

## Persistence des Séquences Pluvieuses et Risques d'Inondations de 1971 à 2022 en Côte d'Ivoire

*Kolotioloma Alama Coulibaly*

*Kouadio Christophe N'Da*

*Daouda Sylla*

*Pauline Agoh Dibi-Anoh*

Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

*Bi Tié Albert Goula*

Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n9p53](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p53)

Submitted: 16 December 2023

Accepted: 12 March 2024

Published: 31 March 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

*Cite As:*

Coulibaly K.A., N'Da K.C., Sylla D., Dibi-Anoh P.A. & Goula B.T.A. (2024). *Persistence des Séquences Pluvieuses et Risques d'Inondations de 1971 à 2022 en Côte d'Ivoire*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (9), 53. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p53>

### Résumé

Avec le réchauffement climatique mondial, les inondations sont devenues plus récurrentes en Afrique de l'Ouest, particulièrement en Côte d'Ivoire. Ainsi, la présente étude a pour objectif de contribuer à une meilleure compréhension des risques d'inondations à travers les extrêmes pluviométriques et leurs répartitions en Côte d'Ivoire. Pour cela, les données pluviométriques journalières de 1971 à 2022 des 14 stations synoptiques de la Direction de la Météorologie Nationale de Côte d'Ivoire sont utilisées. L'approche méthodologique comporte les chaînes de Markov, la loi de Gumbel et l'analyse fréquentielle des pluies journalières extrêmes. Les résultats ont montré que pendant les saisons des pluies, il y a plus de chance qu'il pleuve au Nord et à l'Ouest de la Côte d'Ivoire si la veille est sèche. En revanche, au Centre, au Sud et sur le littoral, c'est lorsque la veille est pluvieuse que la probabilité de pluie est élevée. Cette probabilité est plus forte au Nord-Ouest et sur le littoral qu'au Centre et Sud. Au Nord et à l'Ouest de la Côte d'Ivoire, la période allant de juillet à septembre enregistre 74,5 à 84,6 % des années à pluie extrême alors que sur le littoral, c'est 61,5 à 76,9 % durant la première saison pluvieuse d'avril à juin. Au Centre et Sud ivoiriens, ce sont 21,2 à 58,3 % des années qui ont des pluies extrêmes entre avril et

novembre. Les pluies journalières normales à très exceptionnelles avec une durée de retour respectivement inférieure à six ans et supérieure à 100 ans occasionnent des inondations en Côte d'Ivoire. Ces résultats sont importants pour la mise à jour des plans stratégiques de prévention et de gestion des risques d'inondations en Côte d'Ivoire.

---

**Mots-clés:** Côte d'Ivoire, probabilité de jour pluvieux, pluie extrême, risques d'inondations, durée de retour

---

## **Persistence of Wet Spells and Flood Risks from 1971 to 2022 in Cote d'Ivoire**

*Kolotioloma Alama Coulibaly*

*Kouadio Christophe N'Da*

*Daouda Sylla*

*Pauline Agoh Dibi-Anoh*

Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

*Bi Tié Albert Goula*

Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire

---

### **Abstract**

With global warming, floods have become more recurrent in West Africa, particularly in Cote d'Ivoire. Thus, this study aims to contribute to a better understanding of flood risks through extreme rainfall and their distributions in Cote d'Ivoire. For this, daily rainfall data from 1971 to 2022 for 14 synoptic stations of the National Meteorological Service of Cote d'Ivoire are used. The methodological approach includes Markov chains, Gumbel's law, and frequency analysis of extreme daily rainfall. Results showed that during rainy seasons, there is a greater chance of rain in the North and West of Cote d'Ivoire if the day before is dry. However, in the Centre, South, and coastal, it is when the day before is rainy that the probability of rain is high. This probability is higher in the Northwest and on the coast than in the Centre and South. In the North and West of Cote d'Ivoire, the period from July to September records 74.5 to 84.6 % of years with extreme rain while on the coast, it is 61.5 to 76.9 % during the first rainy season from April to June. In the Centre and South of Cote d'Ivoire, 21.2 to 58.3 % of years have extreme rainfall between April and November. Normal to very exceptional daily rainfall with return periods respectively less than six years and more than 100 years cause floods in Cote d'Ivoire. These results are important for

updating strategic flood risk prevention and management plans in Cote d'Ivoire.

---

**Keywords:** Cote d'Ivoire, probability of rainy day, extreme rainfall, flood risks, return period

## Introduction

Le réchauffement climatique actuel que connaît le monde est à l'origine de l'accroissement de phénomènes météorologiques responsables des risques hydroclimatiques dont les inondations, les sécheresses, les vents violents et les vagues de chaleur (GIEC, 2014). Suivant les prédictions, ces extrêmes climatiques devraient se multiplier et gagner en intensités avec des conséquences effroyables pour les populations (GIEC, 2014). En effet, les catastrophes naturelles entraînent la destruction de matériels et de dégâts humains. Selon l'Organisation Météorologique Mondiale, 3253 événements hydrométéorologiques dangereux ont été recensés dans le monde au cours de la décennie 2005-2014. Ces événements ont fait 283035 victimes et causé de nombreux dégâts matériels et pertes économiques.

En Côte d'Ivoire, les catastrophes les plus récurrentes sont les inondations et les glissements de terrain. Les épisodes clés de ces types de catastrophes ont été enregistrés respectivement en 1968-1970; 1996; 2007-2009 et 2017-2018. Ils sont tous liés aux fortes précipitations durant les saisons pluvieuses (RCI, 2019, p. 30). Le cas du 18 au 19 juin 2018 a perturbé les activités socio-économiques suite aux pluies diluviennes à Abidjan et dans d'autres localités ivoiriennes provoquant ainsi de nombreux dommages matériels et humains (RCI, 2019, p. 9). Selon l'Office National de la Protection Civile (ONPC) de Côte d'Ivoire, les récentes inondations observées depuis les années 2010 ont occasionné des dégâts matériels et humains dans certaines localités ivoiriennes telles que Abidjan, Aboisso, Agboville, Bonoua, Bouaké, Grand-Bassam, Korhogo, San-Pédro, Tiassalé et Toulepleu. La plupart de ces dégâts sont causés par le ruissellement des eaux de pluie. Partant, la Côte d'Ivoire reste un pays très vulnérable aux catastrophes naturelles d'origine hydrométéorologiques telles que les inondations (K. M. Traoré, 2023, p. 1). Ces inondations constituent un obstacle majeur au développement économique du pays et à la vie des populations.

Face à ce problème, les solutions pour y faire face se concentrent presque exclusivement sur la gestion des conséquences des inondations. Pourtant, les ressources de la Côte d'Ivoire pour réduire ces risques d'inondations s'avèrent limitées malgré les initiatives de recherches existantes pour étudier et comprendre les événements pluviométriques extrêmes vecteurs d'inondations (L. Konaté *et al.*, 2016 ; G. E. Soro *et al.*, 2016 ; A. M. Kouassi

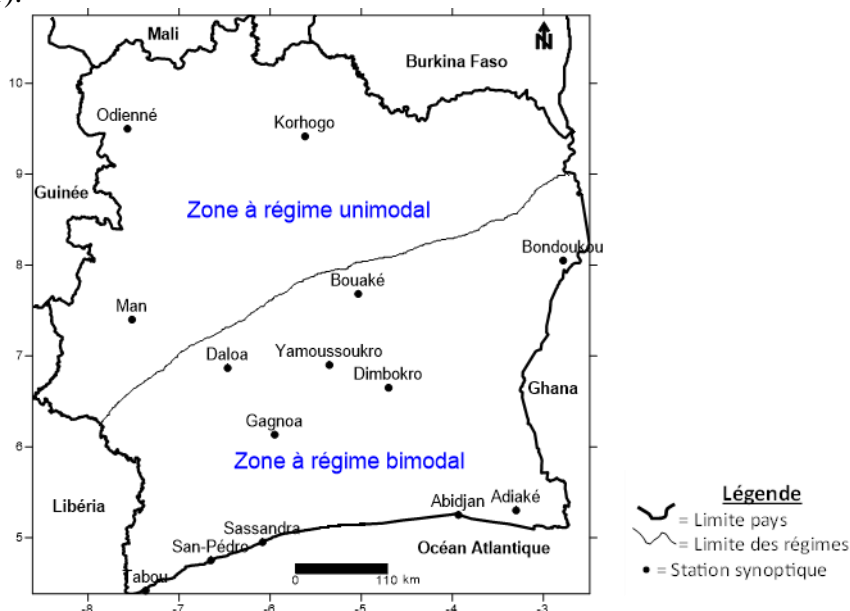
*et al.*, 2018; A. E. L. Eba *et al.*, 2021; B. Diarrassouba *et al.*, 2022; K. M. Traoré, 2023).

Ainsi, vu l'ampleur des récentes inondations pluviales sur l'ensemble du territoire ivoirien, il est nécessaire de poursuivre le développement de stratégies d'adaptation pour les populations face à ce fléau d'origine hydrométéorologique. C'est dans cette optique que la présente étude a pour objectif de contribuer à une meilleure compréhension des risques d'inondations à travers les extrêmes pluviométriques et leurs répartitions en Côte d'Ivoire.

## Méthodologie

### Présentation de la zone d'étude

Située en Afrique de l'Ouest entre les latitudes 4° et 11° Nord et les longitudes 2° et 9° Ouest, la Côte d'Ivoire couvre une superficie de 322462 km<sup>2</sup> (Figure 1). Sa population est estimée à 29389150 habitants (INS-RGPH, 2021).



*Note:* Carte de la Côte d'Ivoire avec les 14 stations synoptiques (ou localités) et les régimes pluviométriques.

Source : Adapté de I. Ndabalishye (1995, p. 47); P. A. Dibi-Anoh et K. A. Coulibaly (2022, p. 136)

**Figure 1.** Localisation des zones pluviométriques homogènes en Côte d'Ivoire

Le Nord de la Côte d'Ivoire présente un climat tropical subhumide à sec tandis que le Sud enregistre un climat tropical humide (I. Ndabalishye, 1995). Le premier type de climat comporte une saison sèche et une saison pluvieuse centrée sur juillet-août-septembre avec le pic pluviométrique en

août ou en septembre. Le second comprend deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches. La première saison humide est plus longue et intense. Elle se situe entre avril et mi-juillet. La deuxième est plus courte et couvre la période allant de septembre à novembre. Chaque saison pluvieuse est suivie par une saison sèche (P. A. Dibi-Anoh et K. A. Coulibaly, 2022, p. 136).

### ***Données***

Les données journalières de pluie sur la période 1971-2022 sont collectées à la Direction de la Météorologie Nationale (DMN), située au sein de la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM) de la Côte d'Ivoire. Ces relevés proviennent des enregistrements effectués dans les 14 stations synoptiques (ou localités) du territoire ivoirien. Ces localités sont listées en suivant le découpage géographique de la Côte d'Ivoire du Nord-Est vers le Sud-Ouest. Il s'agit de Korhogo, Odienné (zone Nord), Man (zone Ouest), Bondoukou, Bouaké, Daloa (zone Centre), Dimbokro, Yamoussoukro, Gagnoa (zone Sud), Adiaké, Abidjan, Sassandra, San-Pédro et Tabou (zone du littoral). Ces postes sont retenus du fait de la régularité des observations et de leur fonctionnement en continue. De plus, ces stations disposent d'informations régulières et homogènes sur la période d'étude. Toutefois, les données observées par la Compagnie Ivoirienne pour le Développement des Textiles (CIDT), Ivoire Coton et la Société Sucrière Ivoirienne (Sucrivoire) ont permis de combler les valeurs manquantes entre 2002 et 2017 pour Korhogo, Odienné, Bouaké et Man. Avant la phase de traitement, les données ont été contrôlées afin de s'assurer de leur qualité et homogénéité.

### ***Calcul des probabilités de jour pluvieux selon les chaînes de Markov***

Dans cette étude, un jour est pluvieux lorsque le cumul de pluie est supérieur ou égal à 1 millimètre (mm). En revanche, un jour est sec s'il y a absence de pluie ou si le cumul de pluie est inférieur à 1 mm. Ce seuil permet d'avoir des informations utiles pour les gestionnaires des ressources en eau et les agriculteurs. Ainsi, la persistance des séquences de jours pluvieux est basée sur l'utilisation des chaînes de Markov d'ordre 1 et 2. Cette méthode énonce des probabilités conditionnelles de plusieurs événements et détermine celles d'avoir des jours de pluie sous certaines conditions. Le calcul est basé sur l'application du théorème de Bayes qui est un corollaire du théorème de probabilité totale. Plusieurs auteurs (H. Meddi et M. Meddi, 2009 ; C. S. U. Y. Allé *et al.*, 2013 ; N. H. Meledje *et al.*, 2015; N. Soro *et al.*, 2021) ont montré la possibilité d'utiliser les chaînes de Markov pour l'analyse des jours pluvieux ou secs. Le modèle des chaînes de Markov est un modèle stochastique et itératif. Ce processus exprime des probabilités conditionnelles de passage de l'état d'un ou deux jours précédents à l'état de jour pluvieux en

cours. Ainsi, l'état du jour  $j$  ne dépend que de l'état du jour  $j - 1$  pour un modèle de Markov d'ordre 1, et des états  $j - 1$  ainsi que  $j - 2$  pour celui d'ordre 2. Partant, ces modèles sont appliqués aux valeurs pluviométriques journalières de 1971 à 2022 afin de déterminer la probabilité d'avoir un jour pluvieux sachant que l'état du jour précédent ou des deux jours antérieurs est sec ou pluvieux.

Pour un processus d'ordre 1 des chaînes de Markov, la probabilité ( $P$ ) pour qu'il pleuve le jour dépend de l'état du jour précédant pluvieux ( $r$ ) ou sec ( $d$ ) et est notée comme suit :

$P_{rr}$  = probabilité d'avoir un jour pluvieux sachant que le jour précédent était pluvieux ;

$P_{rd}$  = probabilité d'avoir un jour pluvieux sachant que le jour précédent était sec.

Pour ce qui est du processus d'ordre 2 des chaînes de Markov, la probabilité ( $P$ ) pour qu'il pleuve le jour dépend de l'état des deux jours précédents et est notée comme suit :

$P_{rdd}$  = probabilité d'avoir un jour pluvieux sachant que les deux jours précédents étaient secs ;

$P_{rdr}$  = probabilité d'avoir un jour pluvieux sachant que la veille était jour sec et l'avant-veille était jour pluvieux ;

$P_{rrd}$  = probabilité d'avoir un jour pluvieux sachant que la veille était jour pluvieux et l'avant-veille était jour sec ;

$P_{rrr}$  = probabilité d'avoir un jour pluvieux sachant que les deux jours précédents étaient pluvieux.

Ces probabilités sont calculées pour chacune des 14 stations (ou localités) avant d'être moyennées par saison pluvieuse et par zone. Au Nord et à l'Ouest de la Côte d'Ivoire, la saison des pluies est centrée sur Juillet-Août-Septembre (JAS) alors qu'au Centre, au Sud et sur le littoral, ce sont Avril-Mai-Juin (AMJ) et Septembre-Octobre-Novembre (SON) qui sont les périodes les plus pluvieuses.

### ***Analyse fréquentielle des pluies extrêmes sur trois jours consécutifs***

La plupart des inondations observées en Côte d'Ivoire sont dues à des pluies diluviennes d'une durée moyenne de un à trois jours consécutifs (L. Konaté *et al.*, 2016). Dans cette situation, les sols sont souvent gorgés d'eau et l'infiltration devient nulle. C'est pour cela que les pluies extrêmes (ou maximales) sur trois jours consécutifs sont calculées de 1971 à 2022 pour chaque localité, puis soumises à une analyse fréquentielle. Ainsi, les taux des années ayant enregistré des pluies extrêmes sur trois jours consécutifs pour chaque saison et localité sont déterminés. La quantité de pluie cumulée la plus élevée sur les trois jours et la date de son observation sont identifiées. Le but

est de connaître la fréquence des pluies extrêmes des jours consécutifs pendant les saisons pluvieuses en Côte d'Ivoire.

### ***Détermination des durées de retour des pluies extrêmes journalières***

Les événements pluviométriques extrêmes sont analysés en se basant sur leurs durées (ou périodes) de retour. La loi de Gumbel par ajustement à la méthode graphique est appliquée aux hauteurs de pluie journalière extrême de 1971 à 2022 pour chaque localité. Le but est de vérifier si les épisodes pluvieux, sources d'inondations en Côte d'Ivoire, pourraient être qualifiés d'extrêmes ou non. La durée de retour caractérise le temps statistique entre deux occurrences d'un événement naturel d'une intensité donnée. La fonction de répartition de la loi de Gumbel se définit comme suit :

$$F(x) = \exp \left[ -\exp \left( -\frac{x-a}{b} \right) \right]$$

avec la variable réduite  $u = \frac{x-a}{b}$

$a$  et  $b$  sont les paramètres du modèle de Gumbel.

La fonction de distribution devient alors  $F(x) = \exp(-\exp \exp(-u))$  et  $u = -\ln(-\ln \ln(F(x)))$ .

La durée de retour d'un événement ( $T$ ) est définie comme étant l'inverse de la probabilité annuelle de dépassement de cet événement :

$$T = \frac{1}{1 - F(xi)}$$

avec  $F(xi) = \frac{r-0,5}{n}$  et  $r = \text{rang}$  ;  $n = \text{taille de l'échantillon considéré}$ .

Selon H. Hangnon *et al.* (2015, p. 498) et A. M. Kouassi *et al.* (2018, p. 153), un événement pluvieux est qualifié de « très exceptionnel » si  $T$  est supérieure à 100 ans; de « exceptionnel » si  $T$  est comprise entre 30 et 100 ans; de « très anormal » si  $T$  se situe entre 10 et 30 ans; de « anormal » si  $T$  oscille entre 6 et 10 ans, et de « normal » si  $T$  est moins de 6 ans.

La mise en œuvre des méthodes des chaînes de Markov, de l'analyse fréquentielle des pluies extrêmes et de la détermination de leurs durées de retour, a permis d'obtenir les résultats. Ils sont présentés et discutés.

## **Résultats et discussion**

### ***Probabilités de jour pluvieux selon les chaînes de Markov d'ordre 1 et 2***

Les probabilités saisonnières de jour de pluie après un jour pluvieux ou sec selon les chaînes de Markov d'ordre 1 sont illustrées dans le tableau 1.



**Tableau 1.** Probabilités saisonnières de jour pluvieux selon les chaînes de Markov d'ordre 1 en Côte d'Ivoire

Zone	Localité	Avril-Mai-Juin (AMJ)		Juillet-Août-Septembre (JAS)		Septembre-Octobre-Novembre (SON)	
		<i>Prd</i>	<i>Prr</i>	<i>Prd</i>	<i>Prr</i>	<i>Prd</i>	<i>Prr</i>
Nord et Ouest	Korhogo	0,29	0,29	0,43	0,42	0,28	0,36
	Odienné	0,33	0,32	0,56	0,54	0,35	0,39
	Man	0,33	0,36	0,39	0,56	0,30	0,43
	<b>Moyenne</b>	<b>0,32</b>	<b>0,32</b>	<b>0,46</b>	<b>0,51</b>	<b>0,31</b>	<b>0,39</b>
Centre	Bondoukou	0,29	0,29	0,27	0,35	0,27	0,37
	Bouaké	0,30	0,33	0,26	0,37	0,23	0,35
	Daloa	0,31	0,32	0,30	0,46	0,28	0,41
	<b>Moyenne</b>	<b>0,30</b>	<b>0,31</b>	<b>0,28</b>	<b>0,39</b>	<b>0,26</b>	<b>0,38</b>
Sud	Dimbokro	0,32	0,34	0,22	0,37	0,25	0,32
	Yamoussoukro	0,32	0,35	0,24	0,40	0,26	0,38
	Gagnoa	0,41	0,43	0,26	0,43	0,34	0,42
	<b>Moyenne</b>	<b>0,35</b>	<b>0,37</b>	<b>0,24</b>	<b>0,40</b>	<b>0,28</b>	<b>0,37</b>
Littoral	Adiaké	0,41	0,47	0,24	0,45	0,33	0,45
	Abidjan	0,37	0,47	0,15	0,35	0,26	0,42
	Sassandra	0,33	0,47	0,15	0,39	0,23	0,38
	San-Pédro	0,33	0,47	0,19	0,45	0,27	0,44
	Tabou	0,36	0,53	0,32	0,64	0,36	0,59
<b>Moyenne</b>	<b>0,36</b>	<b>0,48</b>	<b>0,21</b>	<b>0,46</b>	<b>0,29</b>	<b>0,46</b>	

*Note: Valeurs des probabilités de jour pluvieux par localité et par zone selon les saisons pluvieuses. Source: Nos traitements (2023)*

Au Nord et Ouest de la Côte d'Ivoire, en début (AMJ) et fin (SON) de saison pluvieuse, les probabilités de jour de pluie (*Prd, Prr*) varient en moyenne entre 0,31 et 0,39. Elles sont élevées en pleine saison pluvieuse (JAS). Pendant cette période, les *Prd* et *Prr* oscillent entre 0,46 et 0,51. Cependant, elles peuvent atteindre 0,56 à Odienné et à Man. En général, les probabilités des localités de Man et d'Odienné situées au Nord-Ouest sont plus élevées que celles de Korhogo située au Nord de la Côte d'Ivoire. Cette différence peut s'expliquer par l'effet du relief montagneux au Nord-Ouest ivoirien qui créé un microclimat plus humide. De plus, le régime pluviométrique de Korhogo est similaire à celui des pays sahéliens de l'Afrique de l'Ouest avec une pluviométrie influencée par les mouvements Nord-Sud de la zone de convergence intertropicale avec un fort gradient Nord-Sud de pluviosité selon J. L. Redelsperger *et al.* (2006).

Au Centre de la Côte d'Ivoire, les probabilités de jour pluvieux (*Prd, Prr*) d'AMJ sont relativement identiques en moyenne autour de 0,30. Au cours des périodes JAS et SON, les *Prr* sont en moyenne 0,38 alors que les *Prd* fluctuent entre 0,26 et 0,28. La ville de Daloa enregistre les plus fortes

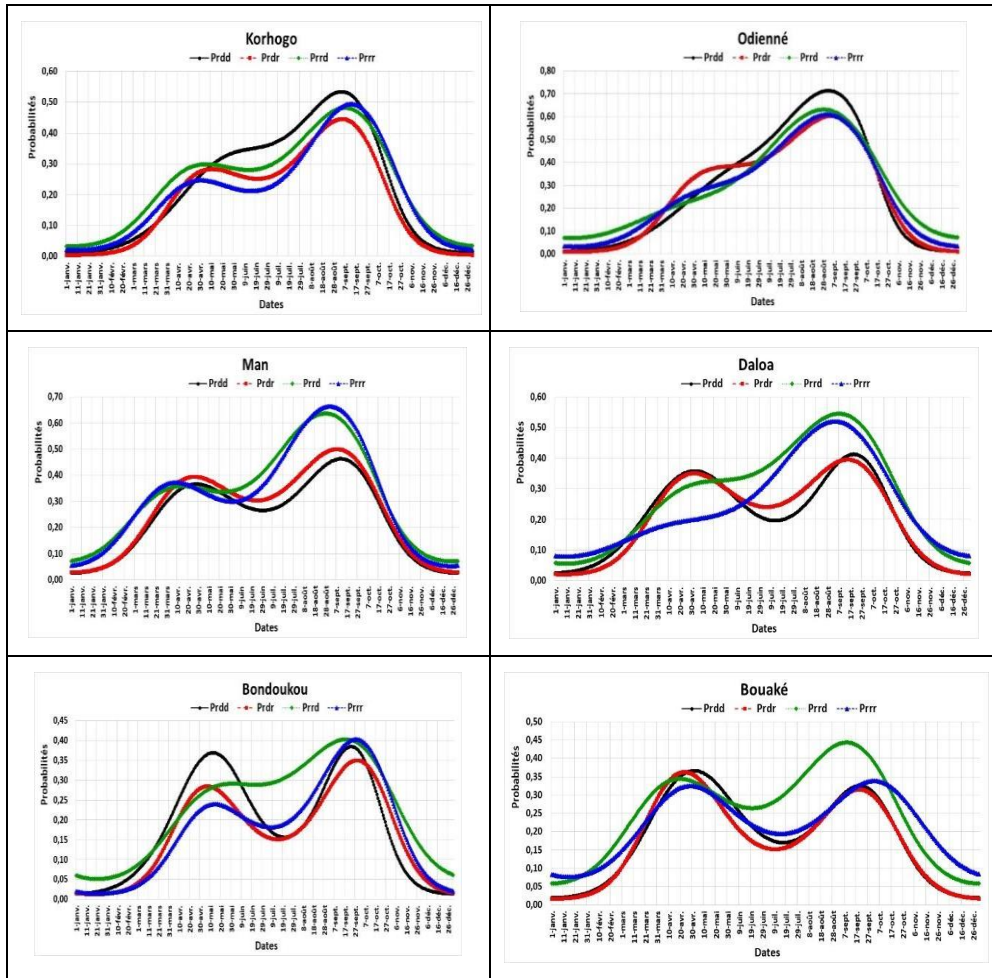


probabilités jusqu'à 0,46 en JAS et 0,41 en SON pour ce qui est des *Prr*. Les plus faibles probabilités (*Prd, Prr*) sont observées à Bondoukou et à Bouaké. La constance des probabilités de jour pluvieux au Centre de la Côte d'Ivoire sur AMJ, JAS et SON entre 0,26 et 0,38 signale le caractère transitoire de cette zone entre le régime pluviométrique bimodal et unimodal.

Au Sud ivoirien, les probabilités de jour pluvieux (*Prd, Prr*) sont plus élevées que celles du Centre au cours d'AMJ. Elles varient entre 0,35 et 0,37. En JAS, les probabilités oscillent entre 0,24 et 0,40 alors qu'en SON, elles fluctuent entre 0,28 et 0,37. Pour les trois périodes, les plus fortes probabilités sont enregistrées à Gagnoa (0,43 pour *Prr* en AMJ et JAS) tandis que les plus faibles sont à Dimbokro (0,22 pour *Prd* en JAS).

Sur le littoral de la Côte d'Ivoire, les probabilités de jour pluvieux (*Prd, Prr*) sont plus importantes en AMJ et SON qu'en JAS. Elles varient entre 0,36 et 0,48 pour AMJ et entre 0,29 et 0,46 pour SON. Ces deux périodes enregistrent le plus de pluie dans l'année sur le littoral. La ville de Tabou située dans l'extrême Sud-Ouest ivoirien enregistre les plus fortes probabilités jusqu'à 0,59 en SON pour les *Prr*.

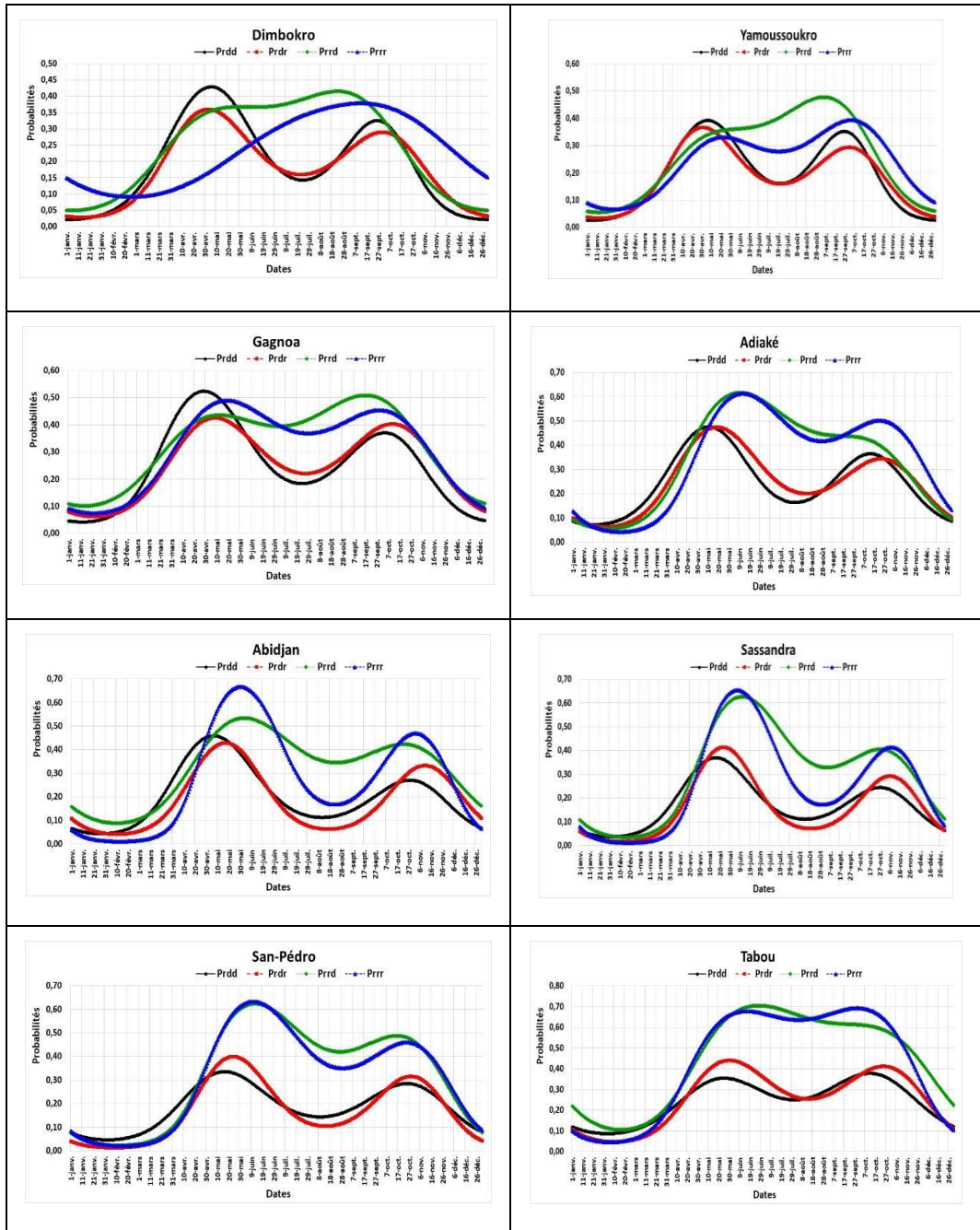
Ainsi, au cours des périodes AMJ, JAS et SON, la probabilité de jour pluvieux précédé d'un jour de pluie (*Prr*) est généralement supérieure à celle précédée d'un jour sec (*Prd*) dans toutes les zones de la Côte d'Ivoire. De plus, les probabilités (*Prd, Prr*) de la période AMJ du Nord, de l'Ouest, du Centre et du Sud fluctuent entre 0,30 et 0,37 à l'exception du littoral où elles sont élevées. Cela signifie qu'en début de saison des pluies, la probabilité de jour pluvieux est indépendante de l'état du jour précédent. En effet, le démarrage de la saison des pluies en Côte d'Ivoire se caractérise par l'entrée progressive des vents de mousson sur le continent du Sud vers le Nord suivant le mouvement de la zone de convergence intertropicale en Afrique de l'Ouest avec un saut au mois de juin tel que montré par B. Sultan et S. Janicot (2003). Par ailleurs, les *Prr* de la saison AMJ du littoral ivoirien sont plus importantes que celles des autres zones. Cela révèle que la période AMJ est plus pluvieuse et donc plus sujette à une récurrence des épisodes d'inondations au cours de ces dernières années sur le littoral ivoirien. A cet effet, L. Konaté *et al.* (2016) et B. Diarrassouba *et al.* (2022) ont souligné que les villes d'Abidjan et de San-Pédro sont exposées à des risques d'inondations. Cette catastrophe apparaît le plus souvent au cours de la période AMJ qui concentre plus de 51 % des cumuls pluviométriques annuels sur le littoral selon K. A. Coulibaly *et al.* (2019a). Les risques d'inondations augmentent lorsque les pluies continuent sur plus de deux jours. Partant, les résultats issus du processus des chaînes de Markov d'ordre 2 illustrés dans les figures 2 et 3 indiquent les probabilités des jours pluvieux selon l'état des deux jours précédents.



*Note: Evolution journalière des probabilités de jour pluvieux selon les chaînes de Markov d'ordre 2.*

Source: Nos traitements (2023)

**Figure 2.** Evolution des probabilités journalières de jour pluvieux selon les chaînes de Markov d'ordre 2 dans les localités du Nord, du Centre et de l'Ouest de la Côte d'Ivoire



*Note: Evolution journalière des probabilités de jour pluvieux selon les chaînes de Markov d'ordre 2.*

Source: Nos traitements (2023)

**Figure 3.** Evolution des probabilités journalières de jour pluvieux selon les chaînes de Markov d'ordre 2 au Sud et sur le littoral de la Côte d'Ivoire

Dans le Nord ivoirien (Korhogo et Odienné), en pleine saison des pluies (JAS), les probabilités de jour pluvieux varient en moyenne entre 0,40 et 0,70 quel que soit l'état des jours précédents. En général, les probabilités de jour pluvieux sont relativement identiques. Cependant, les *Prdd* sont légèrement supérieures aux *Prdr*, *Prrd* et *Prrr*. Cela démontre que les probabilités de jour pluvieux sont indépendantes de l'état des deux jours précédents. Ceci explique le caractère aléatoire des jours pluvieux au Nord de la Côte d'Ivoire où le régime pluviométrique est unimodal. Cette situation accentue la baisse des jours de pluie et par conséquent des quantités pluviométriques annuelles. Ce résultat est conforme à celui de K. A. Coulibaly *et al.* (2019b) qui ont montré une baisse du nombre de jours de pluie en relation avec les cumuls pluviométriques saisonniers en Côte d'Ivoire et particulièrement au Nord sur la période allant de 1951 à 2017.

A Man (Ouest de la Côte d'Ivoire) et dans les localités du Centre, du Sud et du littoral ivoiriens, les *Prrd* et *Prrr* sont supérieures aux *Prdd* et *Prdr* avec un écart très important pour les localités du littoral. Au Centre et au Sud ivoiriens, en moyenne, les *Prrd* et *Prrr* oscillent entre 0,31 et 0,38 pour la première saison des pluies (AMJ) et entre 0,32 à 0,42 pour la deuxième (SON). Sur le littoral ivoirien, elles sont en moyenne de 0,49 pour la période AMJ et de 0,54 pour SON. Ces résultats indiquent qu'il y a plus de chance qu'il pleuve après au moins un jour pluvieux au Centre, au Sud et sur le littoral de la Côte d'Ivoire.

En somme, les probabilités de jour pluvieux selon les chaînes de Markov d'ordre 2 sont supérieures à celles d'ordre 1. Cela indique qu'en Côte d'Ivoire, il y a plus de chance qu'il pleuve connaissant l'état des deux jours précédents. Par ailleurs, les probabilités de jour pluvieux sont plus élevées au Nord et sur le littoral que dans le Centre et le Sud ivoiriens. Il est plus probable qu'il pleuve après deux jours secs au Nord ivoirien à régime pluviométrique unimodal alors qu'au Centre, au Sud et sur le littoral à régime bimodal, c'est plutôt si un ou deux jours précédents sont pluvieux. Ainsi, l'analyse des probabilités de jour pluvieux selon les chaînes de Markov montrent que les localités peuvent être regroupées en trois zones qui varient selon les latitudes en Côte d'Ivoire : fortes probabilités au Nord et sur le littoral, et faibles probabilités au Centre et au Sud. Ces variations de probabilités s'alignent sur les régimes pluviométriques en Côte d'Ivoire. Ces résultats sont conformes à ceux de G. Samba et M. Mpounza (2005) qui ont montré que les valeurs des probabilités des jours pluvieux selon le caractère de la veille opposent deux domaines principaux à savoir le Sud (tropical humide) et le Nord (équatorial).

L'analyse des probabilités de jour pluvieux a révélé qu'elles sont élevées pendant les saisons pluvieuses et faibles en saisons sèches (inférieures à 0,1). Ainsi, les fortes pluies qui en résultent sur des jours consécutifs peuvent être à l'origine de risques d'inondations en Côte d'Ivoire. C'est pour cela

qu'une analyse fréquentielle des pluies extrêmes sur trois jours consécutifs pendant les saisons pluvieuses est nécessaire.

**Fréquences des pluies extrêmes sur trois jours consécutifs**

Le tableau 2 présente les statistiques des pluies extrêmes sur trois jours consécutifs pour les différentes saisons pluvieuses en Côte d'Ivoire.

**Tableau 2.** Statistiques des pluies extrêmes sur trois jours consécutifs en Côte d'Ivoire

Zone	Localité	Avril-Mai-juin (AMJ)		Juillet-Août-Septembre (JAS)		Septembre-Octobre-Novembre (SON)	
		Taux d'années (%)	Pluie extrême Date	Taux d'années (%)	Pluie extrême Date	Taux d'années (%)	Pluie extrême Date
Nord et Ouest	Korhogo	17,6	109,2 mm 11 avril 1998	<b>74,5</b>	217,3 mm 16 août 2014	23,5	152,7 mm 10 septembre 1986
	Odienné	11,5	145,6 mm 13 mai 1978	<b>84,6</b>	189,8 mm 06 août 1982	9,6	140,2 mm 13 septembre 1975
	Man	28,8	177,3 mm 10 avril 1994	<b>65,4</b>	200,2 mm 25 septembre 2013	30,8	200,2 mm 25 septembre 2013
Centre	Bondoukou	40,4	153,6 mm 22 mai 2022	<b>40,4</b>	191,5 mm 16 septembre 2021	26,9	191,5 mm 16 septembre 2021
	Bouaké	<b>38,5</b>	163,6 mm 03 juin 1972	36,5	159,3 mm 24 août 2018	23,1	142,3 mm 09 octobre 2016
	Daloa	26,9	138,5 mm 19 juin 2018	<b>58,3</b>	172,8 mm 24 août 1973	26,9	136,1 mm 08 octobre 1995
Sud	Dimbokro	<b>57,7</b>	151,9 mm 25 mai 1991	21,2	120,7 mm 26 septembre 2021	25,0	149,2 mm 11 octobre 1994
	Yamoussoukro	<b>47,9</b>	159,6 mm 04 mai 1995	33,3	165,8 mm 27 septembre 2005	29,2	165,8 mm 27 septembre 2005
	Gagnoa	<b>48,1</b>	163,6 mm 1 <sup>er</sup> mai 2014	30,8	164,4 mm 22 juillet 2007	32,7	147,9 mm 26 septembre 2005
Littoral	Adiaké	<b>69,2</b>	381,2 mm	23,1	268,9 mm 08 juillet 2022	9,6	235,6 mm 05 octobre 2007

		05 juin 1997					
Abidjan	<b>73,1</b>	337,4 mm 20 juin 1983	17,3	280,7 mm 05 juillet 1975	13,5	266,9 mm 24 octobre 1992	
Sassandra	<b>76,9</b>	570,4 mm 13 juin 2017	9,6	240 mm 09 juillet 1989	11,5	180,1 mm 10 octobre 1993	
San-Pédro	<b>67,3</b>	303,4 mm 29 mai 1982	9,6	275,8 mm 06 juillet 1989	9,6	228,2 mm 28 octobre 1987	
Tabou	<b>61,5</b>	422,3 mm 25 mai 1983	28,8	469,7 mm 06 juillet 1984	17,3	247,9 mm 27 septembre 2008	

*Note: Ce tableau résume pour chaque localité le taux des années ayant enregistré des pluies extrêmes, la plus forte valeur et la date de son occurrence. Les valeurs en gras représentent le taux d'années le plus élevé par localité.*

Source: Nos traitements (2023); données SODEXAM

Au Nord et à l'Ouest de la Côte d'Ivoire, la période JAS enregistre le plus d'années où les pluies extrêmes sont observées. Le taux d'occurrence varie entre 64,4 et 84,6 %. Les fortes pluies de 189,8 à 217,3 mm sont enregistrées entre juillet et septembre. Les périodes AMJ et SON enregistrent moins d'années ayant observées des pluies extrêmes. Leurs taux varient entre 11,5 et 28,8 % pour AMJ et entre 9,6 et 30,8 % pour SON.

Dans le Centre et le Sud ivoiriens, les pluies extrêmes sont observées sur les périodes AMJ, JAS et SON. Le taux d'années de ces pluies pour AMJ varie entre 26,9 et 57,7 %, alors qu'il est de 21,2 à 58,3 % pour JAS et de 23,1 à 32,7 % pendant la période SON. Les pluies extrêmes oscillent entre 120,7 et 191,5 mm et s'observent en mai-juin ou en août-septembre, et quelque fois en octobre. Ainsi, au Centre et au Sud de la Côte d'Ivoire, les extrêmes pluviométriques occasionnant des risques d'inondations, surviennent entre avril et novembre avec une fréquence élevée pendant les mois de mai, juin, août et septembre.

Sur le littoral de la Côte d'Ivoire, AMJ concentre entre 60 et 77 % des évènements pluvieux extrêmes pouvant atteindre 300 à 570 mm sur trois jours consécutifs pendant les mois de mai et juin. Les périodes JAS et SON enregistrent également de fortes pluies entre 180 et 469 mm en juillet ou en octobre, bien que le taux d'années d'évènements extrêmes soit faible et inférieur à 29 %. Malgré le fort taux d'années à pluie extrême enregistré en AMJ, le risque d'inondation couvre les périodes allant d'avril à novembre sur le littoral ivoirien.



Il ressort de cette analyse qu’au Nord et à l’Ouest de la Côte d’Ivoire, les pluies extrêmes sur trois jours consécutifs s’observent en JAS avec le pic en août-septembre. Dans le Centre et le Sud, les pluies extrêmes sont récurrentes de mai à octobre alors que sur le littoral, AMJ enregistre le plus d’évènements pluvieux avec une extension de l’occurrence en juillet, septembre et octobre. De plus, les pluies extrêmes sur trois jours consécutifs observées pendant les périodes pluvieuses sont apparues dans la plupart des cas après les années 1990. Cela concerne 64 % des localités pendant AMJ, 57 % en JAS et 71 % en SON. Ces résultats corroborent ceux du GIEC (2014) qui a indiqué qu’avec le réchauffement climatique, les extrêmes climatiques telles que les inondations et les sécheresses vont se multiplier et devenir plus violents.

A l’échelle de la Côte d’Ivoire, les fortes pluies extrêmes journalières sont observées sur le littoral ivoirien entre avril-mai-juin par rapport au Nord-Ouest, au Centre et au Sud. Ce qui fait que les localités du littoral sont plus vulnérables aux risques d’inondations même si aucune région de la Côte d’Ivoire n’est exempte de cette catastrophe naturelle. G. E. Soro *et al.* (2016) ont corroboré ce résultat en indiquant que les pluies journalières centennales et décennales avec les plus fortes valeurs se trouvent surtout sur le littoral, dans la zone montagneuse à l’extrême Ouest, et au Centre-Ouest de la Côte d’Ivoire. Les quantités de pluie de plus de 100 mm accentuent le risque d’inondations en Côte d’Ivoire. La détermination de la durée de retour de ces quantités de pluie extrême est importante pour connaître leur qualification.

### *Durées de retour des pluies extrêmes journalières*

Les durées de retour des pluies extrêmes journalières en Côte d’Ivoire sont calculées. Les quantités quotidiennes pour chaque période de retour sont illustrées dans le tableau 3.

**Tableau 3.** Quantités de pluie extrême journalière et leur durée de retour en Côte d’Ivoire

Zone	Localité	Durée de retour et caractérisation des pluies extrêmes journalières (mm)								
		Normale		Anormale		Très anormale		Exceptionnelle		Très exceptionnelle
		2 ans	6 ans	7 ans	10 ans	11 ans	30 ans	31 ans	100 ans	101 ans
Nord et Ouest	Korhogo	68,8	94,6	97,8	105,2	107,1	127,1	127,8	150,6	150,8
	Odienné	69,5	93,1	96,1	102,8	104,6	122,8	123,4	144,3	144,5
Centre	Man	78,4	102,5	105,6	112,4	114,2	132,9	133,5	154,9	155,0
	Bondoukou	70,1	97,3	100,8	108,5	110,6	131,7	132,4	156,5	156,7
	Bouaké	68,3	89,5	92,2	98,2	99,8	116,3	116,8	135,6	135,8
Sud	Daloa	77,3	99,3	102,1	108,4	110,0	127,1	127,6	147,1	147,3
	Dimbokro	72,8	94,7	97,4	103,7	105,3	122,2	122,8	142,1	142,3
	Yamoussoukro	75,8	98,7	101,6	108,1	109,8	127,6	128,1	148,4	148,6
	Gagnoa	77,8	105,1	108,5	116,3	118,3	139,5	140,1	164,3	164,5



	Adiaké	116,9	165,9	172,0	186,0	189,7	227,5	228,8	272,1	272,5
	Abidjan	124,0	168,4	174,0	186,6	189,9	224,3	225,4	264,6	265,0
Littoral	Sassandra	113,3	162,0	168,1	182,0	185,7	223,4	224,7	267,8	268,2
	San-Pédro	116,2	151,7	156,2	166,3	169,0	196,5	197,4	228,9	229,2
	Tabou	153,4	208,8	215,7	231,5	235,7	278,6	279,9	329,0	329,4

*Note: Ce tableau résume les quantités calculées de pluie extrême selon les durées de retour et leur qualification.*

Source: Nos traitements (2023)

L'analyse des durées de retour montre que les quantités de pluie extrême journalière inférieures à 100 mm sont normales au Nord, au Centre et au Sud de la Côte d'Ivoire. Leurs durées de retour sont moins de six ans. Les quantités de pluie supérieures à 100 mm ont une durée de retour moyenne de sept à dix ans et sont qualifiées de pluies anormales. Les pluies deviennent exceptionnelles lorsqu'elles dépassent en moyenne 110 à 120 mm sauf à Man et Gagnoa où les seuils se situent à environ 130 à 140 mm. Selon K. N. Boko *et al.* (2013), les enregistrements du Bureau de la coordination des affaires humanitaires des Nations Unies (OCHA) indiquent des cas d'inondation dans le Nord de la Côte d'Ivoire, notamment à Korhogo en 2006 et 2007 où de nombreux dégâts matériels et humains, ainsi que des destructions d'infrastructures routières ont été signalés. Les quantités de pluie extrême journalière sur trois jours consécutifs observées à la station synoptique de Korhogo étaient de 55,9 mm le 23 septembre 2006 et de 58,6 mm le 23 juillet 2007 selon les relevés de la Société d'exploitation et de développement Aéroportuaire, aéronautique et Météorologique (SODEXAM). Ainsi, ce sont des pluies normales avec une durée de retour inférieure à six ans qui ont causées ces dégâts en 2006 et 2007.

Sur le littoral ivoirien, les quantités de pluie sont élevées. Seules, les valeurs de plus de 220 mm sont considérées comme des pluies exceptionnelles sauf à San-Pédro où le seuil est d'environ 197 mm. Ainsi, les quantités de pluie enregistrées dans les communes du District Autonome d'Abidjan le 19 juin 2018 ont fait de nombreux dégâts matériels et humains selon les rapports de l'Office National de la Protection Civile et de RCI (2019). Ces cumuls pluviométriques ont varié entre 130 et 302 mm comme indiqué par la SODEXAM (2019). Partant, ce sont des pluies normales à l'exception de la quantité de pluie de 302 mm enregistrée dans la commune de Cocody qui a été très exceptionnelle avec une durée de retour de plus de 100 ans. Par ailleurs, au cours de ces dernières années, les cas d'inondations enregistrés en Côte d'Ivoire, notamment à Abidjan, Aboisso, San-Pédro, Bouaké et Toulepleu, sont survenues avec des pluies journalières inférieures à 150 mm. Sur le littoral, ce sont des pluies normales car les durées de retour restent inférieures à six ans. Ces résultats sont conformes avec ceux de K. M. Kouassi *et al.* (2021) qui ont montré que le seuil de pluie normale dans le bassin de la Bia au

Sud-Est de la Côte d'Ivoire est de 103 mm malgré les cas d'inondations enregistrés dans la région entre 2001 et 2015. De plus, ces auteurs ont utilisé des données de 1941 à 2000. Par conséquent, la présente étude allant de 1971 à 2022 est une actualisation des études antérieures.

Il ressort donc que les inondations enregistrées en Côte d'Ivoire sont occasionnées par des pluies normales, anormales et quelques rares fois exceptionnelles. Partant, ces inondations ne sont pas le fait seulement d'extrême pluviométrique. Des facteurs environnementaux et humains comme l'occupation du sol (constructions anarchiques), la topographie, l'obstruction des voies d'eau pluviale peuvent également en être des causes. H. Hangnon *et al.* (2015) ont abouti à des conclusions similaires à Ouagadougou (Burkina Faso) en indiquant que l'urbanisation mal maîtrisée et l'accroissement de la population augmentent la vulnérabilité de la ville aux risques d'inondations.

## **Conclusion**

Cette étude a permis, à travers l'utilisation de méthodes statistiques d'analyse des pluies journalières, de montrer la relation entre la persistance des séquences pluvieuses et les extrêmes pluviométriques qui sont à la base des risques d'inondations en Côte d'Ivoire. En effet, pendant les saisons des pluies, la probabilité pour qu'il pleuve est liée à l'état d'un ou des deux jours précédents. La succession des jours pluvieux constitue des moments de vigilance et de veille pour la population. En effet, les sols se saturent rapidement d'eau, entraînant ainsi une accélération du ruissellement des eaux pluviales et les risques d'inondations. Les pluies exceptionnelles sont des causes de la survenue des inondations en Côte d'Ivoire. Cependant, les pluies normales à durée de retour inférieure à six ans occasionnent des risques d'inondations pendant les saisons pluvieuses. Les périodes Avril-Mai-Juin, Juillet-Août-Septembre et Septembre-Octobre-Novembre concentrent les pluies extrêmes journalières respectivement sur le littoral et Sud, le Centre et le Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire. Les décideurs et autres acteurs en charge de la réduction des risques de catastrophes pourront exploiter ces résultats pour approfondir les connaissances sur les séquences pluvieuses et les extrêmes pluviométriques occasionnant les risques d'inondations. De plus, les plans stratégiques de prévention et de gestion des risques d'inondations pourront être actualisés à l'échelle de la Côte d'Ivoire dans ce contexte mondial de changement climatique.

## **Remerciements**

Les auteurs remercient sincèrement la Direction de la Météorologie Nationale sise à la Société d'Exploitation et de développement Aéroportuaire aéronautique et Météorologique (SODEXAM) de Côte d'Ivoire pour la mise

à disposition des données pluviométriques journalières des 14 stations synoptiques de 1971 à 2022.

**Disponibilité des données :** Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

**Déclaration de financement:** Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour la réalisation de cette recherche.

**Conflit d'intérêts:** Les auteurs signalent qu'il n'y a aucun conflit d'intérêts pour cette étude.

### Références:

1. ALLÉ C. S. Ulrich Y., AFOUDA A. Abel, AGBOSSOU K. Euloge, & GUIBERT Hervet (2013). Évolution des Descripteurs Intrasaisonniers des Saisons Pluvieuses Au sud-Bénin Entre 1951 et 2010. *American Journal of Scientific Research*, Issue 94, November 2013, pp. 55-68.
2. BOKO Koiadia Nadège, CISSÉ Guéladio, KONÉ Brama, & DEDY Séri (2013). Variabilité climatique et changements dans l'environnement à Korhogo en Côte d'Ivoire : mythes ou réalité? *Conférence internationale Africa 2013 sur l'Ecosanté*, 15p.
3. COULIBALY Kolotioloma Alama, DIBI-KANGAH Pauline Agoh, DJÈ Kouakou Bernard, & KOLI Bi Zuéli (2019a). Détection de structures pluviométriques spatio-temporelles homogènes en Côte d'Ivoire sur la période 1951-2017. *Revue de Géographie, d'Aménagement Régional et de développement des Suds (Regardsuds)*. Abidjan, Côte d'Ivoire, pp. 49-64.
4. COULIBALY Kolotioloma Alama, DIBI-KANGAH Pauline Agoh, & KOLI Bi Zuéli (2019b). Variations interannuelles récentes des paramètres climatiques majeurs en Côte d'Ivoire depuis 1951. *Climat et Développement*, N°26, Cotonou, Bénin, pp. 5-16.
5. DIARRASSOUBA Bazoumana, YAPI Atsé Calvin, & KOUADIO Williams Abel (2022). Occupation des Zones à Risques à San-Pedro (Côte d'Ivoire): Entre Laxisme des Autorités et Insouciance des Populations. *European Scientific Journal (ESJ)*, 18 (26), pp. 46-69. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n26p46>.
6. DIBI-ANO H Pauline Agoh, & COULIBALY Kolotioloma Alama, (2022). Services climatiques et agriculture durable en Côte d'Ivoire. *Collection FLE/FLA*. Décembre 2022, pp. 131-144.
7. EBA Anowa Evrade Larissa, AKE Gabriel Etienne, GOUADOU D'avila Françoise, & JOURDA Jeanpatrice (2021). Evaluation de la Vulnérabilité à l'Inondation des Communes à Proximité des Grandes

- Villes Ouest Africaines : Cas de la Commune de Bingerville (Est d'Abidjan - Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal (ESJ)*, 17(14), pp. 277-299. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n14p277>.
8. GIEC, Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (2014). *Changements climatiques 2014 : Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R. K. Pachauri et L. A. Meyer]. GIEC, Genève, Suisse, 161p.
  9. HANGNON H., DE LONGUEVILLE F., & OZER P. (2015). Précipitations extrêmes et inondations à Ouagadougou : quand le développement urbain est mal maîtrisé. *XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, 1-4 juillet 2015, Liège, pp. 497-502.
  10. INS-RGPH, Institut National de la Statistique-Recensement Général de la Population et de l'Habitat (2021). *RGPH 2021-Résultats globaux*, Abidjan, Côte d'Ivoire, 37p.
  11. KONATÉ Lassina, KOUADIO Boyossoro Hélène, DJÈ Bernard Kouakou, AKÉ Gabriel Etienne, N'GUESSAN Bi Vami Herman, GNAGNE Lornge, KOUAMÉ ÈMoïse Koffi, & BIÉMI Jean (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*, Vol. 17 No. 3 Aug. 2016, pp. 990-1003.
  12. KOUASSI Amani Michel, NASSA Relwindé Abdoul-Karim, YAO Koffi Blaise, KOUAMÉ Koffi Fernand, & BIÉMI Jean (2018). Modélisation statistique des pluies maximales annuelles dans le district d'Abidjan (sud de la Côte d'Ivoire). *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 31(2), pp. 147-160. <https://doi.org/10.7202/1051697ar>.
  13. KOUASSI K. Maturin, MELEDJE N. Herman, AHOUSSE K. Ernest, KOUASSI K. Lazare, KOFFI Y. Blaise, OGA Y. Marie Solange, BIÉMI Jean, & SORO Nagnin (2021). Nature des événements pluviométriques sur le bassin versant de la rivière Bia en Côte d'Ivoire. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 34 No 1, Oct. 2021, pp. 1-6.
  14. MEDDI Hind, & MEDDI Mohamed (2009). Variabilité des précipitations annuelles du Nord-Ouest de l'Algérie. *Sécheresse*, vol. 20, n° 1, janvier-février-mars 2009, pp. 57-65.
  15. MELEDJE N'Diaye Hermann, KOUASSI Kouakou Lazare, N'GO Yao Alexis, & SAVANÉ Issiaka (2015). Caractérisation des

- occurrences de sécheresse dans le bassin hydrologique de la Bia transfrontalier entre la Côte d'Ivoire et le Ghana : contribution des chaînes de Markov. *Cah. Agric*, Vol. 24, pp. 186-197. doi : 10.1684/agr.2015.0755.
16. NDABALISHYE Ildefonse (1995). *Agriculture vivrière ouest-africaine à travers le cas de la Côte d'Ivoire*. IDESA, Abidjan, Côte d'Ivoire, 383p.
  17. RCI, République de Côte d'Ivoire (2019). *Évaluation des pertes, dommages et besoins suite aux inondations de juin 2018 à Abidjan*. Côte d'Ivoire, Abidjan, Avril 2019, 220p.
  18. REDELSPERGER Jean-Luc, DIEDHIOU A., FLAMANT C., JANICOT S., LAFORE J.-P., LEBEL T., POLCHER J., BOURLES B., CANIAUX G., DE ROSNAY P., DESBOIS M., EYMARD L., FONTAINE B., GENEAU I., GINOUX K., HOEPFFNER M., KANE C., LAW K., MARI C., MARTICORENA B., MOUGIN E., PELON J., PEUGEOT C., *et al.* (2006). Amma, une étude multidisciplinaire de la mousson ouest-africaine. *La Météorologie* - n° 54 - août 2006, pp. 22-32.
  19. SAMBA Gaston, & MPOUNZA Marcel (2005). Application du processus de Markov sur les occurrences des précipitations journalières au Congo-Brazzaville. *Comptes Rendus Geoscience*, Volume 337, Issue 15, pp. 1355-1364.
  20. SODEXAM, Société D'EXploitation et de développement Aéroportuaire, aéronautique et Météorologique, (2019). *État du climat de l'année 2018 en Côte d'Ivoire*. Abidjan, Février 2019, Côte d'Ivoire, 64p.
  21. SORO Gneneyougo Émile, DAO Amidou, FADIKA Vamoryba, GOULA Bi Tié Albert, & SROHOROU Bernard (2016). Estimation des pluies journalières extrêmes supérieures à un seuil en climat tropical : cas de la Côte d'Ivoire. *Physio-Géo* (En ligne), Volume 10, mis en ligne le 19 août 2016, consulté le 15 septembre 2023.
  22. SORO Nambegue, ZEHE Frank Monnean, & SROHOUROU Bernard (2021). Variation des probabilités d'occurrence des séquences sèches dans la bande centrale de la Côte d'Ivoire au cours d'une saison pluvieuse : cas du département de Bouaké (Centre de la Côte d'Ivoire). *GENERIS Publishing (Changement Climatique en Afrique Subsaharienne : de la Vulnérabilité à l'Adaptation)*, pp. 80-90.
  23. SULTAN Benjamin, & JANICOT Serge (2003). The West African monsoon dynamics. Part II: The pre-onset and the onset of the summer monsoon. *J. Climate*, 16, pp. 3407-3427.
  24. TRAORE Kinakpefan Michel (2023). Évaluation du risque d'inondation par intégration du SAGA Wetness Index (SAGAWI) et

de l'Analyse Hiérarchique des Procédés (AHP) : cas du District Autonome d'Abidjan. *Belgeo*, 1, 2023, consulté le 12 janvier 2024, 24p, DOI : <https://doi.org/10.4000/belgeo.60310>.