

Détection de structures pluviométriques spatio-temporelles homogènes en Côte d'Ivoire sur la période 1951-2017

Auteur

4 mars 2022

0

455

¹Kolotioloma Alama COULIBALY, ²Pauline Agoh DIBI-KANGAH, ³Kouakou Bernard DJË, ⁴Zuéli KOLI BI

Français

Anglais

Résumé

La présente étude a pour but d'identifier de structures pluviométriques homogènes en Côte d'Ivoire à partir des données de la période 1951-2017 et de proposer une lecture spatiale. Les données de pluie mensuelle de 36 postes d'observation de la Société d'Exploitation et de développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM) de Côte d'Ivoire ont été utilisées. Deux méthodes d'analyse multidimensionnelle des données ont été appliquées. Ce sont le régime pluviométrique et l'Analyse en Composante Principale (ACP). Les résultats montrent qu'il y a cinq structures spatiales pluviométriques homogènes en Côte d'Ivoire. Les zones Nord et Nord-ouest présentent un régime pluviométrique unimodal (une seule saison pluvieuse) tandis que les zones Centre-est, Sud-ouest et Littoral sont caractérisées par un régime bimodal (deux saisons pluvieuses). Les coefficients de variation pluviométrique de ces cinq zones sont faibles et varient de 9,6% au Centre-est jusqu'à 19,7% à l'Ouest. Ces zones homogènes pourront être utilisées pour les études climatologiques en Côte d'Ivoire.

Mots clés : Côte d'Ivoire, pluie, structure, zone, homogène.

INTRODUCTION

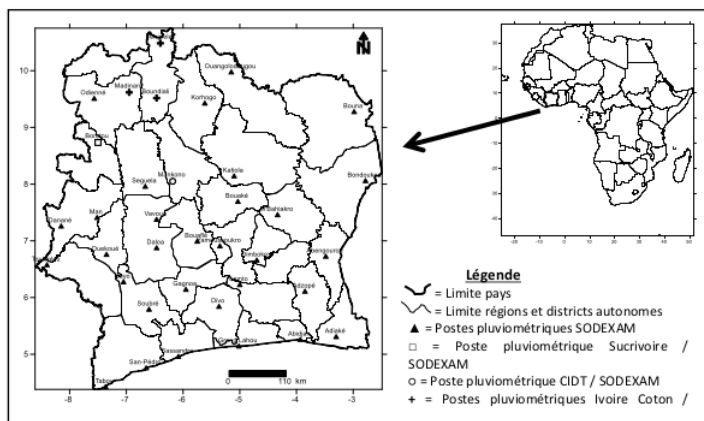
La pluviométrie présente une grande variabilité en Afrique de l'Ouest et notamment en Côte d'Ivoire (E. Servat *et al.*, 1999, p. 371 ; B. Sultan et S. Janicot, 2004, p. 1 ; S. Bigot *et al.*, 2005, p. 9; P. A. Dibi Kangah, 2010, p. 103). Cette variation se manifeste par des hausses et des baisses significatives des quantités de pluie par rapport à une période de référence (OMM, 2011 p. 78 ; C. S. Dekoula *et al.*, 2018, p. 149). Les décennies 50 et 60 sont considérées comme les périodes pluvieuses en Côte d'Ivoire et par la suite une baisse généralisée des pluies pour l'ensemble des zones savaniques et forestières ivoiriennes ont commencé à apparaître dès le début des années 1970 (E. Servat *et al.*, 1999, p. 378; S. Bigot *et al.*, 2005, p. 7). Ces modifications pluviométriques souvent marquées par des baisses relativement brutales des cumuls annuels se ressentent au niveau national dans un contexte de changement climatique à l'échelle mondiale. Ainsi, la pluviométrie

présente un intérêt majeur comme signature au-delà de son apport pour la définition du climat. Sa régionalisation s'avère très utile dans de nombreuses applications où il est nécessaire de minimiser la variabilité spatiale du paramètre analysé (J.-L. Champeaux et A. Tamburini, 1996, p. 45; A. Madjerab et L. Henia, 2005, p. 2). De plus, l'identification de sous-régions ou zones climatiques correspondant à des régimes climatiques particuliers est un point essentiel dans la compréhension du climat local (J. Guiot, 1986, p. 15). En Côte d'Ivoire, des zones pluviométriques ont été déterminées depuis les années 1970 (ASECNA, 1979, p. 15 ; T. A. Goula Bi *et al.*, 2010, p. 6011). Cependant, vu le caractère aléatoire et variable de la pluie, il est indispensable d'actualiser ces zones pluviométriques en prenant en compte les récentes observations pluviométriques. C'est pour cela que le présent travail a pour objectif d'identifier de structures spatio-temporelles pluviométriques homogènes sur la période 1951- 2017 en Côte d'Ivoire. Ces structures homogènes vont définir le zonage pluviométrique de la Côte d'Ivoire pour une lecture spatiale.

1. Présentation de la zone d'étude

La Côte d'Ivoire, pays de l'Afrique de l'Ouest, est située entre les latitudes 4° et 11° Nord et les longitudes 2° et 9° Ouest (Fig. 1). Elle couvre une superficie de 322 462 km² avec une population d'environ 22 671 331 habitants (INS-RGPH, 2014, p. 12). Elle est limitée à l'Ouest par le Libéria et la Guinée, au Nord par le Mali et le Burkina Faso, à l'Est par le Ghana et au Sud par l'océan Atlantique.

Carte 1: Localisation de la Côte d'Ivoire avec les différents postes pluviométriques



La Côte d'Ivoire présente deux principales zones climatiques superposables aux deux types de paysages originels que sont (I. Ndabalishye, 1995, p. 47) : (i) la savane et forêt claire au Nord avec un climat de type tropical subhumide à sec (soudanais) qui comporte une saison sèche et une saison des pluies. La saison pluvieuse est centrée sur la période juillet-août-septembre. Le maximum de pluie de cette saison est atteint en août ou septembre ; (ii) la forêt dense et humide au Sud avec un climat de type tropical humide (guinéen), comporte deux saisons des pluies et deux saisons sèches. La première saison pluvieuse située entre avril et juillet est la plus longue et la plus intense. La deuxième saison des pluies plus courte couvre la période allant de septembre à novembre.

2. Données et méthodes

2.1. Données pluviométriques d'observation et leur état

Les données pluviométriques de 36 postes d'observation de la Côte d'Ivoire sur la période 1951-2017 ont été utilisées (Fig. 1). Les postes d'observation pour la plupart, appartiennent au parc de la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique /

Direction de la Météorologie Nationale (SODEXAM/ DMN). Des données pluviométriques de quelques postes du nord de la Côte d'Ivoire sur la période 2002 à 2017 ont été acquises auprès des structures telles que la Compagnie Ivoirienne pour le Développement des Textiles (CIDT), Ivoire Coton et Sucrivoire. Les postes de la présente étude ont été retenus à cause de la régularité des observations sur la période d'étude. De plus, les stations synoptiques au nombre de 14 (Abidjan, Adiaké, Bondoukou, Bouaké, Daloa, Dimbokro, Gagnoa, Korhogo, Man, Odienné, Sassandra, San-Pedro, Tabou, Yamoussoukro) fonctionnant 24 heures sur 24 constituent un atout dans la constitution de la base de données de l'étude car ces postes disposent d'observations régulières et homogènes sur la période d'étude. L'ensemble des postes présente une couverture homogène nationale de 94% des régions et districts de la Côte d'Ivoire. Ainsi, ces 36 postes permettent d'obtenir des résultats représentatifs pour l'ensemble du territoire ivoirien.

L'état de la disponibilité des données pluviométriques journalières sur la période 1951-2017 a montré que les stations synoptiques présentent un taux de données manquantes quasi nul, à l'exception de Korhogo, Odienné, Bouaké et Man où le taux de données manquantes oscille entre 14,8 et 20,3%. Au niveau des autres postes, le taux de données manquantes varie de 0,6% à Mankono jusqu'à 33% à Séguéla. Ainsi, dans le but d'avoir des séries pluviométriques homogènes et longues pour cette étude, des valeurs manquantes ont été comblées par la méthode de régression linéaire en utilisant les données pluviométriques de Africa Rainfall Climatology 2.0 (ARC2TM) estimées par le satellite de la National Oceanic and Atmospheric Administration ou NOAA (P. Xie et P. A. Arkin, 1996, p. 843 ; N. S. Novella et W. M. Thiaw, 2013, p. 590). Les coefficients de corrélation entre les données pluviométriques de ARC2TM et celles de la SODEXAM sur la période 1996-2000 varient entre 0,25 et 0,82. Les stations synoptiques présentent les plus grands coefficients de corrélation oscillant entre 0,60 à Bouaké et 0,82 à Odienné.

Il faut signaler que les données pluviométriques de la période d'étude allant de 1951 à 2017 n'ont été disponibles qu'en 2018.

2.2. Méthodes de traitement et analyse

La recherche de structures spatiales pluviométriques homogènes repose sur la constitution d'une matrice de données de pluie de 36 postes (ou variables) et de 67 années (ou individus) allant de 1951 à 2017. Deux approches d'analyse multidimensionnelle des données ont été appliquées. Il s'agit du régime pluviométrique (J. Rodier, 1964, p. 11) et de l'Analyse en Composante Principale ou ACP (P. Dagnélie, 1984, p. 129 ; M. Guerrien, 2003, p. 182 ; J. Ahattab *et al.*, 2015, p. 18). Au niveau du régime pluviométrique, les moyennes de pluie mensuelle de la période 1951-2017 ont été calculées. La contribution des mois de la saison pluvieuse au cumul pluviométrique annuel a été appliquée aussi. L'analyse des graphes et des contributions a permis de déterminer les types de régime (unimodal ou bimodal) des postes. En ce qui concerne la méthode de l'ACP, les cumuls pluviométriques annuels des postes ont été calculés puis soumis à cette méthode. Une rotation varimax a été appliquée aux axes principaux. Les seuils de signification statistique utilisés pour déterminer le nombre de composantes principales sont donnés par le scree-test (R. B. Cattell, 1966, p. 245). Ce test stipule que seules les composantes principales dont les valeurs propres sont supérieures à 1 devraient être conservées. La cartographie des coefficients de corrélation et des hauteurs de pluie des stations ont mis en évidence de structures spatiales cohérentes. Ainsi, des zones ont été définies sur la base de la covariabilité pluviométrique (Y. Richard *et al.*, 1998, p. 33 ; J. Ahattab *et al.*, 2015, p. 18). Le coefficient de variation des pluies de chaque structure spatiale a été également calculé à partir de la formule suivante :

$$CV \text{ (en \%)} = \frac{\sigma}{M} \times 100$$

Avec: CV = coefficient de variation de la pluie par zone homogène; σ = Ecart type des pluies de la zone homogène; M = moyenne pluviométrique de la zone homogène.

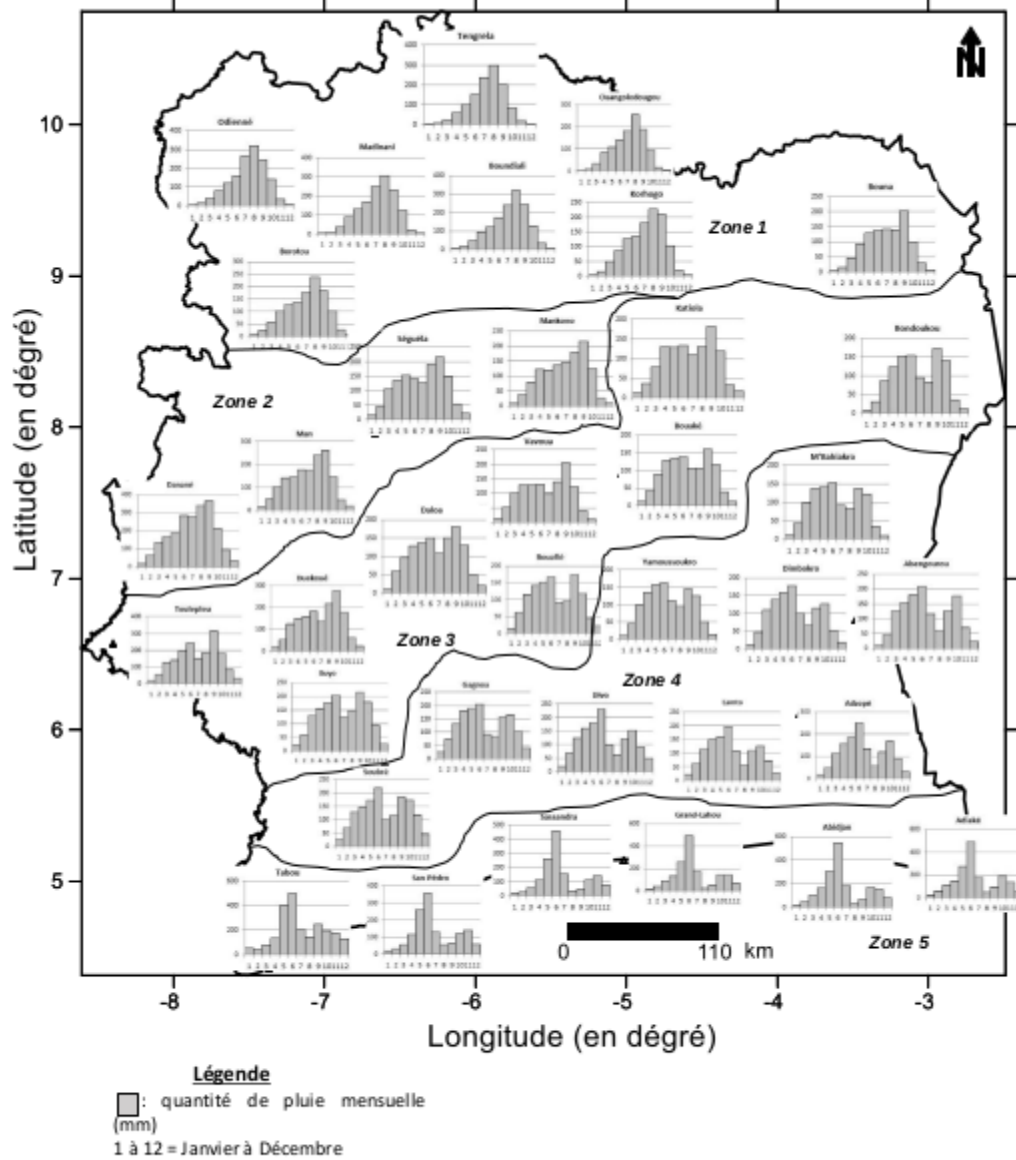
3. Résultats de la discussion

3.1. Régimes pluviométriques en Côte d'Ivoire

L'évolution des quantités de pluie mensuelles moyennes sur la période 1951-2017 des postes sont illustrées dans la figure 2. Cette évolution des quantités de pluie indique le régime pluviométrique. Des zones pluviométriques homogènes se dégagent en fonction du nombre de maximum pluviométrique, du mois où ce maximum est observé et de la contribution de ce maximum au cumul pluviométrique annuel. Ainsi, du Nord au Sud de la Côte d'Ivoire, cinq zones pluviométriques ont été identifiées selon le régime pluviométrique. Il est à noter que les limites entre ces zones doivent être considérées comme des zones de transition.

La zone 1 située au nord ivoirien est caractérisée par un seul maximum pluviométrique observé généralement en août, excepté la localité de Bouna où le maximum est enregistré en septembre. La quantité de pluie du mois d'août de la zone représente en moyenne 21,1% du cumul pluviométrique annuel (Tableau 1). Les mois de juin, juillet, août et septembre sont les plus pluvieux de la zone car ils enregistrent 11 à 23% du cumul pluviométrique annuel. Cette zone est composée des postes de Borotou, Bouna, Boundiali, Korhogo, Madinani, Odienné, Ouangolodougou et Tengréla. C'est une zone à régime unimodal, c'est-à-dire une seule saison pluvieuse dans l'année.

Carte 2 : Régime pluviométrique des postes de la Côte d'Ivoire sur la période 1951-2017



Source : Données de NOAA, 2018 ; SODEXAM, 2018 ; Nos traitements, 2018

Postes	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre
Borotou	8,7	10,8	11,7	15,0	20,1	15,4	8,7	2,4
Bouna	8,9	12,3	13,3	13,4	13,4	19,4	9,4	2,9
Boundiali	6,5	8,5	12,0	17,1	22,8	17,1	9,2	2,2
Korhogo	7,4	10,8	11,8	15,4	19,5	18,2	8,7	1,8
Madinani	6,5	9,4	12,2	17,9	22,2	16,8	9,1	1,6
Odienné	5,6	8,4	11,3	18,5	22,2	17,1	9,8	2,6
Ouangolodougou	7,3	9,8	12,7	16,4	22,8	16,8	8,5	1,5
Tengréla	4,8	8,2	12,3	19,5	25,4	16,8	7,0	1,7
Moyenne zone	7,0	9,8	12,2	16,7	21,1	17,2	8,8	2,1

En gras = contribution mensuelle la plus élevée

Tableau 1: Contribution (en %) des mois pluvieux aux cumuls pluviométriques annuels pendant la saison pluvieuse des postes de la zone 1 au nord de la Côte d'Ivoire

La zone 2 localisée au centre-nord de la Côte d'Ivoire comprend les postes de Danané, Man, Mankono et Séguéla (Tableau 2). Elle se caractérise par un maximum principal en septembre pour tous les postes, signe d'un régime unimodal. Le mois le plus pluvieux représente en moyenne 17,1% du cumul pluviométrique annuel. Les mois d'août, septembre et octobre enregistrent plus de 10% du cumul pluviométrique annuel à Mankono et Séguéla. Cependant, pour les localités de la partie ouest ivoirienne (Man et Danané) les mois de juin à septembre sont les plus pluvieux avec une contribution pluviométrique annuelle de 11 à 17%.

Postes	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre
Danané	7,8	8,8	13,1	13,0	15,7	16,8	9,8	4,3
Man	9,4	9,7	11,7	11,3	15,8	17,1	9,6	3,1
Mankono	10,1	9,9	11,2	12,1	14,8	17,7	10,3	2,2
Séguéla	10,2	11,6	11,0	9,8	14,8	16,7	11,4	4,1
Moyenne	9,4	10,0	11,8	11,6	15,3	17,1	10,3	3,4

En gras = contribution mensuelle la plus élevée

Tableau 2: Contribution (en %) des mois pluvieux aux cumuls pluviométriques annuels pendant la saison pluvieuse des postes de la zone 2 au centre-nord de la Côte d'Ivoire

La zone 3 située au centre ivoirien regroupe les postes de Bondoukou, Bouaflé, Bouaké, Buyo, Daloa, Duékoué, Katiola, Toulepleu et Vavoua (Tableau 3). Le maximum de pluie est observé dans le mois de septembre qui représente en moyenne 16% du cumul annuel. Celui du mois de juin ne représente que 12,9% du cumul annuel. C'est une zone de transition entre les régimes unimodal et bimodal. Elle était autrefois considérée comme une zone à régime bimodal (ASECNA, 1979, p. 15; T. A. Goula Bi *et al.*, 2010, p. 6011), mais de nos jours c'est un régime unimodal qui semble s'installer dans la zone.

Postes	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre
Bondoukou	11,5	13,7	14,1	8,7	7,6	15,7	12,8	3,2
Bouaflé	11,7	12,5	13,9	7,5	8,2	14,5	9,8	3,9
Bouaké	11,8	12,4	12,7	9,7	9,9	14,7	10,7	3,5
Buyo	10,2	11,6	13,4	8,0	9,7	14,1	11,7	6,1
Daloa	10,4	11,2	12,4	8,9	12,3	14,9	10,7	4,1
Duékoué	9,5	9,9	11,9	8,6	13,7	17,8	11,2	3,9
Katiola	11,7	11,6	12,1	9,9	11,8	16,3	10,8	3,0
Toulepleu	8,0	11,3	14,3	9,0	10,9	18,3	10,6	4,9
Vavoua	10,8	10,6	11,0	8,4	12,3	18,0	10,4	3,5
Moyenne	10,6	11,6	12,9	8,7	10,7	16,0	11,0	4,0

En gras = contribution mensuelle la plus élevée

Tableau 3: Contribution (en %) des mois pluvieux aux cumuls pluviométriques annuels pendant la saison pluvieuse des postes de la zone 3 au centre de la Côte d'Ivoire

La zone 4 située dans le sud de la Côte d'Ivoire comprend les postes d'Abengourou, Adzopé, Dimbokro, Divo, Gagnoa, Lamto, M'Bahiakro, Soubré et Yamoussoukro. Elle est caractérisée par deux maximas pluviométriques dans l'année. Le premier au mois de juin plus important, représente en moyenne 15,8% du cumul annuel. Le second dans le mois de septembre ou octobre, correspond en moyenne 11% du cumul pluviométrique annuel (Tableau 4). Cette zone présente un régime pluviométrique bimodal. Cela signifie qu'il y a deux saisons pluvieuses dans l'année.

Postes	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre
Abengourou	11,9	13,9	16,1	9	4,6	9,7	13,7	5,4
Adzopé	11,5	13,4	18,2	9,7	4,1	8,7	12,2	6,7
Dimbokro	12,4	14,1	15,8	8,8	5,8	10,2	11,3	4,8
Divo	12,4	13,9	18,0	7,6	4,5	9,2	11,8	6,9
Gagnoa	12,5	12,9	14,3	6,5	5,7	10,8	11,5	7,2
Lamto	12,4	13,3	16,5	9,0	4,7	9,2	10,6	6,0
M'Bahiakro	13,0	13,2	14,3	8,6	7,8	13,0	11,3	3,3
Soubré	10,0	11,6	14,8	6,8	7,6	12,3	11,8	7,6
Yamoussoukro	11,8	13,6	14,2	9,6	8,1	12,7	10,7	4,5
Moyenne	12,0	13,3	15,8	8,4	5,9	10,6	11,7	5,8

En gras = contribution mensuelle la plus élevée

Tableau 4: Contribution (en %) des mois pluvieux aux cumuls pluviométriques annuels pendant la saison pluvieuse des postes de la zone 4 du sud de la Côte d'Ivoire

La zone 5 située sur le littoral de la Côte d'Ivoire abrite les postes d'Adiaké, Abidjan, Grand-Lahou, San-Pedro, Sassandra et Tabou. Ces postes sont caractérisés par deux maximas de pluie dans l'année. Le premier dans le mois de juin représente en moyenne 27,4% du cumul pluviométrique annuel et le second en octobre ou novembre qui représente environ 9% du cumul annuel (Tableau 5). C'est une zone à régime bimodal.

Postes	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre
Adiaké	8,0	14,7	26,6	9,7	2,8	5,4	10,7	7,6
Abidjan	8,8	16,1	29,2	9,7	1,7	3,5	9,2	8,2
Grand-Lahou	8,0	15,8	30,2	10,4	1,8	3,3	9,0	8,8
San-Pedro	8,0	18,1	25,5	9,2	3,9	4,3	8,9	10,0
Sassandra	7,3	17,1	30,9	10,3	2,2	3,2	7,6	9,3
Tabou	5,7	17,0	21,9	9,1	6,2	10,7	8,6	7,6
Moyenne	7,6	16,5	27,4	9,7	3,1	5,1	9,0	8,6

En gras = contribution mensuelle la plus élevée

Tableau 5 : Contribution (en %) des mois pluvieux aux cumuls pluviométriques annuels pendant la saison pluvieuse des postes de la zone 5 du littoral de la Côte d'Ivoire

3.2. Structures spatiales de covariabilité pluviométrique

L'Analyse en Composante Principale (ACP) a permis de déterminer les pourcentages de variance, la distribution des postes dans les plans factoriels et les niveaux de corrélation selon les axes. Les valeurs propres et les pourcentages des variances des six premières composantes principales (ou axes ou facteurs) ainsi que les variances cumulées sont résumées dans le tableau 6.

Tableau 6: Valeurs propres et pourcentage des variances pour les six premières composantes principales

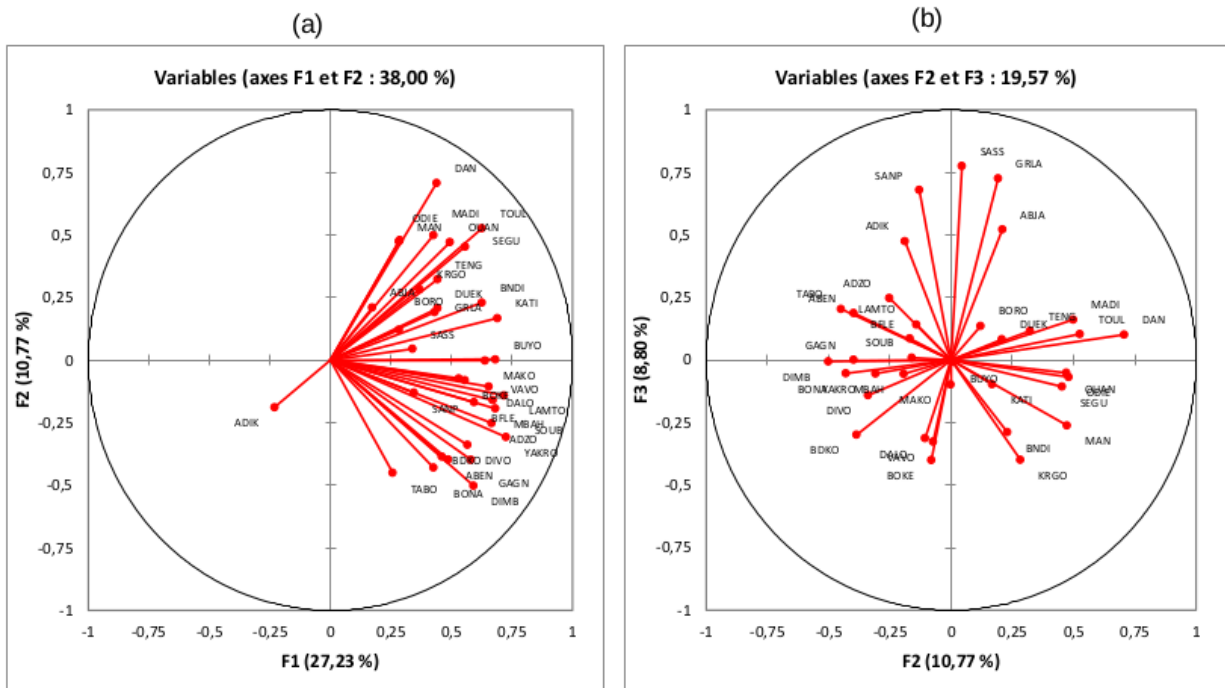
	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5	Axe 6
Valeur propre	9,8	3,9	3,2	2,3	1,9	1,6
Variance (%)	27,2	10,8	8,8	6,4	5,3	4,6
Variance cumulée (%)	27,2	38,0	46,8	53,2	58,5	63,1

Les quatre premiers axes expliquent plus de 50% de la variance totale. La part de variance expliquée par les six premières composantes principales de l'ACP est de 63,1%. La variance expliquée par chaque composante diminue au fur et à mesure que leur nombre augmente. La première composante représente 27,2% de l'information totale des postes de l'étude tandis que la sixième composante indique 4,6% avec pour valeur propre 1,6. Cela signifie que le comportement de la pluviométrie des 36 postes est résumé par les six premières composantes qui concentrent plus de 63% de l'information totale. Les travaux de A. M. Kouassi *et al.* (2010, p. 47), ont abouti à des variances élevées au niveau des quatre premières composantes pour Bouaké (73,4%) et Dimbokro (66,9%). Il faut noter que leurs travaux ont porté sur des postes individuels alors que la présente étude analyse la variabilité à l'échelle de la Côte d'Ivoire. De plus, le Centre Africain pour les Applications de la Météorologie au Développement (ACMAD) en collaboration avec les Services Météorologiques Nationaux de l'Afrique dont la Côte d'Ivoire a utilisé la technique de l'ACP pour régionaliser les postes pluviométriques des pays afin d'élaborer des modèles de prévision climatique saisonnière (ACMAD, 1998, p. 1).

La représentation des degrés de corrélation entre les postes et selon les axes principaux dans les plans factoriels rend compte de la structuration des postes. Ainsi, les composantes principales permettent de regrouper les postes selon les degrés de corrélation entre eux (Fig. 3).

Les axes 1 et 2 représentent 38% de la variance totale (Fig. 3a). Ces axes montrent les degrés de corrélation entre les postes à partir des cumuls pluviométriques. L'axe 1 indique deux groupes de poste qui sont positivement corrélés entre eux. Le premier groupe est formé par les postes d'Abengourou, Adzopé, Bondoukou, Bouaflé, Bouaké, Bouna, Buyo, Daloa, Dimbokro, Divo, Gagnoa, Lamto, M'Bahiakro, Mankono, Soubré, Vavoua et Yamoussoukro. Quant au deuxième groupe, il est formé par les postes situés dans le Nord-ouest de la Côte d'Ivoire à savoir Boundiali, Danané, Duékoué, Katiola, Korhogo, Madinani, Man, Odienné, Ouangolodougou, Séguéla, Tengréla et Toulepleu. Les postes de chaque groupe présentent une forte covariabilité entre eux. Cela se matérialise par la proximité des points des postes entre eux sur la figure 3. Seul, le poste d'Adiaké est opposé aux deux groupes de poste, donc corrélé négativement avec les autres postes. Le groupe de poste situé près du centre du cercle de corrélation n'est pas fortement représenté par les axes 1 et 2 (Fig. 3a), mais le sont à partir de l'axe 3 (Fig. 3b). Il s'agit des postes situés sur le littoral ivoirien à savoir Abidjan, Adiaké, Grand-Lahou, San-Pedro, Sassandra et Tabou. Ainsi, la représentation des postes selon les axes 2 et 3 qui exprime 19,6% de la variance totale, indique une faible corrélation entre les postes l'exception des postes du littoral ivoirien. Ceci s'illustre par la dispersion des postes autour du centre du cercle de corrélation.

Figure 1: Distribution des postes par l'ACP en Côte d'Ivoire dans les plans factoriels F1-F2 (a) et F2-F3 (b)



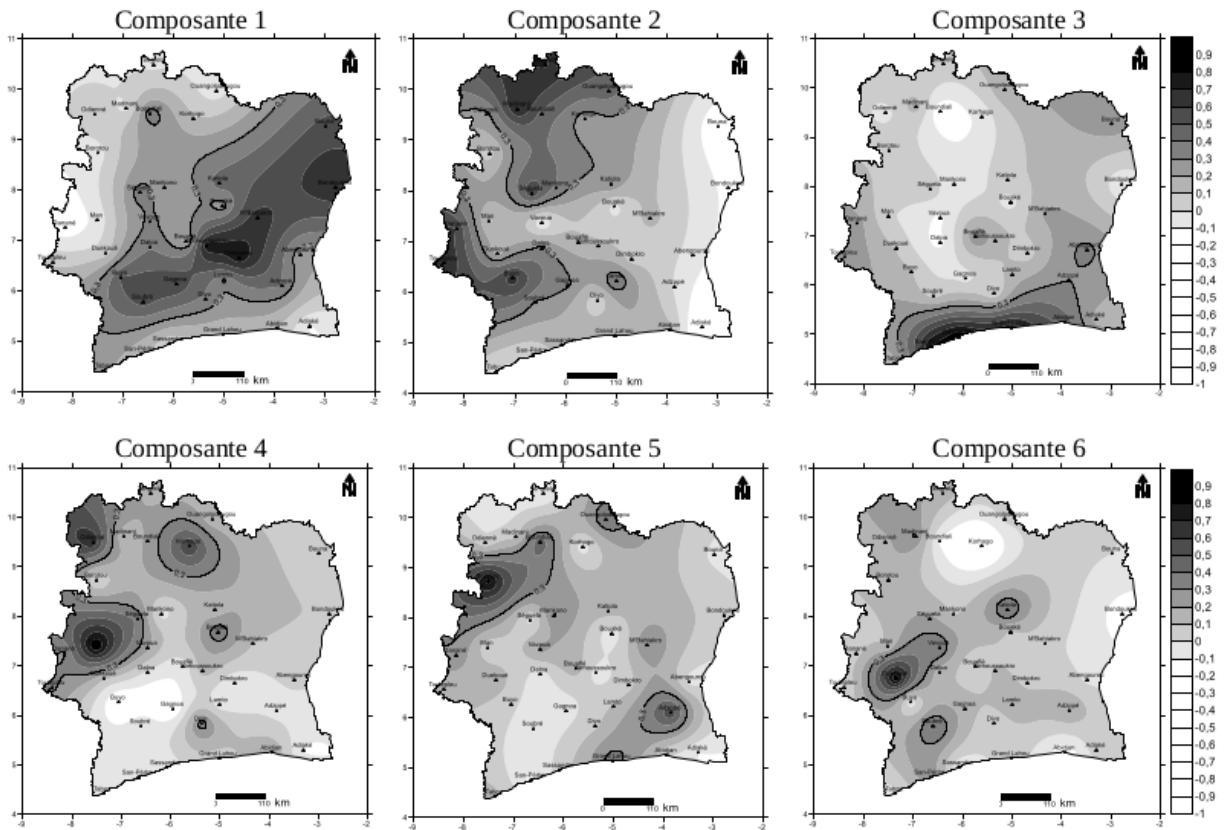
* ABEN = Abengourou; ABJA = Abidjan; ADIK = Adiaké; ADZO = Adzopé; BDKO = Bondoukou; BORO = Borotou; BFLE = Bouaflé; BOKE = Bouaké; BONA = Bouna; BNDI = Boundiali; BUYO = Buyo; DALO = Daloa; DAN = Danané; DIMB = Dimbokro; DIVO = Divo; DUEK = Duékoué; GAGN = Gagnoa; GRLA = Grand-Lahou; KATI = Katiola; KRGO = Korhogo; LAMTO = Lamto; MADI = Madinani; MAN = Man; MAKO = Mankono; MBAH = M'Bahiakro; ODIE = Odienné; OUAN = Ouangolodougou; SANP = San-Pedro; SASS = Sassandra; SEGU = Séguéla; SOUB = Soubré; TABO = Tabou; TENG = Tengréla; TOUL = Toulepleu; VAVO = Vavoua; YAKRO = Yamoussoukro.

* F1 = Facteur 1; F2 = Facteur 2; F3 = Facteur 3.

Source : Nos traitements, 2018

Une bonne représentation spatiale des intensités des corrélations entre les postes selon les axes ou composantes permet de déterminer les structures pluviométriques définies par l'ACP (Fig. 4). L'examen de la figure 4 montre une variabilité spatio-temporelle des coefficients de corrélation selon les composantes principales. Chaque carte indique une covariabilité des cumuls pluviométriques des postes d'observation selon les niveaux de corrélation par composante. En choisissant comme seuil de corrélation le niveau supérieur ou égale à 0,3 chacune des composantes permet de former des groupes de poste et de déterminer des structures spatiales pluviométriques homogènes. Ce seuil de 0,3 est généralement pris comme référence pour la détermination des structures pluviométriques et pour le calcul des indices pluviométriques régionaux dans le cadre des prévisions climatiques saisonnières en Afrique de l'Ouest depuis 1998 (ACMAD, 1998, p. 6).

Carte 3 : Intensité des corrélations des postes selon les composantes principales de 1 à 6



Source : Nos traitements, 2018

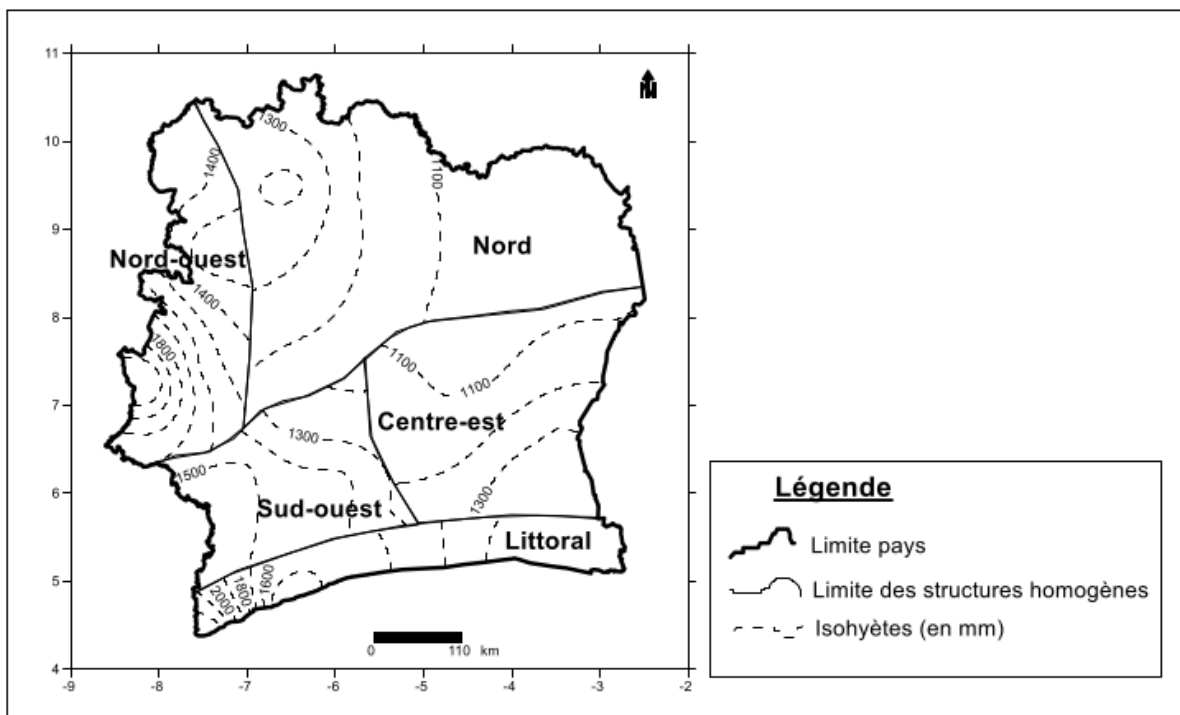
Ainsi, la composante 1 illustre une covariabilité des postes de la partie centrale de la Côte d'Ivoire allant du Nord-est jusqu'au Sud-ouest. Cependant, une forte corrélation s'observe pour les postes du Centre-est ivoirien. La composante 2 indique la forte corrélation entre les postes du Nord ivoirien allant de Tengréla jusqu'à Séguéla et ceux de l'Ouest de la Côte d'Ivoire. Quant à la composante 3, elle montre la covariabilité des postes du littoral ivoirien. Au niveau de la composante 4, elle indique la liaison qui existe pour les postes de l'Ouest et Nord-ouest de la Côte d'Ivoire. Ici, les fortes corrélations observées autour des postes de Bouaké, Divo et Korhogo peuvent être considérées comme un bruit, c'est-à-dire que ces postes sont isolés et ne forment pas un groupe homogène. La composante 5 résume la covariabilité des postes du Nord-ouest et Sud-est de la Côte d'Ivoire. Pour la composante 6, elle présente la structure homogène du Centre-ouest ivoirien. Les autres postes à savoir Katiola et Soubré dont la corrélation est forte selon l'axe 6,

sont considérés comme un bruit. Ainsi, les structures spatio-temporelles indiquées par l'ACP et le régime pluviométrique permettent de synthétiser et cartographier de grandes structures pluviométriques spatiales homogènes en Côte d'Ivoire pour la période allant de 1951 à 2017.

3.3. Cartographie de structures spatiales pluviométriques homogènes en Côte d'Ivoire

La cartographie des hauteurs de pluie met en évidence des structures spatiales cohérentes et homogènes en Côte d'Ivoire. Ces structures sont définies sur la base de la covariabilité pluviométrique. Cinq structures spatiales pluviométriques homogènes sont déterminées. Il s'agit des zones Nord, Nord-ouest, Centre-est, Sud-ouest et Littoral (Fig. 5). Il faut noter que la zone Nord couvre le grand nord et le nord-est ivoirien. Quant à la zone Nord-ouest de cette étude, elle couvre la partie ouest ivoirienne qui longe la frontière guinéenne.

Carte 4 : Structures spatiales pluviométriques homogènes en Côte d'Ivoire



Source : Nos traitements, 2018

L'analyse de la figure 5 indique une variabilité homogène des cumuls pluviométriques par zone en Côte d'Ivoire. On distingue ainsi : (i) la zone Nord qui se caractérise par un régime pluviométrique unimodal dont les hauteurs de pluie annuelle varient entre 1000 et 1400 mm et le coefficient de variation de 10,2%; (ii) la zone Nord-ouest à régime unimodal avec des cumuls pluviométriques moyens de 1600 mm et un coefficient de variation de 19,7% qui est le plus élevé, certainement influencé par l'effet orographique; (iii) la zone Centre-est à régime pluviométrique bimodal avec des pluies annuelles variant entre 1000 et 1400 mm et un coefficient de variation de 9,6%, le plus faible de toutes les zones; (iv) la zone Sud-ouest avec un coefficient de variation de 10% qui enregistre des pluies annuelles d'environ 1400 mm pour un régime pluviométrique bimodal ; (v) et la zone Littorale située sur la façade de l'océan Atlantique qui observe en moyenne des pluies oscillant entre 1400 et 2000 mm par an. Cela lui confère un régime pluviométrique bimodal avec un coefficient de variation de 17,8%. Les limites entre les cinq structures

pluviométriques spatiales de la figure 5 doivent être considérées comme des zones de transition dans le cadre de cette étude. Cette considération est appliquée par ACMAD (2006, p. 1), dans la présentation des prévisions saisonnières des pluies en Afrique de l'Ouest.

Les coefficients de variation de la pluie des structures spatiales homogènes du Nord, Nord-ouest, Centre-est, Sud-ouest et Littoral de la Côte d'Ivoire sont considérablement réduits et varient de 9,6% au Centre-est jusqu'à 19,7% au Nord-ouest. Les faibles valeurs des coefficients de variation (moins de 20%) observées dans cette étude illustrent de la covariabilité des postes pluviométriques dans chaque zone. Cela montre l'homogénéité des séries pluviométriques des zones homogènes en Côte d'Ivoire tel que confirmé par A. M. Kouassi *et al.* (2010, p. 30). Par contre, d'autres travaux (S. Bigot, 2004, p. 133 ; M. Diomandé *et al.*, 2008, p. 5 ; A. Bodian, 2014, p. 14) ont montré que la pluviométrie présente une grande variabilité en Côte d'Ivoire et au Sénégal avec des coefficients de variation généralement supérieurs à 20% dans certaines localités. A. M. Kouassi *et al.* (2010, p. 30) ont révélé que les coefficients de variation de la pluie mensuelle dans le bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire restent inférieurs à 25%.

Ces cinq structures spatio-temporelles pluviométriques homogènes obtenues à partir du régime pluviométrique et de l'ACP sur la période 1951-2017 viennent actualiser le zonage pluviométrique identifié par les études antérieures (M. Eldin, 1971, p. 99 ; ASECNA, 1979, p. 15; T. A. Goula Bi *et al.*, 2010, p. 6011). En effet, la plupart des zones homogènes définies par ces auteurs suivait un découpage latitudinal en quatre ou cinq zones, en dehors de la partie ouest montagneux de la Côte d'Ivoire. Les cinq zones homogènes obtenues dans la présente étude tiennent compte des récentes variabilités pluviométriques jusqu'en 2017. Ainsi, la structure spatiale des champs de pluie est la répartition spatiale des postes ayant enregistré des pluies et même les localités qui ne disposent pas de poste pluviométrique (N. Van Vyve, 2006, p. 45). Ces structures homogènes déterminent un découpage du territoire en zones homogènes à l'intérieur desquelles le comportement pluviométrique est similaire (A. Madjerab et L. Henia, 2005, p. 1). Aussi, Y. Richard *et al.* (1998, p. 33) ont abouti à des résultats similaires en Afrique orientale en détectant des structures spatio-temporelles à partir des méthodes multidimensionnelles comme l'Analyse en Composante Principale (ACP). Cette méthode d'ACP fut également utilisée par J. Ahattab *et al.* (2015, p. 17) qui ont déterminé quatre zones homogènes avec 23 postes pluviométriques dans le bassin de Tensift au Maroc.

Conclusion

L'analyse des précipitations à partir de deux approches multidimensionnelles a permis d'identifier de structures spatio-temporelles pluviométriques homogènes en Côte d'Ivoire. Il s'agit des zones Nord, Nord-ouest à régime unimodal et des zones Centre-est, Sud-ouest et Littoral à régime bimodal. Ces cinq zones homogènes avec des coefficients de variation faibles inférieurs à 20%, sont représentatives des postes pluviométriques qui les composent. Ces structures peuvent servir de base pour les études climatologiques. De plus, ces zones peuvent intéresser le monde scientifique à la recherche de signaux par la mise en relation des paramètres climatiques des zones avec les indicateurs océan-atmosphères dans le cadre de l'élaboration des modèles de prévision climatique saisonnière.

Références bibliographiques

- African Centre of Meteorological Application for Development (ACMAD), 1998, *Prévision climatique en Afrique*. WMO/TD N°927. Niamey, Niger, 210p.

- African Centre of Meteorological Application for Development (ACMAD), 2006, *Prévision des pluies pour la saison Juillet-Août-Septembre 2006, Mise à jour du 20 juin 2006*. Niamey, Niger, 1p.
- AHATTAB Jihane, LAKHAL El Khadir, SERHIR Najat, 2015, Determination of homogenous regions in the Tensift basin (Morocco). In: *Int. Journal of Engineering Research and Applications*. ISSN : 2248-9622, Vol. 5, Issue 6, (Part - 2), pp.17-21
- Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar (ASECNA), 1979, *Le climat de la Côte d'Ivoire*. Service Météorologique, Abidjan, 72p.
- BIGOT Sylvain, 2004, *Variabilité climatique, interactions et modifications environnementales : l'exemple de la Côte d'Ivoire*. Habilitation à Diriger des Recherches, Université des Sciences et Technologies de Lille, France, 399p.
- BIGOT Sylvain, BROU Yao Télesphore, OSZWALD Johan, DIEDHIOU Arona, 2005, Facteur de la variabilité pluviométrique en Côte d'Ivoire et ces relations avec certaines modifications environnementales. In: *Sécheresse*, vol. 16, n°1, 82p.
- BODIAN Ansoumana, 2014, Caractérisation de la variabilité temporelle récente des précipitations annuelles au Sénégal (Afrique de l'Ouest). In: *Physio-Géo*, Volume 8 | 2014,; <http://physio-geo.revues.org/4243> ; DOI : 10.4000/physio-geo.4243.
- CATTELL Raymond B., 1966, The scree test for number of factors. In: *Multivariate Behavioral Research*, 1, pp.245-276.
- CHAMPEAUX Jean-Louis, TAMBURINI Agnès, 1996, Zonage climatique de la France à partir des séries de précipitations (1971-1990) du réseau climatologique de l'État. In : *La Météorologie*, série 8, n°14, pp.4-44.
- DAGNÉLIE Pierre, 1984, *Théorie et méthodes statistiques : Applications agronomiques*. Les presses agronomiques de Gembloux, Belgique, Tome I et II, 2^{ème} édition, 842p.
- DEKOULA Charles Sékpa, KOUAMÉ Brou, N'GORAN Emmanuel Kouadio, YAO Fernand Guy, EHOUNOU Jean-Noël, SORO Nagnin, 2018, Impact de la variabilité pluviométrique sur la saison culturale dans la zone de production cotonnière en Côte d'Ivoire. In: *European Scientific Journal*. April 2018 édition Vol.14, No.12 ISSN: 1857 – 7881. pp.143-159.
- DIBI KANGAH Agoh Pauline, 2010, Rainfall and Agriculture in Central West Africa since 1930: Impact on Socioeconomic Development. In: *LAP-LAMBERT Academic Publishing*, Saarbrücken, 304p.
- DIOMANDÉ Métangbo, DONGO Kouassi, KONÉ Brama, CISSÉ Guéladio, BIÉMI Jean, BONFOH Bassirou, 2008, *Vulnérabilité de l'agriculture pluviale au*

changement de régime pluviométrique et adaptation des communautés rurales du «V-Baoulé» en Côte d'Ivoire. Centre Suisse de Recherches Scientifiques (CSRS), Côte d'Ivoire, 11p.

- ELDIN M., 1971, Le climat. In : Le Milieu naturel de Cote d'Ivoire, Mémoires ORSTOM, pp.73-108.
- GOULA BI Tié Albert, SROHOUROU Bernard, BRIDA A. B., KANGA Brou Isidore, N'ZUÉ Kouakou Augustin, GOROZA Goroza, 2010, Zoning of rainfall in Côte d'Ivoire. In: *International Journal of Engineering Science and Technology*. Vol. 2(11), pp. 6004-6015.
- GUERRIEN Marc, 2003, L'intérêt de l'analyse en composantes principales (ACP) pour la recherche en sciences sociales. In : *Cahiers des Amériques latines* [En ligne], 43 | 2003, mis en ligne le 10 août 2017, consulté le 18 mars 2019, pp. 181-192.
- GUIOT Joël, 1986, Sur la détermination de régions climatiques quasi-homogènes. In: *Revue de statistique appliquée*. Tome 34, no 2, pp.15-34.
- Institut National de la Statistique-Recensement Général de la Population et de l'Habitat (INS- RGPH), 2014, *RGPH-2014 Résultats globaux*. Abidjan, Côte d'Ivoire, 12p.
- KOUASSI Amani Michel, KOUAMÉ Koffi Fernand, KOFFI Yao Blaise, DJÈ Kouakou Bernard, PATUREL Jean Emmanuel, OULARÉ Sekouba, 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, In : *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], URL : <http://cybergeo.revues.org/23388> ; cité le 04 février 2015.
- MEDJERAB Abderrahmane, HENIA Latifa, 2005, Régionalisation des pluies annuelles dans l'Algérie nord-occidentale. In : *Revue Géographique de l'Est*, vol. 45 / 2, 14p.
- NDABALISHYE Ildfonse, 1995, Agriculture vivrière ouest-africaine à travers le cas de la Cote d'Ivoire, IDESSA, Bouaké, Côte d'Ivoire, 383p.
- NOVELLA Nicholas S., THIAW Wassila M., 2013, African Rainfall Climatology Version 2 for Famine Early Warning Systems. In: *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Volume 52, Mars 2013, pp.588-606.
- Organisation Météorologique Mondiale (OMM), 2011, *Guide des pratiques climatologiques*. OMM-N° 100, Genève, Suisse. 152p.
- RICHARD Yves, CAMBERLIN Pierre, BELTRANDO M. Gérard, 1998, Recherche de structures spatio-temporelles en climatologie : l'exemple de la variabilité pluviométrique en Afrique orientale. In: *Espace géographique*, tome 27, n°1, 1998. pp.31-40.

- RODIER J., 1964, *Régimes hydrologiques de l'Afrique noire à l'Ouest du Congo*. Thèse de Doctorat d'Ingénieur, Université de Toulouse, France, 163p.
- SERVAT Éric, PATUREL Jean-Emmanuel, LUBÈS-NIEL H., KOUAMÉ Brou, MASSON
- Jean-Marie, TRAVAGLIO Michel, MARIEU Bertrand, 1999, De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et Centrale non Sahélienne. In : *Revue des sciences de l'eau*, vol. 12, n°2, pp.363-387.
- SULTAN Benjamin., JANICOT Serge, 2004, La variabilité climatique en Afrique de l'Ouest aux échelles saisonnière et intra-saisonnière : mise en place de la mousson et variabilité intra- saisonnière de la convection. In : *Sécheresse*, vol. 15, n°4, décembre 2004, 10p.
- VAN VYVE N Nathalie, 2006, *Caractérisation de la variabilité spatio-temporelle de la pluie au Fakara, Niger*. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du grade de bio-ingénieur. Université Catholique de Louvain, Belgique. 75p.
- XIE Pingping, ARKIN Phillip A., 1996, Analyses of global monthly precipitation using gauge observations, satellite estimates, and numerical model predictions. In: *J. Climate*, 9, pp.840– 858.