1980) avec une moyenne de 139 mm. La moyenne de la série entière (136 mm) est comprise entre les deux normales extrêmes et est inférieure à la moyenne des normales. Les coefficients de variation des différentes normales oscillent entre 28,7 et 39,8 % et mettent en évidence une hétérogénéité des séries afférentes aux normales ainsi que la série entière. Les différentes normales et moyennes ont été jugées non homogènes et non-stationnaires eu égard aux impacts des changements climatiques en termes de sécheresse qui ont affecté les pluies journalières maximales annuelles de la station de Port-Bouët (Abidjan). Le débat sur la normale a montré la difficulté à choisir une période de référence pour le dimensionnement d'un ouvrage hydraulique aujourd'hui. Ce choix doit tenir compte du climat futur. La matrice binaire a mis en évidence une non stabilité du climat dans le District d'Abidjan étudié au cours de la période considérée (1931-2020). Ainsi, la matrice binaire des normales des pluies journalières maximales annuelles reste donc un outil d'aide pour les Concepteurs et Ingénieurs quant au dimensionnement des ouvrages hydrauliques dans un contexte de changement climatique. En effet, la stationnarité des normales sur les périodes de 30 ans est un grand risque à surmonter en choisissant la meilleure normale de référence pour les différents calculs de dimensionnement et projections. Les résultats obtenus au cours de cette étude amènent à s'interroger sur l'impact des changements climatiques sur les quantiles des pluies journalières maximales annuelles, estimés à partir des normales non homogènes et non-stationnaires et servant à l'estimation des débits de projet en vue des dimensionnements des ouvrages hydrauliques.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs de cet article remercient les

instructeurs dont les critiques et les suggestions ont permis d'améliorer le présent article. Ils remercient également la Direction de la SODEXAM pour leur avoir fourni les données climatiques utilisées dans cette étude.

## REFERENCES

- Dongo K., Diomandé M., Gueladio C., Tanner M. & Biemi J. 2008. Improving urban drainage in Abidjan, Côte d'Ivoire. *African Journal of Science and Technology*, 8, 8-16.
- Farmer G., 1986. Rainfall variability in tropical Africa. Some implications for policy. Land use policy, October 1986.
- Ferry L., L'Hote Y. & Wesselink A. 1998. Les précipitations dans le Sud-Ouest de Madagascar. *IAHS Publication*, 252, 89-96.
- Hubert P., Carbonnel J. P. & Chaouche A. 1989. Segmentation des séries hydrométriques: application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'Ouest. *Journal of Hydrology*, 110, 349-367.
- Kablan M. 2016. Vulnérabilité et adaptation des populations urbaines aux effets des variations climatiques (température et pluviométrie) : analyse de la situation dans la commune de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat de l'Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody-Abidjan, Sciences de la Terre et des Ressources Minières, 242 p.
- Konaté L. 2018. Contribution des indices climatiques et des modèles de pluie à la surveillance et prévention des inondations pluviales en milieu urbain : Cas du District d'Abidjan (Sud de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat de l'Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody-Abidjan, 186 p.
- Konaté L., Kouadio B.H., Djè B., Aké G., Vami H., Gnagne L., Koffi M. & Biemi J. 2016. Caractérisation des pluies journalières intenses et récurrences des inondations: apport des totaux glissants trois (3) jours à la détermination d'une quantité seuil d'inondation (District d'Abidjan au Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 17 (3), 990-1003.
- Kouassi A.M., Kouamé K.F., Koffi Y.B., Djè K.B., Paturol J.E. & Sekouba O. 2010. Analyse de la variabilité climatique et de ses influences sur les régimes pluviométriques saisonniers en Afrique de l'Ouest: cas du bassin versant du N'Zi (Bandama) en Côte d'Ivoire. *Cybergeog : European Journal of Geography, Environnement, Nature, Paysage*, mis en ligne le 07 décembre 2010. URL : <http://cybergeog.revues.org/index23388.html>2010.
- Kouassi A.M., Nassa R.A.K., Kouakou K.E., Kouamé K.F. & Biémi J. 2019. Analyse des impacts des changements climatiques sur les normes hydrologiques en Afrique de l'Ouest : cas du district d'Abidjan (Sud de la Côte d'Ivoire). *Revue des Sciences de l'Eau*, 32 (3), 207-220.
- Kouassi A.M., N'guessan B.T.M., Kouamé K.F., Kouamé K.A., Okaingni J.C. & Biemi J. 2012. Application de la méthode des simulations croisées à l'analyse de tendances dans la relation pluie-débit à partir du modèle GR2 M : cas du bassin versant du N'zi-Bandama (Côte d'Ivoire). *Comptes Rendus Géosciences*, 344, 288-296.
- Morel M. 1986. Problèmes posés par les normes pluviométriques dans la région sahélienne. In, Compte Rendu du Colloque International sur la révision des normes hydrologiques suite aux incidences de la sécheresse ; Communication 14, CIEH.
- Nassa R.A.K. 2017. Analyse de l'influence des changements climatiques sur les quantiles des pluies extrêmes: cas du District d'Abidjan (Sud de la Côte d'Ivoire). Mémoire de fin d'études, Ecole Supérieure des Mines et de Géologie (INP-HB Yamoussoukro), Côte d'Ivoire, 100 p.
- Organisation Météorologique Mondiale (O.M.M.) (1998). Global climate normals (CLINO), Version 1.0. Rapport technique, N° 847, Genève.
- Organisation Météorologique Mondiale (O.M.M.) (2003). Guidelines on Climate Metadata and Homogenization. Rapport technique, N° 1186, Genève.
- Organisation Météorologique Mondiale (O.M.M.) (2007). The Role of Climatological Normals in a Changing Climate. Rapport technique, Genève, N° 1377.
- Organisation Météorologique Mondiale (O.M.M.) (2011). Guide des pratiques climatologiques. Rapport technique, N° 100, Genève.
- Organisation Météorologique Mondiale (O.M.M.) (2017). Directives de l'OMM pour le calcul des normales climatiques. Rapport technique, N° 1203.
- Ouédraogo M. 2001. Contribution à l'étude de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest. Analyse des conséquences d'une sécheresse persistante : normes hydrologiques et modélisation régionale. Thèse de Doctorat de

- l'Université de Montpellier II, 257 p.
- Paturel J.E., Ouédraogo M., Servat E., Mahé G., Dezetter A. & Boyer J.F., 2003. The concept of hydropluviometric normal in West and Central Africa in a context of climatic variability. *Hydrological Science Journal*, 48 (1), 125-137.
- R.G.P.H. 2014. Recensement General de la Population et de l'Habitat 2014 : Principaux résultats préliminaires. Institut National de la Statistique (INS), Abidjan, 26 p.
- Sighomnou D. 2004. Analyse et redéfinition des régimes climatiques et hydrologiques du Cameroun : perspectives d'évolution des ressources en eau. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Yaoundé 1, Cameroun, 279 p.
- Todorov A.V. 1985. Sahel, the changing rainfall and the 'normals' used for its assessment. *Journal of climate and Applied Meteorology*, 24, 97-107.