

Apport des indices climatiques à la redéfinition de la régionalisation climatique de la Côte d'Ivoire dans un contexte de climat changeant

[Contribution of climatic indices to the redefinition of the climatic regionalization of the Ivory Coast in a changing climate context]

Jean-Muller Kouao¹, Amani Michel Kouassi², Aimé Koudou³, and Amlhan Claudia Félicité Gbola⁴

¹Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB), Ecole Doctorale Polytechnique (EDP), B.P. 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

²Institut 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, Côte d'Ivoire

³Université Jean Lorougnou Guédé (UJLoG) de Daloa, Unité de Formation et de Recherche (UFR) Environnement, Département des Sciences de la Terre, Laboratoire des Sciences et Technologie de l'Environnement (LSTE), BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

⁴Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB), Ecole Supérieure des Mines et de Géologie (ESMG), B.P. 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

Copyright © 2021 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The aim of this study is to analyze the dynamics of seasonal climatic regimes in a context of changing climate with a view to redefining homogeneous climatic zoning in Ivory Coast. The methodology is based on the combination of climatic indices designed from rainfall and temperature (Gausson index and De Martonne index). The results obtained made it possible to identify six (6) homogeneous climatic zones in Ivory Coast. A diachronic analysis from two thirty-year periods (1941-1970 and 1971-2000) showed that the climate changes observed in West Africa in general and in Ivory Coast in particular, had the consequences of modifying the seasonal climatic regimes conditions in general throughout the territory. However, the Ivorian coast was less affected by the phenomenon. The results obtained can serve as a basis for forecasting drought in Ivory Coast.

KEYWORDS: Environment, Climate change, climate regimes, climate indices, Ivory Coast.

RESUME: L'objectif de cette étude est d'analyser la dynamique des régimes climatiques saisonniers dans un contexte de climat changeant en vue de la redéfinition des zonages climatiques homogènes en Côte d'Ivoire. La méthodologie est basée sur la combinaison d'indices climatiques conçus à partir de la pluie et de la température (indice de Gausson et indice de De Martonne). Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence six (6) zones climatiques homogènes en Côte d'Ivoire. Une analyse diachronique à partir de deux périodes trentenaires (1941-1970 et 1971-2000) a montré que les changements climatiques constatés en Afrique de l'Ouest en général et en Côte d'Ivoire en particulier, ont eu pour conséquences de modifier les régimes climatiques saisonniers de façon générale sur toute l'étendue du territoire. Cependant, le littoral ivoirien a été moins affecté par le phénomène. Les résultats obtenus peuvent servir de base pour la prévision de la sécheresse en Côte d'Ivoire.

MOTS-CLEFS: Environnement, Changements climatiques, régimes climatiques, indices climatiques, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

Plusieurs méthodes de régionalisation existent et elles sont généralement basées sur l'Analyse en Composantes Principales (ACP), les corrélations et/ou des méthodes de classification telles que la Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) [1]. Ces méthodes sont utilisées en climatologie pour la régionalisation des paramètres climatiques en général et des précipitations en particulier [1-9]. Ces différentes approches appliquées sur les mêmes variables ne parviennent pas toujours aux mêmes résultats. C'est ainsi que Kouao *et al.* [9] sont parvenus à des cas de confusion dans l'identification des zones climatiques homogènes à partir de l'application de l'ACP et la CHA. En effet, des divergences ont été constatées d'une part entre le climat soudanais et le climat baouléen et d'autre part, dans la subdivision du climat attiéen. Aussi, ces approches ne donnent pas les caractéristiques des régimes climatiques saisonniers. D'où la nécessité de compléter les approches multivariées par des indices climatiques dans une procédure de régionalisation climatique. En effet, la classification des climats se base aussi sur des indices dits climatiques et biogéographiques. De ce fait, plusieurs indices bioclimatiques et d'aridité ont été proposés en se basant généralement sur la combinaison des précipitations, des températures (moyenne, maximum et minimum) et du pouvoir évapotranspirant de l'atmosphère (ETP) [10]. Les plus connus sont ceux de De Martonne (1926), Emberger (1931), Thornthwaite (1948), Dubief (1950), Capot-Rey (1951), Bagnouls et Gausson (1952) et Birot (1953) [10]. Ces indices ont été développés en vue de délimiter spatialement les zones bioclimatiques [10]. L'identification et la délimitation des zones bioclimatiques à caractère homogène constituent une étape préliminaire nécessaire pour les études de vocation et de gestion des terres, de valorisation de l'utilisation du territoire, d'adaptation aux phénomènes de sécheresse et d'agressivité des agents météorologiques [10], de gestion des ressources en eau, etc. La régionalisation climatique peut aussi servir de base à la prévision climatique et hydrologique. Aussi, la régionalisation s'est-elle développée afin d'étudier, décrire et communiquer les informations spatiales. Les régions homogènes des phénomènes pluviométriques sont conçues pour servir de forum en vue d'encourager le développement d'une approche harmonisée et globale des problématiques climatiques, ainsi qu'en vue d'une application judicieuse de cette approche à la gestion et à la planification des ressources en eau. Il s'agit, avant tout, d'un outil d'aide à la décision et à l'usage de questionnaires [1, 11].

La question principale que suscite cette étude est: Les changements climatiques ont-ils impactés le zonage climatique en Côte d'Ivoire à travers la modification des régimes climatiques saisonniers ?

Plusieurs questions sous-jacentes peuvent être soulevées:

- i) Quelles sont les caractéristiques des régimes climatiques saisonniers de la Côte d'Ivoire ?
- ii) Quels sont les impacts des changements climatiques sur les régimes climatiques saisonniers en Côte d'Ivoire ?

L'objectif de cette étude est d'analyser la dynamique des régimes climatiques saisonniers dans un contexte de climat changeant en vue de la redéfinition des zonages climatiques en Côte d'Ivoire.

Après la présentation de la zone d'étude et de la méthodologie mise en œuvre pour répondre à la problématique posée et à l'atteinte des objectifs fixés, les résultats de l'étude sont analysés puis discutés. Une conclusion présente les principaux résultats et la portée de l'étude.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La Côte d'Ivoire est située en Afrique de l'Ouest, dans la zone intertropicale, entre l'équateur et le tropique du cancer, précisément entre les latitudes 4°30' et 10°30' Nord et les longitudes 8°30' et 2°30' Ouest (Fig. 1). Elle couvre une superficie de 322 462 Km² (environ 1% du continent africain) et fait frontière avec le Golfe de Guinée au Sud, le Ghana à l'Est, le Libéria et la Guinée à l'Ouest, le Mali et le Burkina-Faso au Nord.



Fig. 1. Localisation de la Côte d'Ivoire en Afrique de l'Ouest [12]

Deux grands types de paysages végétaux sont présents sur le territoire ivoirien: un paysage forestier et un paysage de savane. Le premier couvre la moitié sud du pays et appartient au domaine guinéen. Le second occupe la moitié nord de la Côte d'Ivoire et se rattache au domaine soudanais [12]. Le domaine guinéen a une végétation prépondérante de forêt dense humide. On y distingue 4 secteurs caractérisés par des groupements végétaux particuliers répondants à des conditions écologiques différentes [12]. La Côte d'Ivoire est caractérisée par un relief peu élevé. Les terres sont constituées en majeure partie de plateaux et de plaines. L'Ouest du pays, région montagneuse, présente toutefois quelques reliefs au-delà de mille mètres (le mont Nimba culmine à 1 752 m). Hormis cette région, les altitudes varient généralement entre 100 et 500 mètres. La plupart des plateaux se situent autour de 300 à 400 mètres. Ceux-ci présentent différents aspects. Les plateaux les plus élevés sont rigides dans leurs formes ainsi que dans leurs matériaux. Ceux de niveaux intermédiaires ont assez souvent des formes émoussées. Les plus bas présentent quant à eux, une certaine rigidité, mais sont constitués de matériaux meubles. Des étendues énormes et verticales rigoureusement tabulaires et horizontales sont parfois présentes dans les régions de savanes, mais également sous les petits accrocs de savanes incluses dans la forêt dense. L'élément dominant de ces plateaux est constitué par une cuirasse ferrugineuse visible en surface sous forme de dalles de teinte rouille, mais parfois voilées de sables, de gravillons ou produits plus fins.

2.2 DONNÉES

Les données utilisées pour réaliser la présente étude sont issues du réseau national de mesures météorologiques de la Côte d'Ivoire. Les données de pluies mensuelles et de températures moyennes mensuelles proviennent de quarante-sept (47) postes pluviométriques et douze (12) stations synoptiques répartis sur tout le pays (Fig. 2). Elles ont été mises à notre disposition par la SODEXAM (Société de Développement et d'Exploitation Aéronautique, Aéroportuaire et Météorologique). Le choix des stations a été guidé par la disponibilité et la qualité des données chronologiques (moins de lacunes). Les pluies de la période 1961-2016 varient entre 986,1 et 1984,4 mm avec une moyenne de 1262,7 mm. Quant au coefficient de variation (CV), il fluctue entre 14 et 30% avec une moyenne de 22%. La majeure partie des valeurs oscillent entre 2% et 25%, ce qui montre l'homogénéité des données utilisées sur la période 1961-2000. Les données de pluie collectées sur vingt-six (26) stations couvrant la période 1941-2000, varient entre 1208,67 et 2287,47 mm avec une moyenne de 1531,26 mm. Quant au coefficient de variation (CV), il fluctue entre 17 et 30% avec une moyenne de 21,40%. La majeure partie des valeurs oscille entre 2% et 25%, ce qui montre l'homogénéité des données utilisées. Les températures de la période 1961-2016 oscillent entre 23,76 et 27,88 °C avec une moyenne de 25,84 °C et un écart-type moyen de 0,41 °C. En ce qui concerne le coefficient de variation,

il oscille entre 1,25 et 2,13%. La majeure partie de ces valeurs de coefficient de variation varie entre 2 et 25%, ce qui montre l'homogénéité des données de températures utilisées sur la période 1961-2016. Les valeurs de température de la période 1941-2000 varient entre 23,76 et 28,68 °C avec une moyenne de 26,05 °C et un écart-type moyen de 0,58 °C. Quant au coefficient de variation, il va de 1,07 à 5,06%. Il y a 50% de valeurs comprises entre 2 et 25%, ce qui montre l'homogénéité des données utilisées.

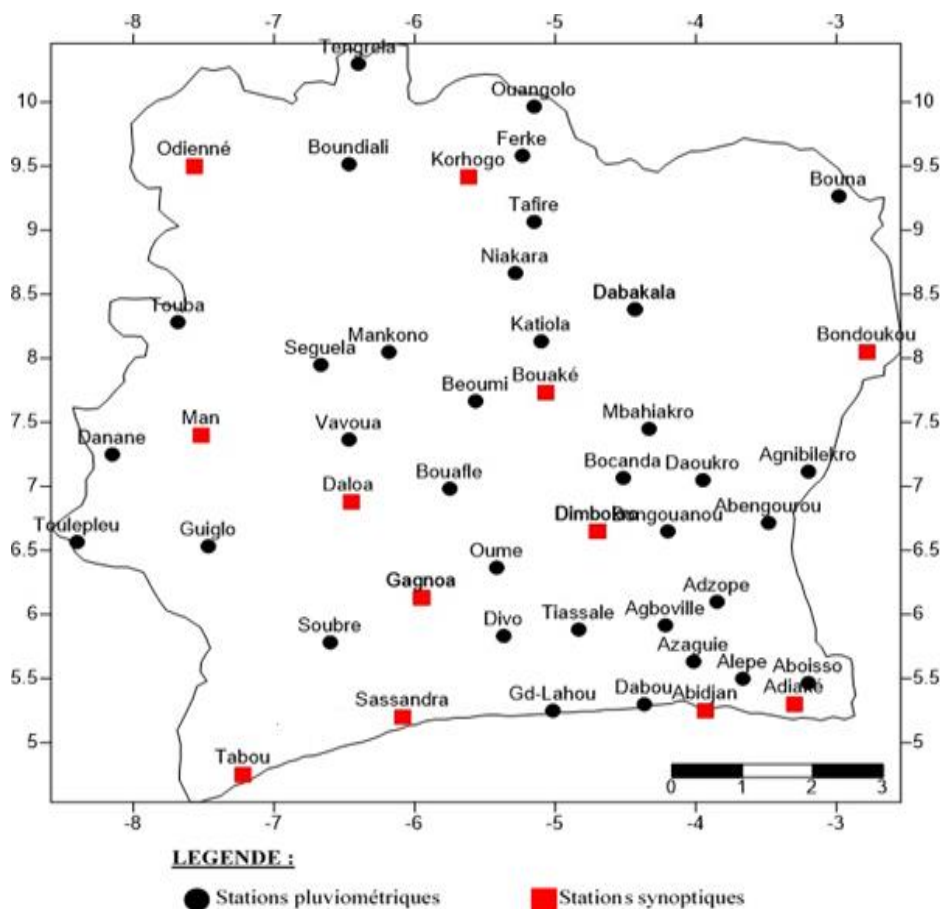


Fig. 2. Localisation des stations pluviométriques et synoptiques retenues

2.3 MÉTHODES UTILISÉES

2.3.1 MÉTHODES DE CARACTÉRISATION DES RÉGIMES CLIMATIQUES SAISONNIERS

Une analyse de deux indices climatiques (indice de Gaussen et indice de De Martonne) sur la période 1961-2016 a été effectuée pour caractériser les régimes climatiques saisonniers de la Côte d'Ivoire. L'indice de Gaussen (1952) permet d'identifier pour chaque station, la durée de la période sèche et partant celle de la saison pluvieuse, en s'appuyant sur la comparaison des moyennes mensuelles des températures (T en °C) avec celles des précipitations (P en mm) [10, 13-15].

Un mois est dit sec lorsque P est inférieure ou égale à $2T$; c'est-à-dire quand les pertes en eau (supposées causer par une température trop forte) sont supérieures aux apports (pluies). Inversement, quand P est supérieure à $2T$, le mois est considéré comme humide. Un mois est dit à tendance sèche lorsque les pluies sont comprises entre deux (2) fois et trois (3) fois la température moyenne mensuelle, soit $2T < P < 3T$. Le principe de cette méthode consiste à représenter sur un même graphe la température et la pluviométrie en ordonnée, pour les 12 mois de l'année en abscisse. Les échelles prises en ordonnée sont telles que 1°C correspond à 2 mm de précipitations. Une période est humide, à chaque fois que la courbe des pluies passe au-dessus de la courbe des températures. Une période est dite sèche dans le cas inverse. Cela permet de définir une aire ombrothermique. Plus l'aire est importante et plus la saison est sèche.

L'indice d'aridité annuel De Martonne (De Martonne 1926) est défini par l'équation 1 [10, 13-15]:

$$I = \frac{P}{T + 10} \quad (1)$$

P: hauteur des précipitations annuelles (mm);

T: température moyenne annuelle (°C).

L'aridité augmente quand la valeur de l'indice diminue (Tableau 1). De Martonne a proposé six grands types de macroclimats allant des zones désertiques ou hyperarides ($I < 5$) aux zones humides à forêt prépondérante ($I > 40$) [10, 13-15]:

Tableau 1. Classification de l'indice De Martonne

| Indice I | Type de climat |
|---------------|-----------------------------------------------|
| $I < 5$ | Hyperaride |
| $5 < I < 10$ | Aride |
| $10 < I < 20$ | Semi-aride |
| $20 < I < 30$ | Semi-humide (climat tropical) |
| $30 < I < 40$ | Humide (climat tropical humide) |
| $I > 40$ | Très humide (climat équatorial ou montagnard) |

2.3.2 MÉTHODE D'ANALYSE DE L'INFLUENCE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES RÉGIMES CLIMATIQUES

L'analyse de l'influence des changements climatiques sur les régimes climatiques a été effectuée sur deux sous-périodes de trente (30) ans (1941-1970; 1971-2000) à partir de l'indice de Gauss et de l'indice de De Martonne. En effet, en Afrique de l'Ouest en général et en Côte d'Ivoire en particulier, les phénomènes de changements climatiques sont apparus autour des années 1970. Le choix de la période de trente ans se justifie par le critère hydrologique de définition des normes basées sur 30 ans.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 RÉSULTATS DE LA CARACTÉRISATION DES RÉGIMES CLIMATIQUES SAISONNIERS

3.1.1 RÉSULTATS DE L'INDICE DE GAUSSEN

L'application de l'indice de Gausсен à chaque station a permis de distinguer trois (3) régimes climatiques en Côte d'Ivoire (Fig. 3):

- Le régime climatique unimodal;
- Le régime climatique bimodal à deux saisons;
- Le régime climatique bimodal à quatre saisons.

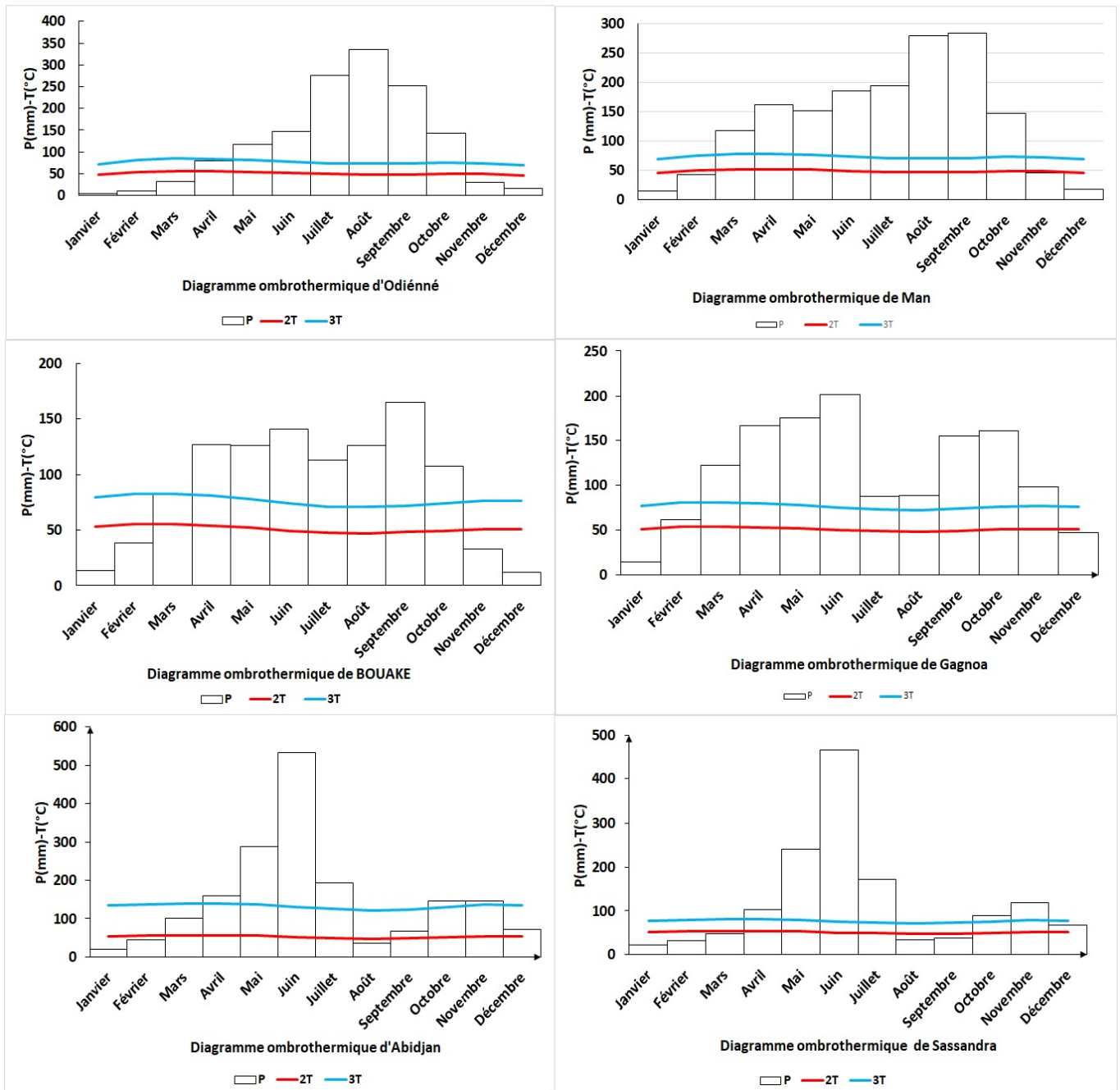


Fig. 3. Diagrammes ombrothermiques des régimes climatiques de la Côte d'Ivoire

Les stations qui reflètent le régime climatique unimodal sont celles de Tengréla, Odienné, Korhogo, Boundiali, Ferké, Tafiré, Ouangolo, Man, Danané, Bouna et Niakara. Ce régime est localisé dans les parties nord et nord-ouest du pays. Les diagrammes ombrothermiques de chaque station ont permis de mettre en évidence de manière générale un régime climatique unimodal à deux (2) saisons caractérisé par une saison sèche et une saison humide ou pluvieuse (Fig. 3). La saison pluvieuse dure sept (7) mois pour les stations localisées au Nord de la Côte d'Ivoire. Elle débute en avril et prend fin en octobre. Les hauteurs maximales de pluie sont observées au mois d'août, à l'exception de la station de Tafiré qui présente un maximum au mois de septembre. La saison sèche, quant à elle, avec une durée moyenne de cinq (05) mois se manifeste de novembre à mars. Elle enregistre en moyenne 16,37 mm de pluie au pas de temps mensuel. Les mois les plus arrosés pendant cette période sont les mois de mars et de novembre avec en moyenne respectivement 36,23 mm et 23,86 mm. Des mois humides à tendance sèche (mois d'avril) ont aussi été mis en évidence au niveau des stations de Tafiré, Ouangolo, Tengrela et Odiénne. A la station de Bouna, le mois humide à tendance sèche est mars. Au niveau des stations de Danané et de Man à l'Ouest de la Côte d'Ivoire, la saison pluvieuse dure 8 à 9 mois. Elle débute en mars et prend fin en octobre. La saison sèche ne dure que 4 mois. Le mois de novembre est un mois humide à tendance sèche au niveau de Danané.

Le régime climatique bimodal à deux saisons est localisé généralement dans la partie centrale de la Côte d'Ivoire (Centre-Nord, Nord-Ouest, Centre, Est et Ouest). Il concerne les stations de Katiola, Dabakala, Touba, Séguéla, Mankono, Bouaké, Béoumi, M'bahiakro, Bouaflé, Abengourou, Bondoukou, Daloa, Gagnoa, Soubré, Vavoua, Guiglo et Toulepleu. Les diagrammes ombrothermiques de ces stations sont bimodaux avec une seule saison des pluies qui débute généralement en mars et s'achève en octobre (Fig. 3). Cette saison de pluie dure en moyenne 8 mois avec une légère dépression en juillet-août. Elle est caractérisée par deux pics. Le premier pic est généralement obtenu en mai-juin et le second en septembre. Cependant, le mois de juillet ou août ne peut être qualifié de mois sec étant donné l'importance de la hauteur d'eau mensuelle recueillie, atteignant parfois des valeurs de plus de 150 mm et supérieures à deux fois la température moyenne mensuelle. Quant à la saison sèche, elle couvre généralement 4 mois qui sont les mois de janvier, février, novembre et décembre. S'agissant des stations de Toulepleu et Gagnoa, la saison pluvieuse dure neuf (9) mois (mars-novembre). Le mois de novembre est un mois humide à tendance sèche. Les pics pluvieux sont observés respectivement en juin et septembre. La saison sèche dure trois (3) mois (décembre-février). A Gagnoa, le mois de février est humide à tendance sèche. Des spécificités ont été constatées au niveau des stations de Touba, Séguéla, Mankono, Katiola et Dabakala. Ces stations ont le mois de mars qui est humide à tendance sèche. La station de Guiglo comporte également un mois humide à tendance sèche situé en novembre.

Les diagrammes ombrothermiques des stations d'Abidjan, Adiaké, Dabou, Sassandra, Grand-Lahou reflètent le régime climatique bimodal à quatre saisons. Ce sont les stations (Fig. 3). En effet, pour ces stations $P < 2T$ au mois d'août. Il s'agit des stations situées généralement dans la zone. Au niveau des saisons des pluies, la première saison des pluies commence généralement, en février pour s'achever au mois de juillet et dure globalement 5 mois. La deuxième saison des pluies est moins longue et dure 3 mois (septembre, octobre et novembre). Les saisons des pluies sont séparées par 2 saisons sèches. La plus grande saison sèche démarre en décembre et prend fin en février soit une durée de trois mois. La petite saison sèche appelée inter-saison est très courte centrée sur le mois d'août. Cependant, qu'il s'agisse des saisons des pluies où des saisons sèches, leurs durées restent variables selon les localités.

Des cas particuliers de régimes climatiques ont été observés. Le premier cas particulier concerne la station de Tabou où le mois d'août est humide. Le régime climatique correspondant à cette station est caractérisé par deux saisons à deux modes. La saison pluvieuse dure dix (10) mois (mars à décembre). La saison sèche dure deux (2) mois (janvier-février). Le mois le plus pluvieux du premier mode est le mois de juin. Le mois le plus pluvieux du deuxième mode est celui de septembre. Le second cas particulier concerne les stations de Dimbokro, Agnibilekro, Bongouanou, Bocanda, Daoukro, Divo, Oumé, Tiassalé, Agboville, Adzopé, Alépé et Azaguié où le mois d'août est humide à tendance sèche. Ces stations sont caractérisées par deux saisons. Une saison pluvieuse qui débute généralement en février et qui s'achève en novembre et qui dure en moyenne 8 à 9 mois avec une dépression en juillet-août. Une saison sèche qui est très brève et qui couvre généralement trois à quatre mois, soit de novembre ou décembre à février. L'analyse du diagramme révèle en effet deux pics, le premier en juin et le second en septembre.

Sur toute l'étendue du territoire ivoirien, les mois correspondant aux mois pluvieux sont avril, mai, juin, juillet et octobre. Ainsi, l'indice de Gaussen a permis de mettre en évidence sur l'ensemble du territoire ivoirien, six (6) zones climatiques homogènes, au nombre desquelles trois sont caractéristiques du régime climatique équatorial de transition (climat attién):

- Zone climatique homogène 1: climat tropical de transition ou soudanais;
- Zone climatique homogène 2: climat équatorial de transition atténué ou baouléen;
- Zone climatique homogène 3: climat de montagnes;
- Zone climatique homogène 4: climat équatorial de transition 1 ou attién du littoral;
- Zone climatique homogène 5: climat équatorial de transition 2 ou attién de l'intérieur;
- Zone climatique homogène 6: climat équatorial de transition 3 ou attién du sud-ouest.

3.1.2 RÉSULTATS DE L'INDICE DE DE MARTONNE

Les résultats de l'indice de De Martonne pour les stations étudiées, sont consignés dans le tableau 2. Les valeurs de l'indice varient entre 27,56 (Bouna) et 62,37 (Tabou) avec une moyenne de 36,76. La classification des valeurs des indices de De Martonne de chaque station (Tableau 3) a permis de faire les constats suivants:

- 8 stations ont des valeurs de l'indice de De Martonne comprises entre 20 et 30, soit 17,02% des stations; le climat en présence est un climat semi-humide ou climat tropical;
- 25 stations ont des valeurs d'indices comprises entre 30 et 40, soit 53,2% des stations. Le climat en présence est un climat humide ou climat tropical humide;
- 14 stations ont des valeurs d'indices supérieures à 40, soit 29,79% des stations. Le climat en présence est dit climat très humide (climat équatorial ou climat de montagne).

Tableau 2. Indices de De Martonne des stations étudiées (1961-2016)

| Stations | Indice | Stations | Indice | Stations | Indice | Stations | Indice |
|-----------|--------|-----------|--------|-------------|--------|-------------|--------|
| Bouna | 27,56 | Odiénné | 40,62 | Tabou | 62,37 | Oumé | 34,21 |
| Niakara | 30,56 | Boundiali | 39,66 | Abengourou | 44,86 | Tiassalé | 32,41 |
| Seguela | 31,87 | Korhogo | 33,95 | Aboisso | 45,85 | Soubre | 38,94 |
| Touba | 33,37 | Ferké | 30,37 | Adzopé | 36,9 | Vaoua | 31,69 |
| Beoumi | 29,88 | Tengrela | 30,75 | Agboville | 36,9 | Grand-Lahou | 41,32 |
| Bondoukou | 30,58 | Ouangolo | 28,54 | Agnibilékro | 44,86 | Sassandra | 40,14 |
| Bouafle | 32,85 | Tafiré | 28,95 | Alépé | 39,55 | Gagnoa | 38,82 |
| Bouake | 30,53 | Danané | 57,74 | Azaguié | 43,18 | M'bahiakro | 28,31 |
| Dabakala | 28,44 | Man | 47,6 | Bocanda | 30,72 | Mankono | 32,56 |
| Daloa | 28,44 | Toulepleu | 48,01 | Bongouanou | 31,81 | Dabou | 45,07 |
| Guiglo | 28,44 | Abidjan | 49,22 | Daoukro | 30,14 | Divo | 36,35 |
| Katiola | 30,63 | Adiaké | 50,89 | Dimbokro | 31,43 | | |

Tableau 3. Classification des stations en fonction des valeurs de l'indice de De Martonne

| Indice | Type de climat | Stations |
|---------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 20<I<30 | Climat semi-humide (climat tropical) | Bouna, Dabakala, Béoumi, Daloa, Guiglo, Ouangolo, Tafiré, M'bahiakro |
| 30<I<40 | Climat humide (climat tropical humide) | Niakara, Séguéla, Touba, Bondoukou, Bouaké, Katiola, Boundiali, Korhogo, Ferké, Tengrela, Adzopé, Agboville, Alépé, Bocanda, Bongouanou, Daoukro, Dimbokro, Oumé, Tiassalé, Soubre, Vavoua, Gagnoa, Mankono, Divo, Bouafle |
| I>40 | Climat très humide (climat équatorial ou climat montagnard) | Odiénné, Danané, Man, Toulepleu, Abidjan, Adiaké, Tabou, Abengourou, Aboisso, Agnibilékro, Azaguié, Grand-Lahou, Sassandra, Dabou |

Selon les résultats de l'indice de De Martonne, il est possible de diviser le climat ivoirien en quatre zones climatiques homogènes:

- Zone climatique homogène 1: le climat équatorial ou équatorial de transition situé au Sud sur le littoral (indice de De Martonne supérieur ou égal à 40);
- Zone climatique homogène 2: le climat de montagnes situé à l'Ouest (indice de De Martonne supérieur ou égal à 40);
- Zone climatique homogène 3: le climat tropical de transition situé au Nord du pays (indice de De Martonne généralement compris entre 20 et 40);
- Zone climatique homogène 4: le climat équatorial de transition atténué situé au Centre (indice de De Martonne généralement compris entre 30 et 40).

3.2 RÉSULTATS DE L'ANALYSE DE L'INFLUENCE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES RÉGIMES CLIMATIQUES SAISONNIERS

Au sein du régime tropical de transition (soudanais) où règne un régime climatique unimodal (deux saison), trois schémas de modification ont été mis en évidence (Fig. 4). D'abord, il s'agit des cas de mois humides qui sont passés aux mois humides à tendance sèche. C'est l'exemple de la station de Boundiali où le mois d'avril était un mois humide avant 1970 et est passé à un mois humide à tendance sèche après 1970. Ensuite, il y a les cas de mois humides à tendance sèche qui sont passés aux mois secs. Ainsi, il a été constaté au niveau de la station d'Odiénné que le mois de novembre était un mois humide à tendance sèche avant 1970 qui est passé à un mois sec après 1970. Enfin, il y a les cas où aucune modification n'a été constatée. C'est le cas à la station de Ferké. Au niveau des stations de l'Ouest montagneux, il est également observé qu'au niveau des stations de Man et Danané, le mois de février était un mois humide à tendance sèche avant 1970. Il est passé après 1970, à un mois sec. Particulièrement au niveau de Danané, le mois de novembre est passé d'un mois humide à tendance sèche (avant 1970) à un mois sec (après 1970).

Au sein des stations du Centre, Centre-Ouest et Est de la Côte d'Ivoire où règne un régime climatique bimodal à deux saisons, trois schémas de modification ont été mis en évidence. D'abord, il s'agit des cas de mois humides à tendance sèche qui sont passés aux mois secs. C'est l'exemple des stations de Béoumi, Guiglo et Toulepleu. Il est constaté que le mois de février était un mois humide à tendance sèche avant 1970 et est passé à un mois sec après 1970. Ensuite, il y a les cas de mois humides qui sont passés aux mois humides à

tendance sèche. C'est le cas de la station de Séguéla. Le mois de mars était un mois humide (avant 1970) qui est passé à un mois humide à tendance sèche (après 1970). Par ailleurs, le mois de novembre était un mois humide à tendance sèche (avant 1970) qui est passé à un mois sec après 1970. Enfin, il y a les cas de mois humides à tendance sèche qui sont passés aux mois humides. C'est l'exemple de la station de Gagnoa où le mois d'août qui était un mois humide à tendance sèche est passé à un mois humide. Les stations de Bouaké, Touba, Dabakala ne présentent aucune variation du régime climatique.

Aucune modification du régime climatique n'a été constatée au niveau des stations du littoral marqué par un régime climatique bimodal à quatre saisons (Abidjan, Grand-Lahou, Sassandra, Adiaké).

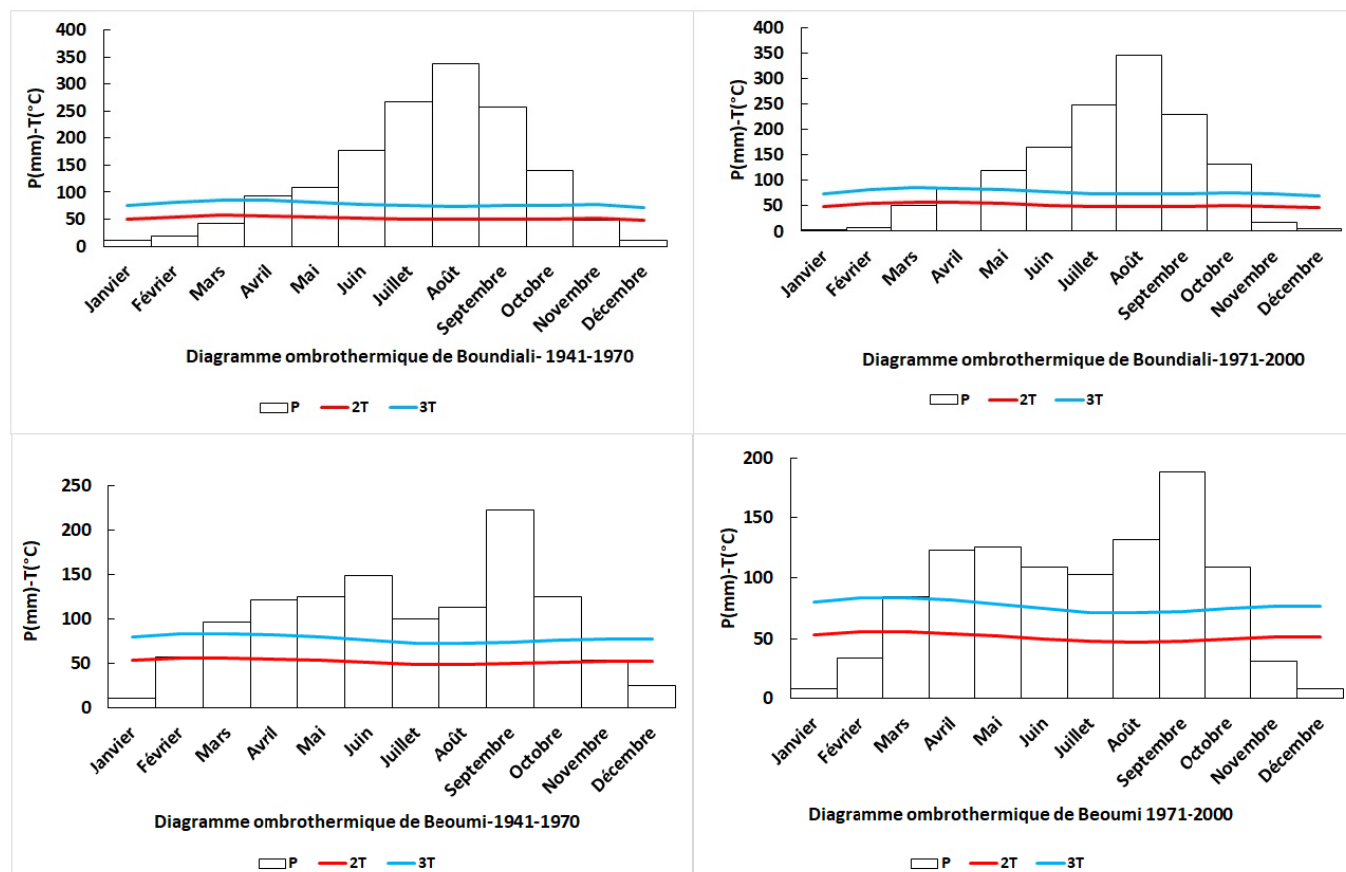


Fig. 4. Variations des régimes climatiques de la Côte d'Ivoire avant et après 1970

Des particularités ont été également observées. Au niveau de Tabou, le mois de janvier était un mois humide à tendance sèche avant 1970. Ce mois est passé à un mois sec après 1970. En plus, trois schémas de modification ont été mis en évidence. D'abord, il s'agit des cas de mois humides qui sont passés aux mois secs. C'est l'exemple des stations d'Agboville et Adzopé où le mois de novembre qui était humide est passé à un mois sec. Ensuite, les cas de mois secs qui sont passés aux mois humides à tendance sèche. C'est le cas de Tiassalé où le mois d'août qui était un mois sec avant 1970 est passé à un mois humide à tendance sèche. Enfin, les cas de mois à tendance sèche qui sont passés aux mois secs. C'est le cas d'Abengourou où le mois de novembre qui était un mois à tendance sèche avant 1970, est passé à un mois sec. Aucune modification de régime climatique n'a été constatée au niveau de la station d'Azaguié.

3.3 DISCUSSION

Les résultats obtenus à partir de l'indice de Gaussen montrent que le climat de montagnes ivoirien est un climat complexe caractérisé par l'influence des climats tropical de transition et équatorial de transition atténué et entretenu par le relief montagneux de l'Ouest de la Côte d'Ivoire. En effet, il est constaté la cohabitation de deux régimes climatiques à savoir le régime climatique unimodal à deux saisons (une saison pluvieuse et une saison sèche) et le régime pluviométrique bimodal à deux saisons (une saison pluvieuse et une saison sèche).

Les diagrammes ombrothermiques définis à partir de l'indice de Gaussen ont permis de déterminer les régimes climatiques au niveau de la Côte d'Ivoire. L'intégration dans cet indice de deux paramètres de natures différentes moyennant le coefficient multiplicatif deux (2) s'explique par le fait que la valeur de 2T a été assimilée à la demande évaporative de l'atmosphère (ETP) [10]. En somme, l'indice d'aridité de Gaussen traduit la somme des déficits mensuels corrigés de leur concentration (intégrale de la courbe 2T-P corrigée de la concentration mensuelle).

Il est constaté une bonne adéquation entre les différents indices climatiques utilisés (indice de Gaussen et indice de De Martonne). Ainsi, la confrontation des résultats amène à conclure que les stations de M'bahiakro et de Gagnoa pourraient être classées dans le climat équatorial de transition atténué. Conformément aux caractéristiques du climat tropical de transition et du climat équatorial de transition atténué, il est aussi possible de classer les stations de Bouna et Niakamandougou dans le climat tropical de transition. Quant aux stations d'Aboisso et de Tabou, au regard de leurs fortes valeurs de l'indice de De Martonne, restent toujours dans le domaine équatorial de transition bien que leurs allures graphiques semblent s'apparenter à celles du climat équatorial de transition atténué. On peut séparer Tabou d'Aboisso au regard de leurs valeurs de De Martonne et leurs situations géographiques. Ainsi, l'équatorial de transition 1 ou l'attiéen du littoral est assimilé aux stations du littoral et est composé des stations d'Abidjan, Dabou, Grand-Lahou, Sassandra et Adiaké. Le climat équatorial de transition 2 ou attiéen de l'intérieur est composé des autres stations du climat équatorial de transition en dehors de la station de Tabou qui a un caractère très particulier. En effet, le régime climatique déterminé à partir de l'indice de Gaussen et la valeur de l'indice de De Martonne ont un caractère particulier vis-à-vis des stations voisines.

Le régime climatique de Tabou ne reflète pas celui du climat équatorial de transition 1 ni celui du climat équatorial de transition 2. La valeur de De Martonne (62) est la plus forte et reflète un régime équatorial.

De ce fait, la station de Tabou ne peut être classée parmi les stations du littoral bien qu'elle soit située sur le littoral ni appartenir au climat équatorial de transition 2. Cette station appartient à la zone équatoriale de transition 3 ou l'attiéen du Sud-Ouest à l'instar des stations telles que Taï et Grabo [2]. La station d'Aboisso a été considérée comme appartenant à la zone équatoriale de transition 2 ou l'attiéen de l'intérieur au regard de sa valeur de De Martonne. La synthèse des deux indices est présentée par le tableau 4.

Tableau 4. *Caractéristiques des régimes climatiques ivoiriens*

| Zone climatique | Indices de Gaussen | | Indices de De Martonne | |
|-----------------|----------------------|-------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------|
| | Régime climatique | Durée de la saison pluvieuse (mois) | Indice | Type de climat |
| Zone 1 | Unimodal à 2 saisons | 7 | 28 | Climat tropical de transition |
| Zone 2 | Bimodal à 2 saisons | 8 | 34 | Climat équatorial de transition atténué |
| Zone 3 | Unimodal à 2 saisons | 8-9 | 52 | Climat de montagne |
| Zone 4 | Bimodal à 4 saisons | Saison 1: 5 Saison 2: 3 | 45 | Climat équatorial de transition 1 |
| Zone 5 | Bimodal à 2 saisons | 8-9 | 38 | Climat équatorial de transition 2 |
| Zone 6 | Bimodal à 2 saisons | 10 | 62 | Climat équatorial de transition 3 |

Une synthèse des résultats des indices climatiques a permis de reproduire la carte du zonage climatique de la Côte d'Ivoire (Fig. 5).

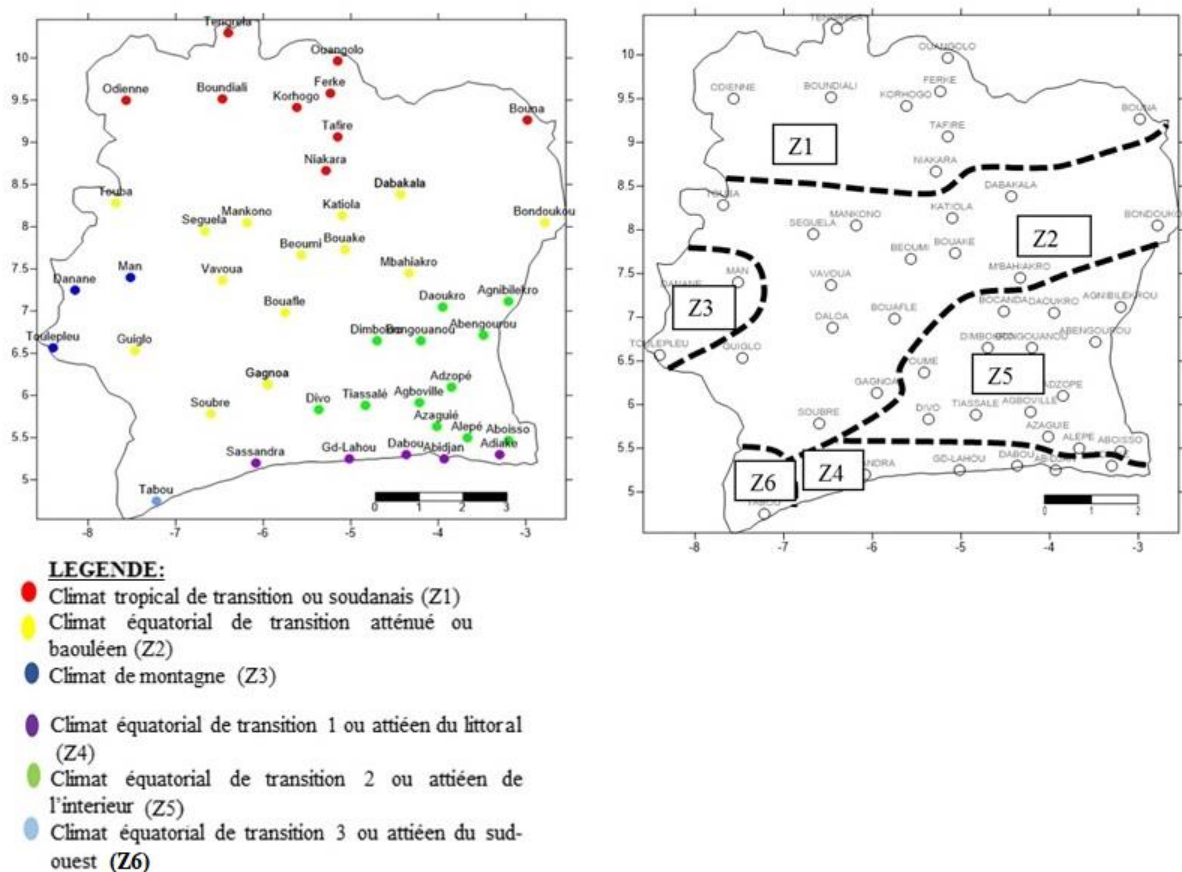


Fig. 5. Zonage climatique de la Côte d'Ivoire à partir des indices climatiques

Une confrontation des résultats de zonage climatique réalisé à partir des indices climatiques et des méthodes multivariées (ACP et CHA) appliquées par Kouao *et al.* [9] a été faite. Les indices climatiques ont confirmé les résultats de l'ACP au niveau de l'appartenance des stations de Tengrela, Odienné, Boundiali, Ouangolo, Ferké, Korhogo, Tafiré, Niakara et Bouna au régime tropical de transition (climat soudanais). Cependant, la station de Touba a été identifiée comme appartenant au climat tropical humide (climat baouléen), ce qui confirme les résultats de la CHA contrairement à l'ACP qui l'a intégré dans le climat soudanais. Au niveau du régime montagnard, alors que les différentes méthodes multivariées s'accordent sur l'appartenance des quatre (4) stations retenues (Man, Guiglo, Danané et Touleupleu) au régime de Montagnes, les indices climatiques classent la station de Guiglo dans le régime tropical humide (climat baouléen). Les indices climatiques ont pu dissocier la station de Tabou qui représente une particularité du climat équatorial de transition (climat attiéen du Sud-Ouest) du climat attiéen du littoral (Abidjan, Adiaké, Dabou, Grand-Lahou et Sassandra) contrairement aux méthodes multivariées. Les indices climatiques ont permis de préciser le contour du climat baouléen en incluant les stations de Bouaflé, Daloa, Gagnoa et Soubré, qui ont été considérées comme appartenant au climat attiéen de l'intérieur par les analyses multivariées. Les indices climatiques utilisés ont donc été pertinents dans le zonage climatique de la Côte d'Ivoire et se présentent comme une bonne complémentarité aux méthodes multivariées.

Les résultats obtenus ont été confrontés aux travaux antérieurs d'autres auteurs. Selon les travaux de Kouakou *et al.* [7] réalisés sur la période 1980-2000 à partir de l'indice de Gaussen, les stations de M'bahiakro, Dimbokro, Daoukro, Divo, Abengourou, Agnibilekrou et Gagnoa, anciennement dans le climat équatorial de transition ont basculé dans le climat équatorial de transition atténué. Des points de convergence ont été constatés au niveau des stations de M'bahiakro et Gagnoa. Cependant, des divergences demeurent en ce qui concerne les autres stations. Ces divergences sont liées au fait que Kouakou *et al.* [7] se soient limités au seuil de 2T alors que ce seuil, ainsi que le seuil de 3T, ont été pris en compte dans l'étude menée. En effet, en considérant le seuil de 2T, nous parvenons aux mêmes conclusions. Des points d'accord ont été obtenus au niveau des stations de Bouna et de Niakaramandougou qui ont basculé dans le climat tropical de transition. La station de Gagnoa a aussi basculé dans le climat équatorial de transition atténué. Des points de désaccord ont été également observés au niveau de la station de Séguéla qui a basculé dans le climat tropical de transition selon Kouakou *et al.* [7]. Cette station était considérée comme appartenant au climat équatorial de transition atténué selon cette étude et les travaux de Goula

et al. [16]. Il en est de même pour la station de Toulepleu qui a été considérée comme station du climat de montagne à la suite de ce travail alors que Kouakou *et al.* [7] l'ont déclaré comme station du climat équatorial de transition atténué.

Les changements climatiques constatés en Afrique de l'Ouest en général et en Côte d'Ivoire en particulier, ont eu pour conséquences de modifier les régimes climatiques de façon générale sur toute l'étendue du territoire. Cependant, le littoral ivoirien n'aurait pas été touché par le phénomène. Les travaux de Servat *et al.* [17] sur l'Afrique de l'Ouest et Centrale ont montré que sur l'ensemble des pays étudiés que seuls 3 pays de l'Afrique de l'Ouest bordant le Golfe de Guinée (Côte d'Ivoire, Togo et Bénin) ont connu des modifications notables au niveau des régimes climatiques. En effet, le déroulement des saisons des pluies semble dorénavant un peu différent de ce qui était observé précédemment (avant la sécheresse). Le littoral reste toutefois une zone à 2 saisons des pluies. Une tendance au raccourcissement des saisons des pluies semble se dégager. Plus précisément, en Côte d'Ivoire, la seconde saison des pluies a une durée plus courte qu'auparavant. La première saison des pluies connaît la même tendance, mais de manière moins importante. Au Togo comme au Bénin, le raccourcissement de la durée touche surtout la première saison des pluies. Au Cameroun, c'est l'inverse. Selon Servat *et al.* [17], l'analyse des dates de début et de fin de saison des pluies dans les zones à une ou à deux saisons des pluies montre que l'une de ces saisons, voire les deux, a, en effet, une durée plus courte qu'auparavant.

Cela est lié au fait que, soit la saison des pluies débute plus tardivement, soit elle s'arrête plus précocement, sans qu'il soit cependant possible de généraliser. Ce relatif raccourcissement des durées de saisons des pluies s'inscrit cependant, très logiquement dans le cadre de la baisse de la pluviométrie constatée dans toute la zone ouest africaine et centrale.

La comparaison des moyennes pluviométriques mensuelles des données des stations du Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire sur les périodes 1951-1960 (période humide) et 2001-2008 (période sèche) effectuée par Diomandé [18], a montré que d'une façon générale, en raison de l'inégale répartition des quantités de pluie, les mois de mars et octobre sont en train de basculer de nos jours, dans la tendance des mois secs. On assiste à une accentuation du caractère unimodal qui tend à se limiter à un nombre réduit de mois humides dans l'année.

Les travaux de Yao *et al.* [19] sur le bassin versant de la Lobo (Ouest de la Côte d'Ivoire) portant sur la variation moyenne mensuelle interannuelle des précipitations avant et après la rupture de 1966 ont montré que la différence notable réside dans le fait que les quantités d'eau précipitées après la rupture sont relativement en baisse indépendamment des saisons. Néanmoins, on constate qu'au mois d'août la pluviométrie après rupture est supérieure à celle d'avant rupture. L'observation générale montre que les mois les plus pluvieux (septembre et octobre) sont les plus affectés par la baisse de la pluviométrie.

4 CONCLUSION

La combinaison de l'indice de Gauss et de l'indice de De Martonne a permis d'apporter des réponses à la problématique de la dynamique des régimes climatiques saisonniers de la Côte d'Ivoire dans un contexte de climat changeant. En effet, l'étude menée à partir de l'indice de Gaussen a permis de déterminer plusieurs régimes climatiques saisonniers en Côte d'Ivoire: le régime unimodal à deux saisons, le régime bimodal à deux saisons, le régime bimodal à quatre saisons et des régimes spécifiques. Aussi, l'indice de De Martonne a permis de déterminer trois différents types de régimes climatiques (climat semi-humide, climat humide, climat très humide). Ainsi, la combinaison des deux indices a permis de mettre en évidence six (6) zones climatiques homogènes que sont le climat tropical de transition ou soudanais, le climat équatorial de transition ou baouléen, le climat de montagnes, le climat équatorial de transition 1 ou attiéen du littoral, le climat équatorial de transition 2 ou attiéen de l'intérieur et le climat équatorial de transition 3 ou attiéen du Sud-Ouest. L'analyse sur deux périodes trentenaires (1941-1970 et 1971-2000), a montré que les changements climatiques constatés en Afrique de l'Ouest en général et en Côte d'Ivoire en particulier, ont eu pour conséquences de modifier les régimes climatiques saisonniers de façon générale sur toute l'étendue du territoire. Cependant, le littoral ivoirien n'aurait pas été touché par le phénomène. Les résultats obtenus peuvent servir de base pour la caractérisation et la prévision de la sécheresse en Côte d'Ivoire.

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 SODEXAM pour leur avoir fourni les données de pluie et de température utilisées dans cette étude.

REFERENCES

- [1] Salama H., « Régionalisation pluviométrique du bassin Tensift (Maroc). », Larhyss Journal, n°9, pp.111-119, 2010.
- [2] Soro G., « Modélisation statistique des pluies extrêmes en Côte d'Ivoire », Thèse de Doctorat, Université Nangui-Abrogoua, Côte d'Ivoire, 172p., 2011.
- [3] Talia A., Meddi M., Bekoussa B.S., « Etude de la variabilité de la pluviométrie dans les hauts plateaux et le Sahara algériens. », Sécheresse, vol.22, pp.149-58, 2011.
- [4] Goula B.T.A., Soro G.E., Kouassi W., Srohourou B., « Tendances et ruptures au niveau des pluies journalières extrêmes en Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest). », Hydrological Sciences Journal, vol.57, n°6, pp.1067-1080, 2012.
- [5] Chibane B., Bentchakal M., Medjerab A., Benfares B., « De la variabilité et de la structure de pluie annuelle dans une région semi-aride: cas du bassin versant de la MACTA (Nord-Ouest algérien). », Larhyss Journal, n°23, pp.213-229, 2015.
- [6] Koudou A., Kouamé K.A., Niamké K.H., Kouamé K.F., Saley M.B., Adja M.G., « Contribution de l'analyse en composantes principales à la régionalisation des pluies du bassin versant du N'zi, de la Côte d'Ivoire. », Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies, vol.26, pp.156-172, 2015.
- [7] Kouakou K.E., Moussa H., Kouassi A.M., Goula B.T.A., Savané I., «Redefinition of homogeneous climatic zones in Cote d'Ivoire in a context of climate change.», International Journal of Scientific & Engineering Research, vol.8, n°11, pp.453-462, 2017.
- [8] Touhami M., « Régionalisation et variabilité pluviométrique dans le Nord-Centre Ouest de Algérien (Approche statistique) », Mémoire pour l'obtention du Master en Sciences de la Nature et de la Vie, Université Djilali Bounaama Khemis, 52p., 2017.
- [9] Kouao J.M., Kouassi A.M., Dekoula S.C., Asseufi B.D., « Analyse de la régionalisation climatique de la Côte d'Ivoire dans un contexte de climat changeant. », Larhyss, n°41, pp.233-259, 2020.
- [10] Mokhtari N., Mrabet R., Lebailly P., Bock L., « Spatialisation des bioclimats, de l'aridité et des étages de végétation du Maroc. », Revue marocaine des sciences agronomiques et vétérinaire, vol.2, n°1, pp.50-66, 2013.
- [11] Kotti C., Mahé G., Habaieb H., Dieulin C., Calvez R., Ben-Ali H., « Etude des pluies et des débits sur le bassin versant de la Medjerda, Tunisie. », Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Terre, n°38, pp.19-28, 2016.
- [12] Brou Y.T., «Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire», Mémoire de synthèse des activités scientifiques présenté en vue de l'obtention de l'Habilitation à Diriger des Recherches, Université des sciences et technologies de Lille, France, 226p., 2005.
- [13] Bridi K., « Impact des changements climatiques sur l'environnement du bassin du Tensift », Master Sciences et Techniques: Hydrologie de Surface et Qualité des Eaux, Université Sidi Mohammed Ben Abdallah, Faculté des Sciences et Techniques, Maroc, 78p., 2012.
- [14] Farah A.K., « Changement climatique ou variabilité climatique dans l'Est algérien », Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magistère en écologie et environnement Option: pathologie des écosystèmes forestiers, 113p., 2014.
- [15] Sebaibi A., « Potentialités agro-climatiques de la région de Zenata et de Maghnia: Étude d'une longue série climatique », Université Abou-Bekr Belkaid – TLEMCEM, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, des Sciences de la Terre et de l'Univers Département d'Agronomie et de Foresterie, 165 p., 2014.
- [16] Goula B.T.A., Konan B., Brou Y.T., Savané I., Fadika V., Srohourou B., « Estimation des pluies exceptionnelles journalières en zone tropicale: cas de la Côte d'Ivoire par comparaison des lois Lognormale et de Gumbel. », Journal des Sciences Hydrologiques, vol.52, n°2, pp.49-67, 2007.
- [17] Servat E., Paturel J.E., Lubes-niel H., Kouamé B., Masson J.M., Travaglio M., Marieu B., « De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne. », Revue des Sciences de l'Eau, vol.12, n°2, pp.363-387, 1999.
- [18] Diomandé B.I., « Evolution climatique récente dans les régions Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire et ses impacts environnementaux et socio-économiques », Thèse de Doctorat Unique, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 181p., 2011.
- [19] Yao A.B., Goula B.T.A., Kouadio Z.A., Kouakou K.E., Kané A., Sambou S., « Analyse de la variabilité climatique et quantification des ressources en eau en zone tropicale humide: cas du bassin versant de la Lobo au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. », Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie, n°19, pp.136-150, 2012.