

ORIGINAL ARTICLE

ETUDE DE LA VARIABILITÉ SPATIO-TEMPORELLE DU CLIMAT DANS LES ZONES DE PRODUCTION CACAOYÈRE EN CÔTE D'IVOIRE (ABENGOUROU, SOUBRÉ ET VAVOUA)



STUDY OF SPATIO-TEMPORAL CLIMATE VARIABILITY IN COCOA-PRODUCING AREAS IN CÔTE D'IVOIRE (ABENGOUROU, SOUBRÉ AND VAVOUA)

| Yerayou Céline Ouattara^{1*} | Cherif Mamadou¹ | Yves Frédéric Cyriak Amani¹ | et | Sanogo Souleymane¹

¹ African Center of Excellence for Climate Change, Biodiversity and Sustainable Agriculture, Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire
Université Félix Houphouët-Boigny | l'Unité de Formation et de Recherche Biosciences | Abidjan | Côte d'Ivoire |

| DOI: 10.5281/zenodo.18089638 | | Received December 25, 2023 | | Accepted January 5, 2026 | | Published January 12, 2026 | | ID Article | Ouattara-Ref7-6-22ajiras251225 |

RESUME

Introduction : La cacaoculture constitue un secteur stratégique majeur de l'économie ivoirienne, mais elle est de plus en plus vulnérable aux effets du changement climatique. L'augmentation des températures, la forte variabilité des précipitations et les modifications des régimes saisonniers perturbent le bilan hydrique et le cycle végétatif du cacaoyer. Ces évolutions compromettent la durabilité des zones de production cacaoyère en Côte d'Ivoire. **Objectif :** L'étude a pour objectif d'analyser la variabilité spatio-temporelle du climat et ses effets sur la durabilité des systèmes cacaoyers dans les principales régions de production de la Côte d'Ivoire (Abengourou, Soubré et Vavoua), d'identifier les ruptures climatiques majeures et d'évaluer leurs impacts sur les conditions hydriques, la saison humide et la période de végétation active. **Méthodes :** La méthodologie s'appuie sur l'exploitation de séries climatiques de 33 ans (1990–2022) fournies par la SODEXAM, incluant précipitations, températures, humidité et évapotranspiration potentielle. L'analyse utilise l'indice de Nicholson et le filtre de Hanning pour traiter les fluctuations pluviométriques, le test de Pettitt pour la détection des ruptures. Les périodes humides et l'activité végétative sont déterminées à partir des diagrammes Pt–ET–ET/2 et ET–HR. **Résultats** Les précipitations dans les trois localités étudiées montrent une forte variabilité interannuelle, alternant périodes déficitaires (1990–2008/2012, -6,8 % à -19,4 %) et excédentaires (+9,2 % à +21,3 %). Autour de 2008–2009, des ruptures climatiques significatives apparaissent avec des hausses des précipitations (+215 à +644 mm), des températures (+0,62 à +1,01 °C) et de l'évapotranspiration (+4,5 à +24,6 %). Le calendrier climatique se décale, marquant un début plus précoce des phases humides et un allongement des périodes végétatives, traduisant une recomposition différenciée des conditions hydriques dans les zones cacaoyères d'Abengourou, Soubré et Vavoua. **Conclusion :** Cette étude met en évidence l'émergence d'un nouveau régime climatique dans les zones cacaoyères ivoiriennes, caractérisé par une reconfiguration des régimes hydriques et saisonniers. Malgré l'augmentation récente des précipitations, la hausse des températures et de l'évapotranspiration accentue les contraintes hydriques sur la cacaoculture. Ces résultats soulignent la nécessité de stratégies d'adaptation territorialisées fondées sur une gestion durable de l'eau et des pratiques agroécologiques.

Mots clés : Côte d'Ivoire, Changement climatique, Durabilité, Adaptation, cacaoculture.

ABSTRACT

Introduction: Cocoa farming is a major strategic sector of the Ivorian economy, but it is increasingly vulnerable to the effects of climate change. Rising temperatures, high rainfall variability, and changes in seasonal patterns disrupt the water balance and the vegetative cycle of the cocoa tree. These changes compromise the sustainability of cocoa-producing areas in Côte d'Ivoire. **Objective:** This study aims to analyze the spatio-temporal variability of climate and its effects on the sustainability of cocoa systems in the main production regions of Côte d'Ivoire (Abengourou, Soubré, and Vavoua), to identify major climatic breaks, and to assess their impacts on water conditions, the wet season, and the active growing period. **Methods:** The methodology is based on 33 years of climate data (1990–2022) provided by SODEXAM, including rainfall, temperature, humidity, and potential evapotranspiration. The analysis employs the Nicholson index and the second-order Hanning filter to process rainfall fluctuations, and the Pettitt test to detect climatic breaks. Wet periods and vegetative activity are determined from Pt–ET–ET/2 and ET–HR diagrams. **Results:** Rainfall in the three study locations exhibits strong interannual variability, alternating between deficit periods (1990–2008/2012, -6.8% to -19.4%) and surplus periods (+9.2% to +21.3%). Around 2008–2009, significant climatic breaks were observed, with increases in rainfall (+215 to +644 mm), temperature (+0.62 to +1.01 °C), and evapotranspiration (+4.5% to +24.6%). The climatic calendar is shifting, with an earlier onset of wet seasons and longer vegetative periods, reflecting a differentiated reconfiguration of water conditions in the cocoa-growing areas of Abengourou, Soubré, and Vavoua. **Conclusion:** This study highlights the emergence of a new climatic regime in Ivorian cocoa-growing areas, characterized by a reorganization of water and seasonal patterns. Despite the recent increase in rainfall, rising temperatures and evapotranspiration exacerbate water stress in cocoa farming. These results underscore the need for localized adaptation strategies based on sustainable water management and agroecological practices.

Keywords: Côte d'Ivoire, Climate change, Cocoa farming, Sustainability, Adaptation

1. INTRODUCTION

Depuis plusieurs décennies, la Côte d'Ivoire, à l'instar des autres pays d'Afrique de l'Ouest, est confrontée à des changements climatiques marqués, rendant les zones de production cacaoyère particulièrement vulnérables [1,2]. La cacaoculture fait face à de nombreuses contraintes majeures, parmi lesquelles figurent le vieillissement des vergers, accentué par la baisse progressive de la fertilité des sols, ainsi qu'une forte pression parasitaire liée aux insectes ravageurs et aux maladies, notamment le Swollen Shoot [3,4]. À ces contraintes s'ajoute de manière prépondérante l'évolution défavorable du climat, qui constitue aujourd'hui l'un des principaux déterminants de la durabilité des systèmes de production cacaoyère [5,6]. Ces changements climatiques se manifestent notamment par une augmentation des températures, en particulier durant la saison sèche, un facteur reconnu comme déterminant pour la croissance et la productivité des cacaoyers [6]. Par ailleurs, cette hausse thermique s'accompagne d'une variabilité intra-annuelle accrue des précipitations, affectant à la fois les quantités de pluie et leur répartition temporelle, notamment en ce qui concerne la durée et le calendrier des saisons pluvieuses, avec des impacts directs sur les rendements cacaoyers [6]. La sécheresse, résultant de ces perturbations climatiques, constitue ainsi l'une des principales menaces pesant sur la cacaoculture et appelle une attention particulière dans les stratégies de planification agricole, de diversification des systèmes de production et de conservation des espèces pérennes au sein des vergers cacaoyers [7,8]. À cet égard, les travaux de Läderach [9,10] projettent une augmentation moyenne des températures de 1,2 °C à l'horizon 2030 et de 2,1 °C à l'horizon 2050 dans les principales zones de production cacaoyère de la Côte d'Ivoire. Dans ce contexte, il apparaît nécessaire, plus d'une décennie après ces projections, d'évaluer l'évolution récente du climat dans les zones cacaoyères ivoiriennes afin de mieux comprendre les dynamiques climatiques qui influencent les systèmes de production cacaoyère. Ainsi, la présente étude vise à caractériser le changement climatique dans les différentes zones de production cacaoyère de la Côte d'Ivoire, à travers l'analyse de la variabilité spatio-temporelle des principales variables.

2. MATERIELS et METHODES

2.1 Données climatiques

Les données climatiques mobilisées dans cette étude comprennent la pluviométrie (mm), les températures moyenne (°C), l'humidité relative moyenne (%) ainsi que l'évapotranspiration (ET) (mm). Elles ont été fournies par la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM). Ces données couvrent une période de 33 ans, de 1990 à 2022, conformément aux recommandations de l'Organisation météorologique mondiale pour les analyses climatiques [11], et proviennent des stations synoptiques des localités d'étude d'Abengourou, de Vavoua et de Soubré.

2.2. Matériel traitement

Le traitement des données a été réalisé par des logiciels spécialisés que sont :

- XLSTAT 2013 qui a permis de faire les tests statistiques
- Excel qui a permis de faire les graphiques présentés dans ce document

2.3. Milieu d'étude

Nos travaux de recherche ont été conduits dans les départements d'Abengourou, Soubré, et Vavoua. La localité d'Abengourou (latitudes 5°45 et 7°10 Nord et les longitudes 3°10 et 3°50) situé au Sud-Est constitue l'ancienne boucle de production cacaoyère et caractérisée par un verger sénescents et une forte dynamique de diversification vers d'autres cultures pérennes. Abengourou est une zone caractérisée par un climat subéquatorial avec des précipitations moyennes allant de 1200 à 1700 mm par an. Les températures moyennes varient de 24 à 32°C [12]. La localité de Vavoua est une zone de transition forêt-savane (7° 22' 54.998,8" Nord et 6° 28' 40,001" Ouest). Située au Centre-Ouest, elle est marquée par l'arrêt des extensions cacaoyères, le vieillissement du verger et la baisse de la fertilité des sols. En termes de climat la zone de Vavoua est caractérisée par un climat de type tropical localement appelé climat attiéen. Cette zone présente deux types de végétations notamment la zone forestière qui occupe la majeure partie et la zone des savanes ou savane pré-forestière. La localité de Soubré (de 5° 47' 34,0" Nord et 6° 35' 41,8" Ouest) est située au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire et est caractérisée par un développement vertigineux de la cacaoculture depuis les deux dernières décennies et représentent la première zone de production. La localité de Soubré est soumise à un climat de type équatorial humide.

2.3. Analyse des fluctuations pluviométriques interannuelles

L'évaluation de la fluctuation interannuelle s'est intéressée à la détection des changements des moyennes annuelles des séries de données pluviométriques. Elle consiste à déterminer les périodes excédentaire et déficitaire pluviométriques. A cet effet, il a été calculé les indices pluviométriques annuels en utilisation l'indice de Nicholson ou la variable standardisée suivi du filtre passe-bas de Hanning d'ordre 2 pour une meilleure observation des fluctuations

interannuelles. Le calcul de l'Indice de Nicholson (1988) [13] pour déterminer les années déficitaires et excédentaires de la pluviométrie suit l'équation suivante :

$$I_i = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} \quad (1)$$

Avec : X_i = hauteur de pluie en mm (ou débit (m^3/s)) de l'année i ; \bar{X} = hauteur de pluie (mm) (ou débit (m^3/s)) moyenne sur la période d'étude ; σ = écart type de la hauteur de pluie (ou débit) sur la période d'étude.

Pour réduire l'effet des hautes fréquences et lisser la série de donnée pluviométrique tout en préservant les tendances générales nous avons utilisé filtre passe-bas de Hanning d'ordre 2. La mise en œuvre de ce filtre se fait par la pondération des totaux pluviométriques en utilisant les équations ci-dessous telles que présentées par Tyson *et al.* (1975). L'estimation de chaque terme d'une série s'effectue de la manière suivante :

$$x(t) = 0,06(t-2) + 0,25(t-1) + 0,38(t) + 0,25(t+1) + 0,06(t+2) \quad (2)$$

$$\text{pour } 3 \leq t \leq (n-2) \quad (3)$$

Où $x(t)$ est le total pluviométrique pondéré du terme t , $x(t-2)$ et $x(t-1)$ sont les totaux pluviométriques observés de deux termes qui précèdent immédiatement le terme t , et $x(t+2)$ et $x(t+1)$ sont les totaux pluviométriques observés de deux termes qui suivent immédiatement le terme t . Les totaux pluviométriques pondérés des deux premiers [x_1, x_2] et les deux derniers [$(n-1), x_n$] termes de la série sont calculés au moyen des expressions suivantes :

$$X(1) = 0,54X(1) + 0,46X \quad (4)$$

$$X(2) = 0,25X(1) + 0,50X(2) + 0,25X(3) \quad (5)$$

$$X(N-1) = 0,25X(N-2) + 0,50X(N-1) + 0,25X(N) \quad (6)$$

$$X(N) = 0,54X(N) + 0,46X(N-1) \quad (7)$$

Le pourcentage de déficit ou d'excédent pluviométrique est calculé par rapport à une valeur de référence (moyenne). Il permet de mettre en évidence les périodes sèches ou excédentaires par rapport à la normale. Le calcul a été fait selon l'équation suivant :

$$\% \text{ Déficit/Excédent} = ((P_p - P_m) / P_m) \times 100 \quad (8)$$

P_p = Pluviométrie moyenne observée pendant la période étudiée

P_m = Pluviométrie moyenne de la période de référence (normale climatique)

Si le résultat est négatif, il s'agit d'un déficit pluviométrique.

Si le résultat est positif, il s'agit d'un excédent pluviométrique.

2.4. Analyse de la stationnarité climatique

Le test de rupture de stationnarité a été utilisé pour déceler d'éventuels changements et pour déterminer la pertinence des tendances observées dans les différentes séries climatiques. Une rupture est un changement dans la loi de probabilité de la série chronologique à un instant donné [14]. Les séries ont été soumises au test de Pettitt [15], qui permet d'identifier les années charnières du changement climatique [16].

- Test de Pettitt

Le test statistique de Pettitt a été appliqué aux moyennes annuelles des données climatiques afin de détecter les ruptures de tendance. Le test de Pettitt est non-paramétrique [14]. Il dérive du test de Mann-Whitney [17]. La mise en œuvre du test suppose que pour tout instant t compris entre 1 et N , les séries chronologiques (X_i) $i=1$ à t et $t+1$ à N appartiennent à la même population. La série principale présente une rupture à l'instant t si les deux sous séries ont des distributions différentes. L'absence d'une rupture dans la série (X_i) de taille N constitue l'hypothèse nulle. Cette hypothèse nulle H_0 , de non-rupture, est testée au moyen d'un test non paramétrique. La variable à tester est le maximum en valeur absolue de la variable U_t , N , définie par l'équation 12 :

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij} \quad (9)$$

Où $D_{ij} = sgn(X_i - X_j)$ avec $sgn(X) = 1$ si $X > 0$; 0 si $X = 0$ et -1 si $X < 0$.

Au cas où l'hypothèse nulle est rejetée, une estimation de la date de rupture est donnée par l'instant t définissant le maximum en valeur absolue de la variable U_t , N . Pour un risque α de première espèce donné, H_0 est rejetée si une certaine probabilité ($\text{Prob}(K_N > k)$) calculée à partir de la série chronologique étudiée est inférieure à α .

$$\text{Prob}(K_N > k) \approx 2\exp\left[-\frac{6k^2}{N^3+N^2}\right] \quad (10)$$

La valeur de la probabilité (α) permet de déterminer le niveau de signification de la rupture ou son importance (Tableau 1).

Tableau 1: Différentes classes selon la probabilité associée à la rupture.

Probabilité associée	Classes
$\alpha < 1\%$	Rupture très significative
$1 < \alpha < 5\%$	Rupture significative
$5\% < \alpha < 20\%$	Rupture peu significative
$\alpha > 20\%$	Série homogène

Chaque sous-échantillon obtenu peut être également soumis au test, subdivisant ainsi les séries en périodes globalement homogènes et présentant des moyennes significativement différentes les unes des autres. L'influence climatique des ruptures, révélée dans les séries de données temporelles est rendue par le calcul de l'écart de variation qui permet d'apprécier s'il s'agit d'un déficit ou d'un excédent noté (D). Cet écart D est évalué en appliquant la relation suivante :

$$D = X_j / X_i - 1 \quad (11)$$

où

X_j : est la moyenne des variations du paramètre climatique après la rupture,

X_i : la moyenne des variations du paramètre climatique avant la rupture.

Les conditions d'analyse de l'écart de variation s'expriment comme suit :

- si $D > 0$; on a un excédent au niveau de la période après rupture,
- si $D < 0$; on a un déficit au niveau de la période après rupture.

2.5. Saison humide et période de végétation active dans la série chronologique des zones d'Abengourou, Vavoua et Soubré

2.5.1. Saison humide dans la série chronologique des zones d'Abengourou, Vavoua Soubré

Dans les localités d'étude la saison humide a été analysée à l'aide du diagramme climatique Pt-ET-ET/2 tandis que la période de végétation active a été analysée à l'aide du climatogramme ET-HR. Le diagramme Pt-ET-ET/2 consiste à représenter sur une même figure les courbes des précipitations mensuelles, de l'évapotranspiration potentielle et de l'évapotranspiration demi-potentielle, également connu sous le nom de courbe de Franquin [18]. Il communique des informations sur la saison humide (bilan hydrique), et peut être divisée en trois périodes principales (Tableau 2).

Tableau 2 : Différentes classes selon la hauteur pluviométrique annuelle.

Période hydrique	Classes des hauteurs pluviométriques annuelles
Période pré-humide	$1/2 ET < P < ET$
Période humide	$ET < P$
Période post-humide	$ET < P < 1/2 ET$

Selon Franquin (1969), en fonction des événements remarquables A1, B1, B2, A2, des trois périodes de la saison humide (A1-A2) sont représentées par les segments suivants : période pré-humide (A1B1), période humide (B1B2), période post-humide (B2A2).

2.5.2. Période de végétation active dans la série chronologique des zones d'Abengourou, Vavoua Soubré

Le diagramme climatique ET-HR montre les variations mensuelles de l'évapotranspiration (ET mm) et humidité relative de l'air (HR %) avec des gradations standard : une gradation de l'échelle ET (mm) correspond à deux subdivisions de l'échelle HR.

ET = 2HR

(12)

ET (mm) est indiqué à gauche et HR (%) à droite comme ordonné, et les mois de l'année sont dessinés en abscisse. Cette courbe aide à déterminer quand les conditions de l'eau sont les meilleures pour la croissance des plantes (moment auquel la HR > l'ET). C'est également au cours de cette période que l'on connaît en tant que période de végétation active où l'écoulement de la sève est abondant [19]. Ces courbes sont tracées à l'aide de deux variables différentes ; une examination de la variable pour laquelle il y a au moins une ou plusieurs ruptures dans son modèle a d'abord été réalisé, puis divisé la deuxième variable en sous-périodes égales à celles de la première variable dans le cas où cette seconde n'a pas de ruptures ou qu'elle présente des ruptures à des moments différents contrairement à la première variable [20]. Cette procédure vise à avoir des délais similaires pour ces variables. Par conséquent, lors du tracé des graphiques reliant les précipitations à l'ET, nous avons pris la quantité de précipitations comme première variable et pour celui reliant l'ET à l'HR de l'air, c'est l'ET qui a été considérée comme première variable. À partir de ces chiffres, une comparaison a été effectuée sur la variabilité intra-station et inter-station de la durée de la saison humide et de la durée de la période de végétation active parmi les sous-périodes détectées.

3. RESULTS

3.1. Variation des paramètres climatiques à Vavoua, Abengourou et Soubré

L'analyse des séries climatiques sur une période de 33 ans révèle des disparités notables entre les trois zones étudiées (

Tableau). En matière de précipitations, Soubré se démarque nettement comme la localité la plus arrosée, traduisant un régime pluviométrique plus favorable, tandis qu'Abengourou présente les cumuls les plus faibles. Vavoua occupe une position intermédiaire, mais reste plus proche de Soubré que d'Abengourou. Ces écarts indiquent que les conditions hydriques ne sont pas uniformes et que Soubré bénéficie d'une pluviométrie excédentaire par rapport aux deux autres sites, ce qui peut influencer positivement la disponibilité en eau pour les écosystèmes et les activités agricoles. Concernant les températures, les variations enregistrées demeurent relativement modérées entre les sites. Toutefois, Vavoua se distingue par des valeurs moyennes légèrement plus élevées, traduisant un climat plus chaud, suivie par Abengourou, alors que Soubré enregistre les températures les plus basses. Ces différences, bien que faibles, peuvent jouer un rôle sur l'évaporation et sur les besoins hydriques des cultures. En ce qui concerne l'humidité relative, les contrastes apparaissent également : Soubré enregistre des taux moyens plus élevés, suggérant une atmosphère plus humide, tandis que Vavoua présente les valeurs les plus faibles, traduisant des conditions plus sèches. Abengourou occupe une position intermédiaire. L'évapotranspiration potentielle suit une dynamique inverse : elle est plus élevée à Vavoua et Abengourou, traduisant une plus forte demande atmosphérique en eau, et plus faible à Soubré où l'humidité atténue le phénomène. Dans l'ensemble, ces résultats mettent en évidence des conditions climatiques hétérogènes entre les localités, caractérisées par une pluviométrie excédentaire et une humidité plus élevée à Soubré, contrastant avec un climat plus sec et plus chaud à Vavoua, tandis qu'Abengourou se situe dans une position intermédiaire. Ces disparités sont susceptibles d'avoir des implications. De manière générale, les températures présentent un CV très faible ($\approx 2\%$) dans les trois zones, traduisant une forte stabilité thermique caractéristique du climat tropical. Cette faible variabilité indique que les températures annuelles sont relativement constantes d'une année à l'autre, avec une amplitude thermique réduite dans chaque localité. En ce qui concerne l'humidité relative, les CV restent globalement faibles (3 à 5 %), témoignant d'une stabilité de l'humidité de l'air. Cette stabilité est plus marquée à Abengourou (3 %) et Soubré (4 %), tandis qu'elle est légèrement plus fluctuante à Vavoua (5 %), ce qui reflète une transition vers des zones où la saisonnalité est plus prononcée. La variabilité des précipitations, en revanche, révèle des différences plus significatives. Abengourou présente un CV modéré de 13 %, suggérant une pluviométrie relativement régulière malgré quelques fluctuations interannuelles. À l'inverse, Soubré (19 %) et Vavoua (18 %) affichent les CV les plus élevés, traduisant une forte variabilité pluviométrique entre les années dans chaque localité. Pour ce qui est de l'évapotranspiration potentielle (ET), les CV varient entre 4 % et 7 %. Abengourou présente la plus forte variabilité (7 %), en lien avec la variabilité pluviométrique modérée, tandis que Soubré (4 %) et Vavoua (5 %) montrent une variabilité faible à modérée. Cette relative stabilité de l'ET découle de la constance thermique et de l'humidité de l'air. En somme, les trois localités se distinguent principalement par la variabilité des précipitations, nettement plus élevée à Soubré et Vavoua, alors que la température et l'humidité restent globalement stables sur l'ensemble du territoire étudié.

Ces contrastes indiquent que les risques climatiques associés aux fluctuations annuelles touchent surtout les ressources hydriques, particulièrement dans les zones à forte variabilité pluviométrique.

Tableau 2 : Analyse descriptive des paramètres climatiques pendant la période 1990-2022.

Variables climatiques	Zones Climatiques					
	Abengourou					
	Période d'observation	Maximum	Minimum	Moyenne	Écart-type	Cv (%)
Précipitations annuelles moyennes (mm)	1990-2022	1657,4	996,8	1348,0	173,1	13
Humidité relative de l'air (%)	1990-2022	84,5	73,8	79,4	2,4	3
Température (°C)	1990-2022	26,9	24,5	25,7	0,6	2
Évapotranspiration potentielle (mm)	1990-2022	1315,7	1024,5	1173,8	78,3	7
Soubré						
	Période d'observation	Maximum	Minimum	Moyenne	Écart-type	Cv (%)
Précipitations annuelles moyennes (mm)	1990-2022	2340,5	1235,9	1582	305	19
Humidité relative de l'air (%)	1990-2022	89,7	77,3	83	3,6	4
Température (°C)	1990-2022	25,6	24,2	25,1	0,4	2
Évapotranspiration potentielle (mm)	1990-2022	1097,8	977,7	1039,0	36,5	4
Vavoua						
	Période d'observation	Maximum	Minimum	Moyenne	Écart-type	Cv (%)
Précipitations annuelles moyennes (mm)	1990-2022	1819,3	1034,4	1406,9	248,3	18
Humidité relative de l'air (%)	1990-2022	81,7	66,2	75,2	4,1	5
Température (°C)	1990-2022	27	25	25,8	0,5	2
Évapotranspiration potentielle (mm)	1990-2022	1317,0	1100,0	1191,0	54,7	5

Pt : Précipitations annuelles moyennes ; *HR*: Humidité relative de l'air ; *ET*: Évapotranspiration potentielle ; *T* : Température ; *Cv* : coefficients de variation.

Tableau 3 : Changement climatique entre les différentes zones étudiées.

Paramètre climatique	ABENGOUROU	SOUBRE	VAVOUA	F	p-value	Valeur critique pour F	Variance résiduelle	Significativité
Précipitations annuelles moyennes (mm)	1348	1582	1406,9	6,91	0,002	3,09	61721,85	s
Humidité relative de l'air (%)	79,4	83	75,2	42,69	5,43E-14	3,09	11,75	s
Température (°C)	25,7	25,1	25,8	20,75	3,24E-08	3,09	0,25	s
Évapotranspiration potentielle (mm)	1173,8	1039	1191	62,65	3,90E-18	3,09	3577,4	s

Dans les lignes, les moyennes suivies d'une même lettre sont statistiquement identiques au seuil de 5% ; Significativité : Significatif 's' lorsque $P < 0,05$.

3.2. Dynamiques pluviométriques et alternance des périodes sèches et humides

L'analyse des variations pluviométriques enregistrées à Abengourou, Soubré et Vavoua révèle une alternance entre périodes déficitaires et excédentaires, traduisant une dynamique climatique contrastée. À Abengourou, la période déficitaire s'étend de 1990 à 2008, avec une pluviométrie moyenne de 1256,64 mm, soit un déficit estimé à -6,8 % par rapport à la normale. Cette phase est suivie d'une période excédentaire, de 2008 à 2022, caractérisée par une nette hausse des précipitations, atteignant en moyenne 1471,9 mm, ce qui correspond à un excédent de +9,2 %. On observe donc un basculement marqué vers des conditions plus humides. À Soubré, une première phase déficitaire est enregistrée de 1990 à 2009, avec une moyenne annuelle de 1274,63 mm, traduisant un déficit pluviométrique de -19,4 %. En revanche, la période 2009-2022 présente une inversion de tendance avec une pluviométrie moyenne de 1618,57 mm,

représentant un excédent de +2,3 %. Cette évolution met en évidence une transition progressive vers des conditions plus favorables en termes d'apports hydriques. À Vavoua, la phase déficitaire s'étale de 1990 à 2012, avec une moyenne pluviométrique de 1297,2 mm, correspondant à un déficit de -7,7 %. Elle est suivie, entre 2012 et 2022, d'une période excédentaire particulièrement marquée, au cours de laquelle la pluviométrie atteint en moyenne 1645,99 mm, soit un excédent significatif de +17,1 %. Cette variation témoigne d'une accentuation notable des précipitations au cours de la dernière décennie. Dans l'ensemble, ces résultats traduisent une tendance générale à l'augmentation des précipitations récentes dans les trois stations étudiées, après des phases prolongées de déficit hydrique. Toutefois, l'intensité et la durée des périodes varient selon les localités, ce qui met en évidence l'hétérogénéité spatiale des dynamiques pluviométriques en Côte d'Ivoire (figure 1).

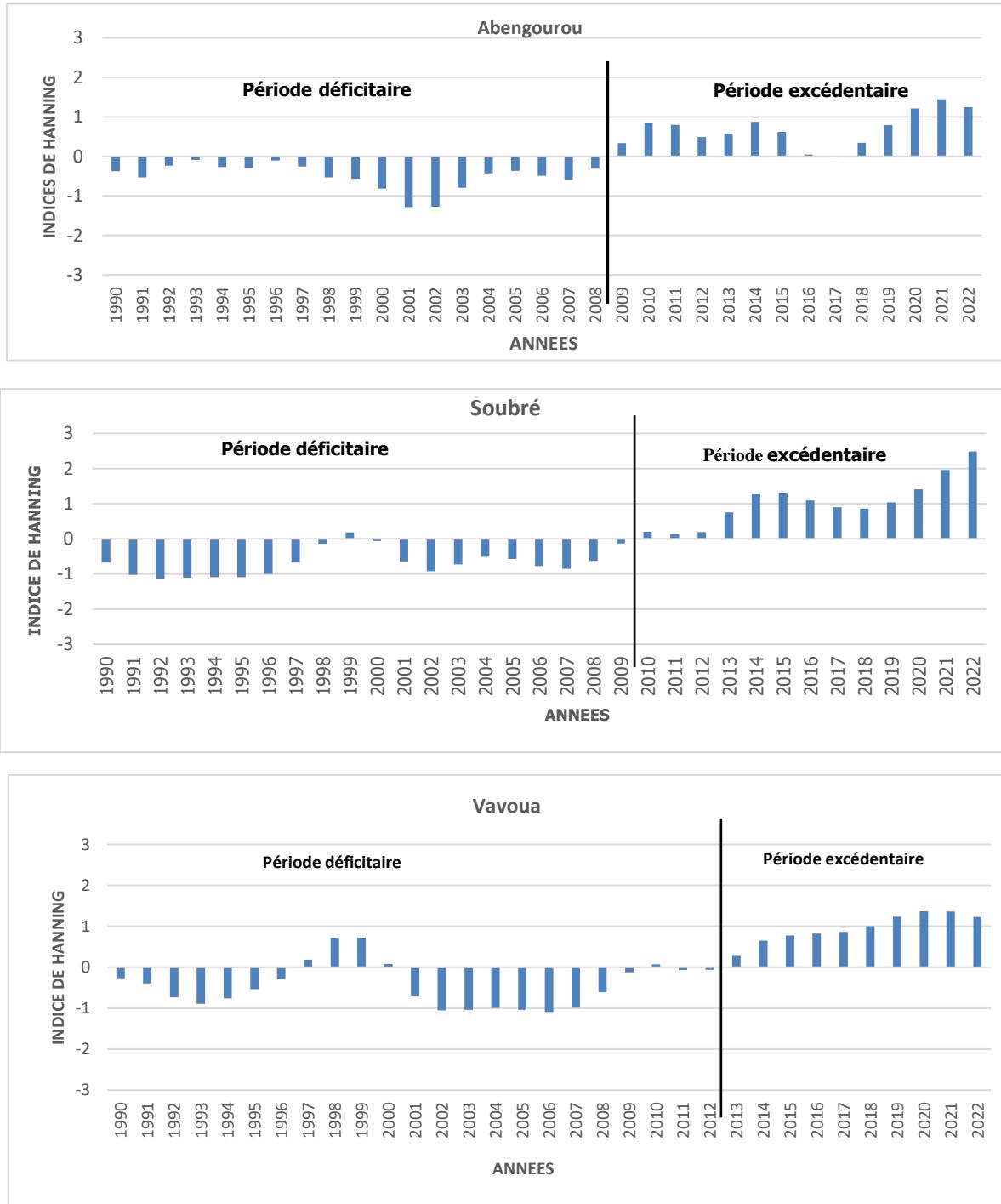


Figure 1 : Évolution de la pluviométrie interannuelle à Abengourou, à Soubré et Vavoua.

3.3. Détection des changements dans les séries temporelles des données climatiques

Les tendances observées, au niveau de l'ensemble des zones climatiques étudiées, sur la période 1990-2022 sont marquées par des ruptures de stationnarité dans l'évolution des paramètres climatiques étudiés (tableau 4). En effet, Ce test a révélé des ruptures dans les quatre séries de données analysées, à l'exception de celle de l'humidité relative

dans la région de Soubré (figure 2, figure 3, figure 4, figure 5). Par ailleurs, plusieurs dates de rupture ont été identifiées pour les variables climatiques au cours de la période de référence. L'ensemble des paramètres étudiés, à savoir la pluviométrie, l'humidité relative, l'évapotranspiration et la température, ont présenté une unique rupture à la hausse, bien que survenant à des dates distinctes et avec des intensités variables. Les différences entre les valeurs moyennes des variables climatiques, dans les périodes correspondant aux ruptures identifiées, se sont révélées hautement significatives ($p < 0,001$).

Une rupture à la hausse de la pluviométrie annuelle a été observée dans les trois localités étudiées. À Abengourou, une augmentation de +17,1% (215,26 mm) a été enregistrée en 2008. À Soubré, la rupture est intervenue en 2009, entraînant une hausse significative de +42,7 % (644 mm). De manière similaire, à Vavoua, une augmentation de +24,6 % (315 mm) a été enregistrée au cours de la même année.

Concernant l'humidité relative de l'air (HR %), aucune rupture n'a été détectée à Abengourou, mais des ruptures à la hausse ont été observées dans les deux autres localités (tableau 4). À Soubré, la rupture est intervenue en 2009, avec une augmentation de +6,7 %, tandis qu'à Vavoua, la rupture a eu lieu en 2008, avec une hausse de +7,8 %. L'évapotranspiration (ET mm) a également montré des ruptures à la hausse dans les trois stations durant la période de référence (Tableau 4). À Abengourou, une augmentation de +140,5 mm (+13 %) a été observée en 1999. À Soubré, une hausse de 45 mm (+4,5 %) a eu lieu en 2001. À Vavoua, une augmentation de 315 mm (+24,6 %) a été enregistrée en 2008. Enfin, la température a présenté une rupture dans chaque localité : À Abengourou, une hausse de 1,01 °C (+4,04 %) a été observée en 1999. À Soubré, la température a augmenté de 0,62 °C (+2,5 %) en 2001. À Vavoua, une hausse de 0,78 °C (+3,1%) a été enregistrée en 1999 (tableau 4). En résumé, les analyses révèlent des ruptures significatives à la hausse pour toutes les variables climatiques étudiées, avec des dates de rupture variant d'une localité à l'autre. L'analyse des séries temporelles (pluviométrie, humidité relative de l'air, température et évapotranspiration potentielle) met en évidence une tendance particulièrement remarquable : la majorité des variables présente une rupture située autour des années 2008-2009, indépendamment de la localité considérée tant disque que quelques variables présentent des ruptures antérieures traduisant une évolution qui n'est pas nécessairement synchrone. Néanmoins, cette convergence temporelle constitue un indicateur fort d'un changement structurel affectant simultanément plusieurs paramètres climatiques. Elle suggère qu'un événement ou un ensemble de processus climatiques à large échelle a influencé l'ensemble des zones étudiées durant cette période.

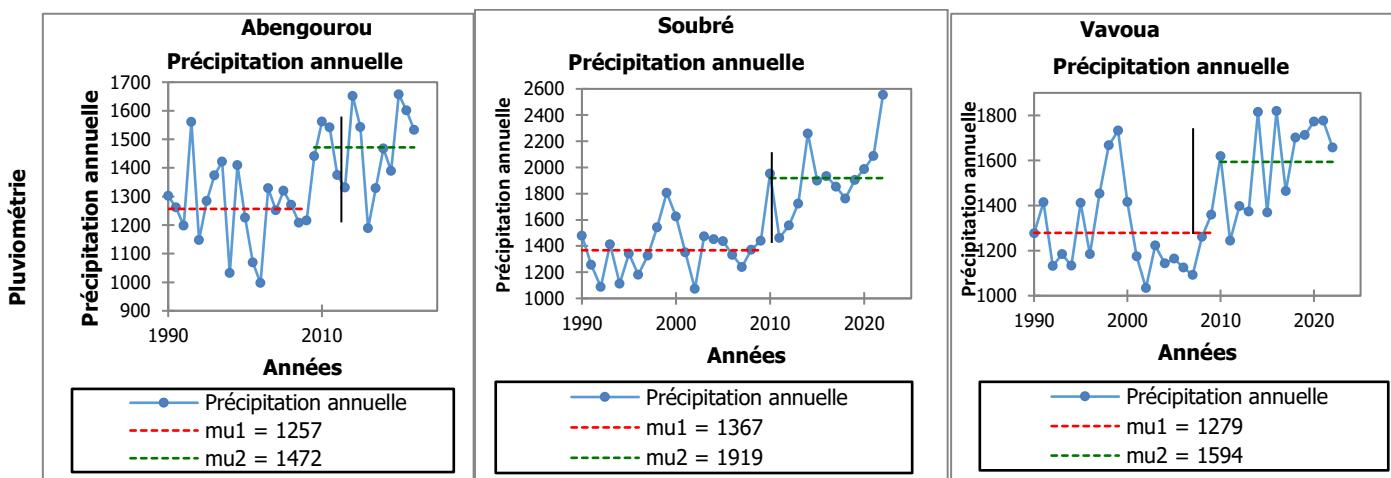


Figure 2 : Rupture dans les séries de données.

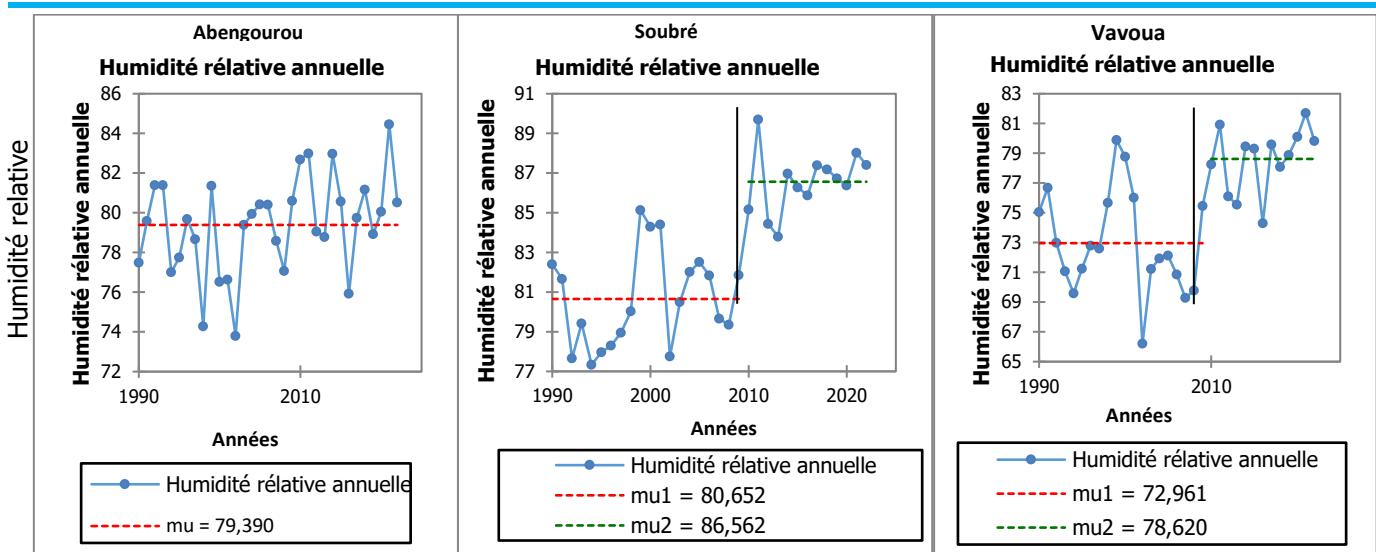


Figure 3 : Rupture dans les séries de données de l'humidité relative.

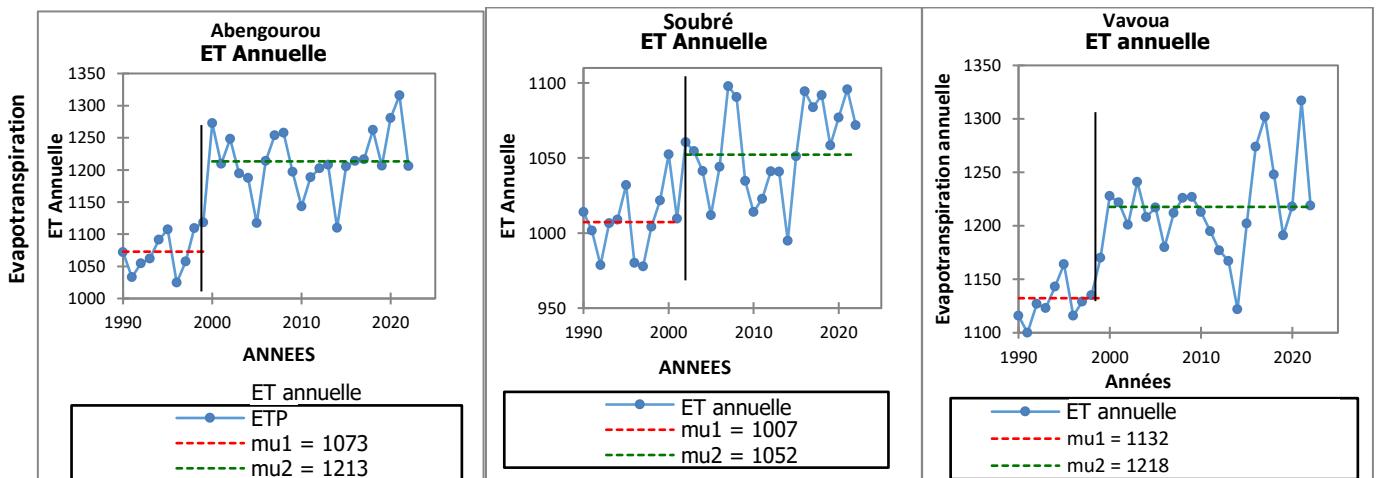


Figure 4: Rupture dans les séries de données d'évapotranspiration.

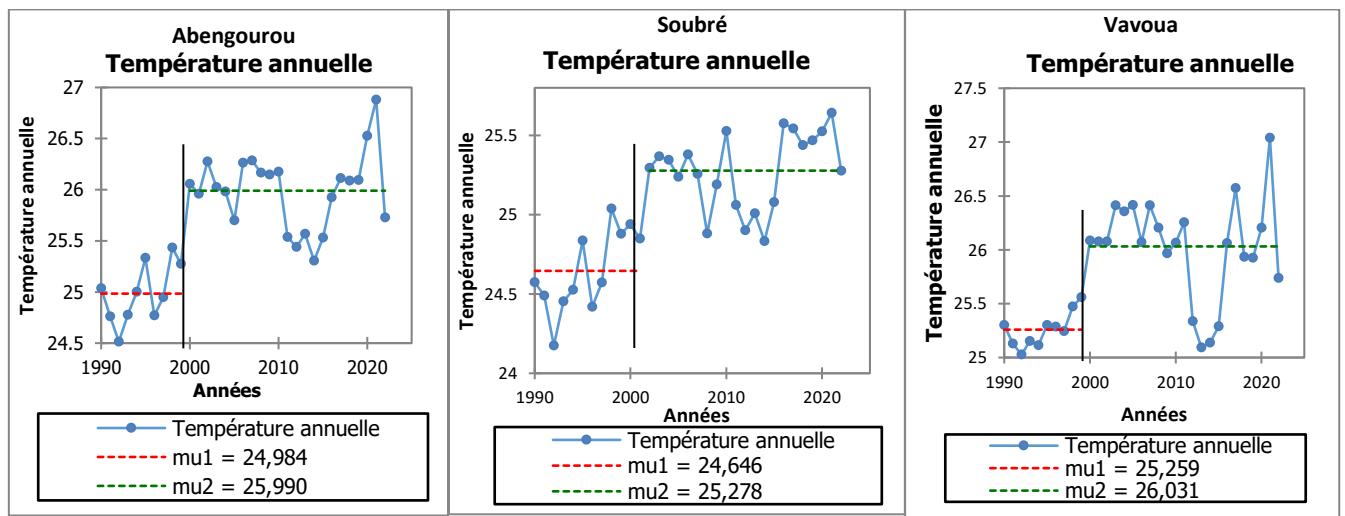


Figure 5: Rupture dans séries de données de température.

Tableau 4: Années de ruptures et tendances des variables climatiques à Abengourou, Soubré et Vavoua entre 1990 et 2022.

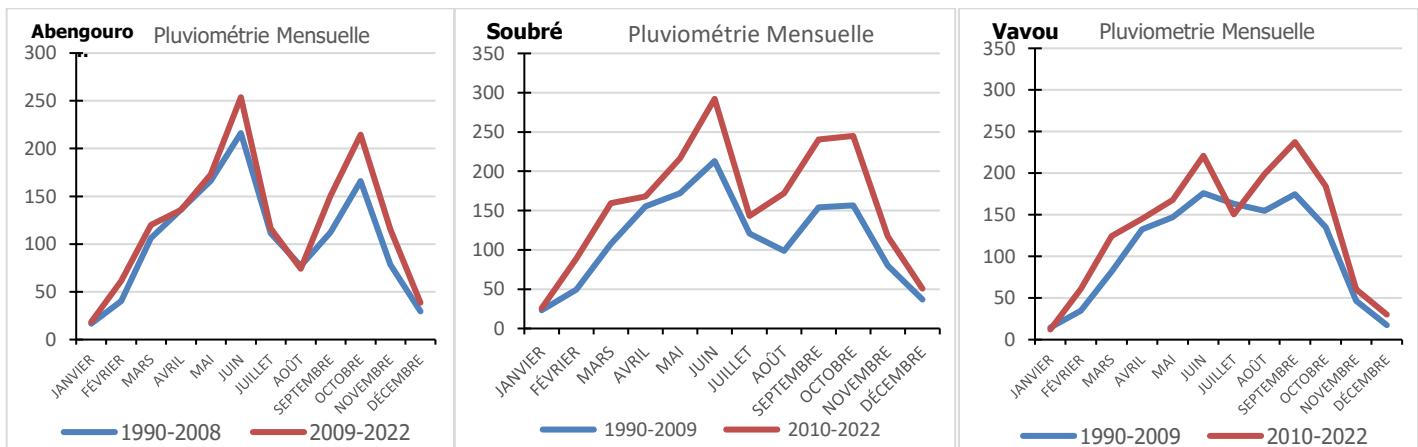
Paramètres climatiques	Abengourou				Soubré				Vavoua			
	Années de rupture	Segments	Moy	D	Années de rupture	Segments	Moy	D	Années de rupture	Segments	Moyennes	D

Pluviométrie (mm)	2008	1990-2008	1256,6	17,1%	2009	1990-2009	1274,6	42,7%	2009	1990-2009	1279	24,6 %
		2009-2022	1471,9			2010-2022	1818,5			2010-2022	1594	
Humidité relative (%)	Absence de rupture	Stabilité	2009	1990-2009	80,65	2008	1990-2008	72,96	2008	1990-2008	78,62	7,8%
				2010-2022	86,056		2009-2022	78,62		2009-2022	72,96	
Evapotranspiration (mm)	1999	1990-1999	1073	13%	2001	1990-2001	1007	4,5%	2008	1990-1999	1279	24,6%
		2000-2022	1213			2002-2022	1052			2000-2022	1594	
Température (°C)	1999	1990-1999	24,98	4,04%	2001	1990-2001	24,64	2,5%	1999	1990-1999	25,25	3,1%
		2000-2022	25,99			2002-2022	25,27			2000-2022	26,03	

\uparrow : hausse ; D : écart de déviation.

3.4. Variation mensuelle des paramètres climatiques au cours des périodes de ruptures

Les courbes d'évolution mensuelle de la pluviométrie, de température de l'air, de l'évapotranspiration et de l'humidité relative des sous-périodes correspondant aux ruptures ont les mêmes allures traduisant des dynamiques qualitatives presque identiques dans le temps, avec cependant quelques variations quantitatives. Le mois ayant le plus grand nombre de jours de précipitation à Abengourou est juin, suivi du mois d'octobre. Les quantités d'eau des mois de mars à novembre (période de la saison pluvieuse à Abengourou) de la sous-période 1990-2008 sont inférieures à celles de la sous-période 2009-2022. Cependant, le mois d'août à enregistrer une baisse (environ - 4,3%) au cours de la sous-période 2009-2022. La quantité d'eau des mois de novembre à mars (saison sèche à Abengourou) de la sous période 1990-2008 reste globalement inférieur à la sous-période 2009-2022. Les quantités d'eau des mois de la sous-période avant rupture des localités de Soubré et de Vavoua sont inférieure à la sous-période après rupture (figure 6 et tableau 5). Le taux de variation moyenne est de +27,62% pour Soubré et de +19,31% pour Vavoua. Les températures mensuelles enregistrées pendant la période avant rupture sont inférieures à celles enregistrer après rupture dans les trois localités d'étude. Ainsi nous enregistrons un taux moyen mensuelle de +4,03% pour la localité d'Abengourou, de + 2,52% pour la localité de Soubré et + 2,98% pour la localité de Vavoua. L'évapotranspiration mensuelle et l'humidité relative mensuelle enregistrés avant rupture dans les trois localités d'études sont inférieure aux taux enregistrés après rupture. Par railleur l'Evapotranspiration a enregistré un taux moyen mensuelle à la hausse de + 13,20% dans la localité d'Abengourou, de + 4,62% dans la localité de Soubré et de 7,08% dans la localité de Vavoua. Quant à l'humidité relative les taux de variation mensuelle moyen à Soubré est de +6,66 % et à Vavoua nous enregistrons taux de variation mensuelle moyen de +7,71%. Le taux moyen mensuel de la pluviométrie le plus élevé a été enregistré à Soubré (+27,62%), suivi de la localité d'Abengourou (+19,87%) et de la localité de Vavoua (19,31%). Le taux moyen mensuel de la température à Abengourou est +4,03%. C'est le taux le plus élevé. Le taux moyen mensuel le plus bas est enregistré à Soubré (+2,52%). La hausse de l'Evapotranspiration après rupture est plus marquée à Abengourou (+13,20%) que dans les autres localités, qui sont respectivement Vavoua (+7,08%) et Soubré (+4,62%). Afin de mieux caractériser les modifications observées et d'évaluer l'évolution des régimes climatiques avant et après les ruptures détectées, il est essentiel d'examiner la nature et la synchronisation de ces changements.



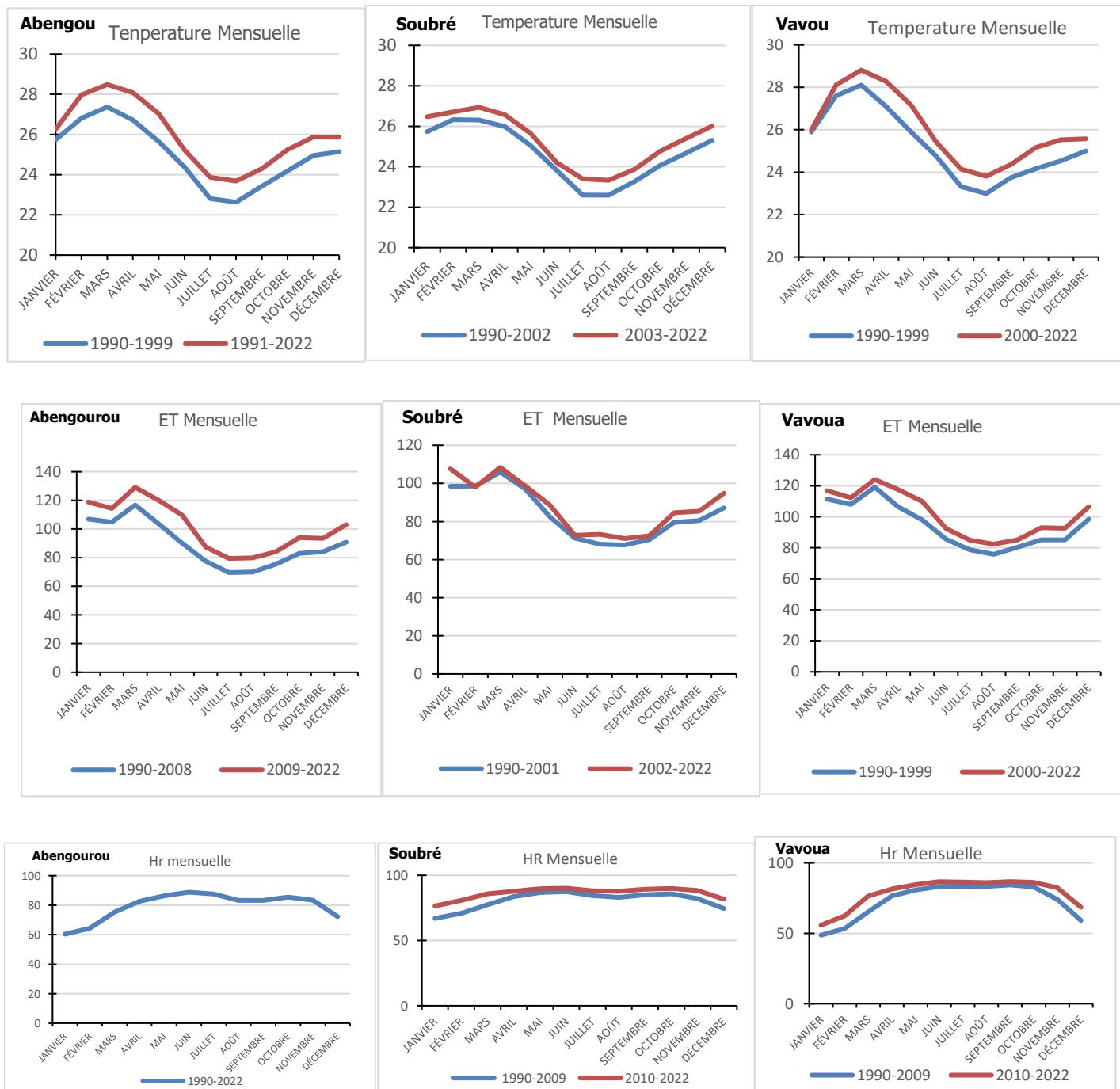


Figure 6 : Evolution des moyennes mensuelles des paramètres (pluviométrie, humidité relative, température et évapotranspiration) au cours des périodes de ruptures.

Tableau 5: Taux de variation en (%) des paramètres climatiques mensuels correspondant aux ruptures à Abengourou, à Soubré et à Vavoua.

Variables	Stations	Périodes	Janv	Fev	Mar	Avril	Mai	Jun	Juil	A	S	O	N	D	Taux moyen mensuel
Pluviométrie En (%)	Abengourou	1990-2008 et 2008-2022	+10,6	+52,5	+12,90	-0,10	+4,00	+17,40	+4,60	-4,30	+34,20	+29,10	+47,30	+30,20	+19,87
	Soubré	1990-2009 et 2009-2022	+9,90	+44,50	+32,40	+7,40	+20,60	+27,10	+15,80	+42,60	+35,80	+36,10	+31,60	+27,60	+27,62

	Vavoua	1990-2009 et 2009- 2022	+19,10	+43,40	+34,30	+8,60	+12,40	+20,40	-8,50	+22,20	+26,30	+26,70	+23,10	+41,90	+19,31
Température En (%)	Abengourou	1990-1999 et 2000- 2022	+2,10	+4,40	+4,10	+5,10	+5,40	+3,50	+4,60	+4,60	+3,70	+4,30	+3,70	+2,80	+4,03
	Soubré	1990-2001 et 2002- 2022	+2,80	+1,50	+2,30	+2,20	+2,30	+1,60	+3,40	+3,20	+2,50	+2,80	+2,90	+2,70	+2,52
	Vavoua	1990-1999 et 2000- 2022	+0,40	+1,80	+2,50	+4,20	4,70	+2,60	+3,40	+3,40	+2,60	+4,00	+3,90	+2,20	+2,98
	Abengourou	1990-2022	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Humidité Relative En (%)	Soubré	1990-2009 et 2010- 2022	+12,40	+12,30	+9,70	+4,80	+3,20	+2,90	+4,30	+4,0	+4,70	+4,40	+6,90	+8,90	+6,66
	Vavoua	1990-2008 et 2009- 2022	+12,70	+14,40	+14,50	+6,00	+4,40	+3,90	+3,30	+3,10	+2,60	+3,80	+10,00	+13,80	+7,71
	Abengourou	1990-1999 et 2000- 2022	+11,10	+9,00	+10,50	+16,0	+21,80	+12,80	+14,2	+14,10	+11,40	+13,00	+11,10	+13,40	+13,20
Evapotranspir- ation En %	Soubré	1990-2001 et 2002- 2022	+8,50	-0,50	+2,30	+1,60	+7,00	+2,00	+7,00	+4,80	+2,80	+6,00	+5,70	+8,20	+4,62
	Vavoua	1990-1999 et 2000- 2022	+4,70	+3,70	+4,00	+9,40	+10,90	+7,40	+7,30	+8,00	+5,70	+8,30	+8,10	+7,50	+7,08

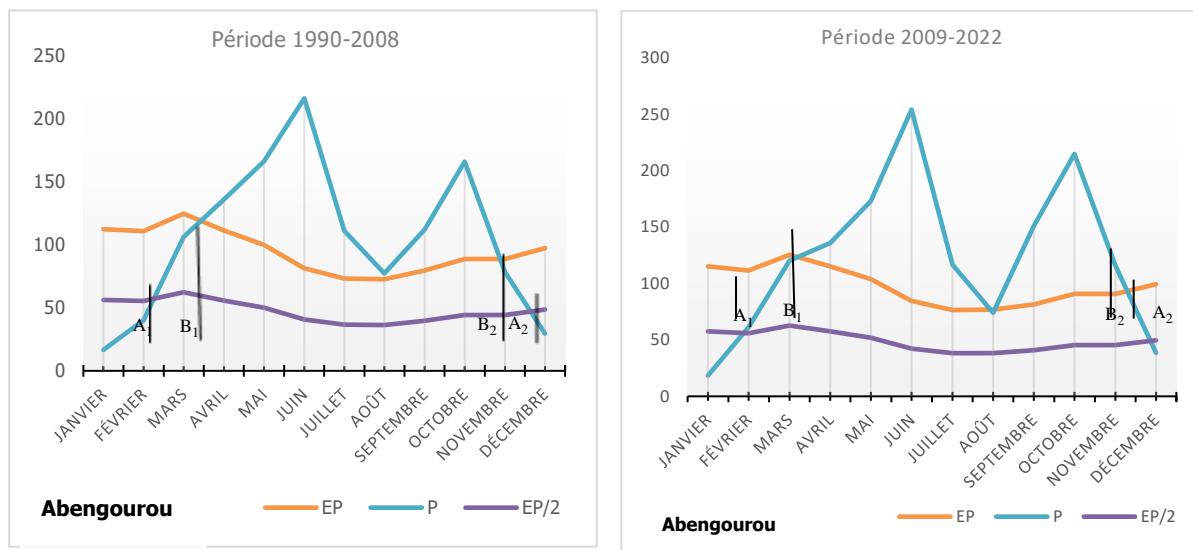
3.5. Impacts de la variabilité des paramètres climatiques sur les conditions hydriques

Dans la localité d'Abengourou, l'analyse des périodes climatiques met en évidence des modifications notables entre les sous-périodes 1990-2008 et 2009-2022. La phase pré-humide, qui s'étendait initialement de la troisième décade de février à la fin mars (environ 40 jours), connaît une réduction temporelle au cours de la seconde sous-période, se limitant désormais à la période allant de la mi-février à la deuxième décade de mars (environ 35 jours), soit un raccourcissement de cinq jours accompagné d'un décalage vers le début du mois de février. Par ailleurs, la période humide, qui s'étirait autrefois de la fin mars au début de la première décade de novembre (environ 220 jours), se manifeste après 2009 sur une durée légèrement réduite, s'étendant de la troisième décade de mars à la deuxième décade de novembre (environ 218 jours), impliquant ainsi une contraction de deux jours et un déplacement vers le début du mois de mars. Enfin, la période post-humide subit une réduction plus marquée. Alors qu'elle s'étendait de la deuxième décade de novembre à la première décade de décembre (25 jours) entre 1990 et 2008, elle ne dure plus que 18 jours après 2009, couvrant la période allant de la troisième décade de novembre à la fin de la première décade de décembre, soit une diminution de sept jours et un décalage vers le début novembre.

Dans la localité de Soubré, l'évolution des périodes climatiques entre les sous-périodes 1990-2009 et post-2010 révèle des modifications notables. La phase pré-humide, qui s'étendait initialement de la mi-février à la mi-mars (environ 29 jours), connaît une réduction après 2010, couvrant désormais la période allant de la fin de la première décade de février à la fin de la deuxième décade de mars (environ 25 jours). Cette contraction de quatre jours s'accompagne d'un décalage vers la mi-janvier. La période humide, qui s'établissait auparavant du début mars à la fin de la deuxième décade de novembre (environ 220 jours), s'est prolongée après 2010, s'étirant désormais de la fin de la deuxième décade de mars à la fin de la deuxième décade de novembre (environ 243 jours). Cette extension de 23 jours s'accompagne d'un déplacement vers la mi-février. La période post-humide a subi une réduction plus marquée. Alors qu'elle couvrait initialement l'intervalle allant de la fin de la deuxième décade de novembre au début de la première décade de décembre (27 jours), elle se limite après 2010 à une période plus courte, s'étendant de la fin de la troisième décade de novembre

à la fin de la deuxième décade de décembre (18 jours), soit une diminution de neuf jours et un décalage vers le début du mois de novembre.

Dans la localité de Vavoua, l'analyse des variations climatiques entre les sous-périodes 1990-2009 et 2010-2022 met en évidence des évolutions notables. La période pré-humide, qui s'étendait initialement du début du mois de mars à la fin de la première décade d'avril (environ 40 jours), connaît, après 2010, une réduction significative, ne couvrant plus que l'intervalle de la mi-février à la mi-mars (environ 30 jours). Cette contraction de 10 jours s'accompagne d'un décalage vers la mi-janvier. En ce qui concerne la période humide, celle-ci s'établissait auparavant entre la première décade d'avril et la fin du mois d'octobre (environ 203 jours). Après 2010, elle s'étend désormais de la mi-mars à la fin de la première décade de novembre (environ 235 jours), traduisant une augmentation de 32 jours et un déplacement vers la mi-février. Enfin, la période post-humide, qui s'étendait initialement de la fin du mois d'octobre à la mi-novembre (18 jours) au cours de la sous-période 1990-2009, a connu une légère extension après 2010. Elle couvre désormais l'intervalle allant de la fin de la première décade de novembre à la fin du mois de novembre (23 jours), soit un allongement de cinq jours et un décalage vers le début du mois d'octobre.



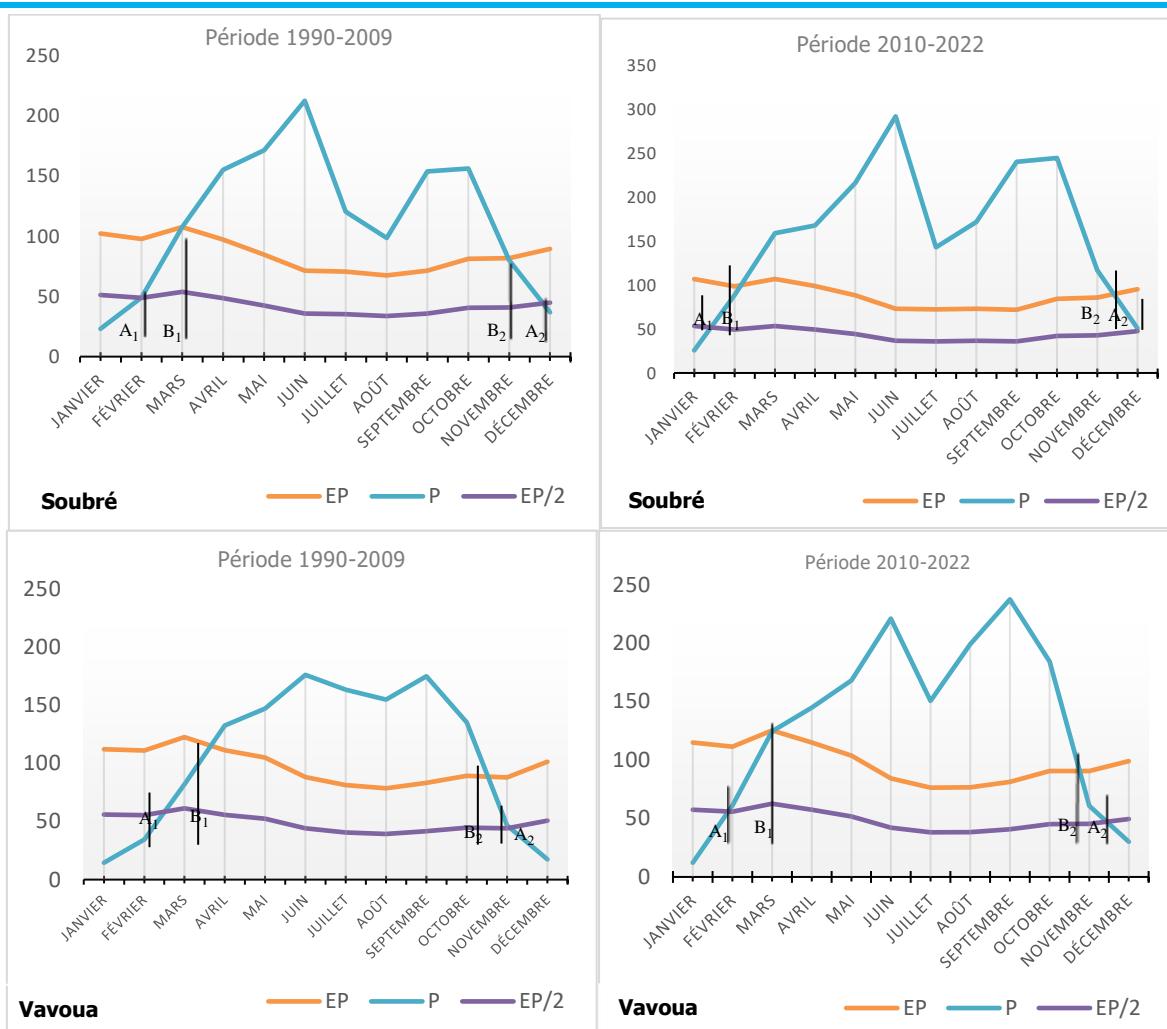
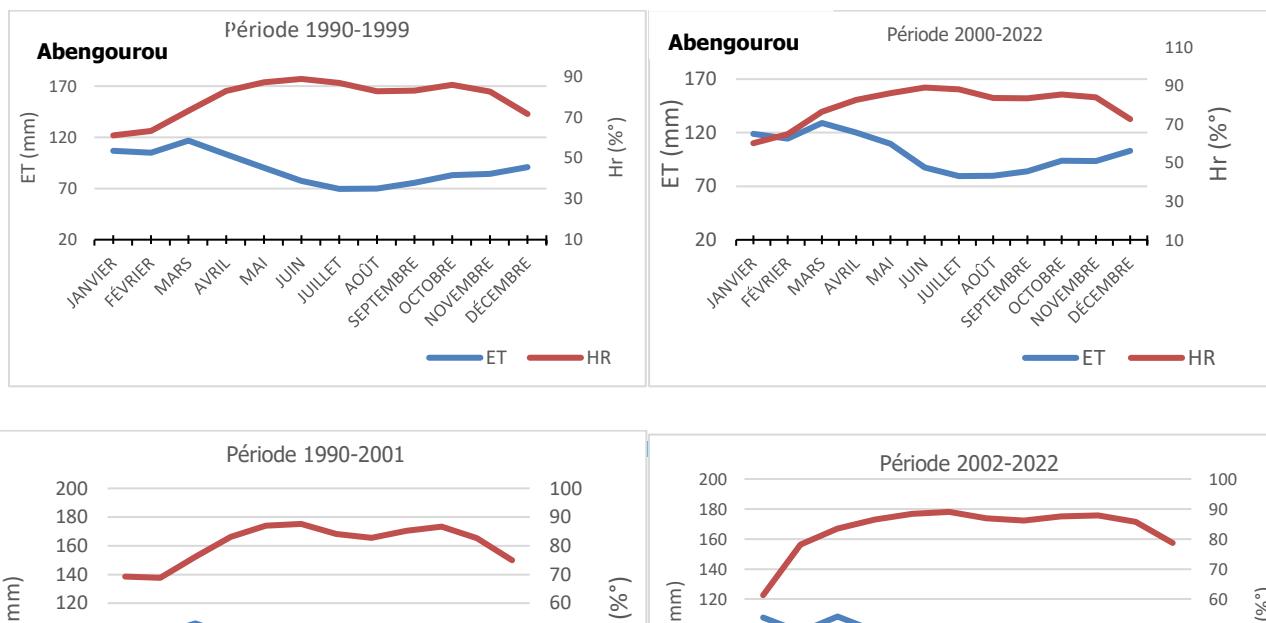


Figure 7 : Évolution de la saison humide au cours des périodes de ruptures à Abengourou et Soubré et Vavoua entre 1990 et 2022. EP : évapotranspiration, P: précipitation.

3.6. Impacts climatiques sur les périodes de végétation active des périodes avant et après ruptures

Les ruptures observées dans les séries temporelles d'évapotranspiration (ET mm) et d'humidité relative (HR %) ont des impacts différenciés sur les durées des périodes de végétation active, aussi bien au sein d'une station qu'entre les stations (figure 8). À Abengourou et Soubré, la période de végétation active s'étend sur toute l'année, avant et après les ruptures, car l'humidité relative (HR) reste constamment supérieure à l'évapotranspiration (ET) tout au long de l'année. À Vavoua, la situation évolue entre les deux sous-périodes : Pendant la première sous-période (1990-1999), la période de végétation active s'étend de début mars à fin décembre (environ 305 jours). Lors de la deuxième sous-période (2000-2022), cette période débute plus tôt, dès la fin de la première décennie de février, et se prolonge jusqu'à fin décembre (environ 326 jours), soit une augmentation de 21 jours. En résumé, les périodes de végétation active, en lien avec les conditions d'humidité et d'évapotranspiration, sont plus longues à Abengourou et Soubré qu'à Vavoua, ce qui reflète une variabilité spatiale notable dans les conditions climatiques favorables à la végétation.



4. DISCUSSION

Les variations temporelles des régimes climatiques sont particulièrement marquées sur l'ensemble des stations étudiées. Après filtrage des variations saisonnières, les périodes de déficit et d'excédent pluviométrique apparaissent plus nettement. Cette méthode de filtrage a été employée dans des études similaires sur l'évolution climatique [21-25]. Les périodes excédentaires ont révélé des moyennes pluviométriques dépassant 1200 mm dans les zones étudiées. La moyenne la plus élevée a été enregistrée à Soubéré pendant une période excédentaire, atteignant 1918,57 mm, ce qui en fait une zone favorable aux cultures nécessitant une forte pluviométrie. Camus [26], avait déjà observé que la pluviométrie annuelle variait entre 1 500 mm et 1 600 mm selon les années et les localités, avec une moyenne annuelle de 1 600 mm à Soubéré. Ces résultats ont été confirmés par l'analyse des précipitations sur la période 1989-2019, réalisée par Kouassi [27], qui a montré que les hauteurs pluviométriques annuelles dépassaient 1 400 mm dans les stations de Buyo et Soubéré, indiquant des précipitations de forte intensité. Le test statistique de Pettitt a permis d'identifier des ruptures dans la pluviométrie. Une augmentation a été observée en 2008 à Abengourou et en 2009 à Vavoua et Soubéré, avec un taux de variation moyen supérieur à 19 %. Avant 2008, Abengourou connaissait un déficit pluviométrique significatif, mis en évidence par Kanohin [28], qui ont identifié une période sèche entre 1976 et 2009, marquée par des années de sécheresse prononcées en 1977, 1978 et 1991, avec un déficit de 30 % par rapport à la moyenne. Les études de Giscard [29], sur l'impact du changement climatique sur les calendriers agricoles dans la sous-préfecture de Vavoua (Centre-Ouest ivoirien) ont mis en évidence des périodes excédentaires (1981-1989, 1998-2000, 2010-2019) et déficitaires (1990-1997, 2001-2009), avec une rupture marquée en 2009. Cette date concorde avec les résultats de la présente étude. L'analyse des températures entre 1990 et 2022 révèle une tendance à la hausse, avec une augmentation moyenne de 0,8 °C : +1,01 °C à Abengourou, +0,62 °C à Soubéré et +0,78 °C à Vavoua. Ces résultats sont cohérents avec ceux de Yao et al [30], qui prévoient une hausse de 0,6 à 1,5 °C à l'horizon 2035-2050 dans le bassin versant de la Lobo, couvrant la zone de Vavoua. Kouakou [31] estime également que la Côte d'Ivoire connaît une augmentation de 0,8 °C d'ici 2040, valeur correspondant à celle observée dans cette étude. L'évapotranspiration moyenne a augmenté de 3,1 % dans les localités étudiées. Selon Ardoine-Bardin [32], cette variable devrait progresser

de 2 à 3 % d'ici 2020 et de 5 à 8 % à l'horizon 2050. Son évolution suit celle des températures, comme le montre Ibrahim [33], qui attribue plus de 80 % de la variance de l'évapotranspiration annuelle à la hausse des températures. Cette augmentation de la température, associée à la déforestation, entraîne une forte demande évaporative. Le rapport de la Stratégie Nationale REDD+ de la Côte d'Ivoire identifie l'agriculture (notamment la cacaoculture et l'hévéaculture) comme principal moteur de la déforestation, suivie par l'exploitation forestière, l'urbanisation, l'exploitation minière et les feux de brousse. L'humidité relative de l'air a connu une rupture à la hausse en 2009 à Soubré et Vavoua, en lien avec l'augmentation des précipitations totales annuelles observée à partir de 2008. À Abengourou, cette hausse des précipitations (supérieure de 1,01 % à la moyenne de 0,8 %) aurait compensé l'absence de rupture dans l'humidité relative. Kouassi et Dasmané [34,35] ont mis en évidence une corrélation entre la pluviométrie et l'humidité relative. Entre 1990 et 2022, la dynamique de la pluviométrie, de l'humidité relative et de l'évapotranspiration potentielle a conduit à une arrivée plus précoce des phases humides. Avant la rupture, la phase pré-humide débutait en mars ; après rupture, elle commence dès mi-février à Abengourou et Vavoua, et dès mi-janvier à Soubré. La phase humide a également avancé, passant de fin mars à début mars, tandis que la phase post-humide s'est décalée de mi-novembre à début décembre. Les résultats de Giscard [29] sur le changement climatique et les calendriers agricoles à Vavoua montrent que les saisons pluvieuses connaissent des débuts et des fins plus précoces ou tardives. Kouassi [27] ont également mis en évidence un glissement du trimestre le plus pluvieux après 1970 dans certaines régions de Côte d'Ivoire. Bien que la durée des périodes humides ait légèrement évolué, elle reste peu significative. À Soubré et Abengourou, la période végétative active couvre toute l'année, tandis qu'à Vavoua, elle est passée de 75 jours avant la rupture à 52 jours après, en raison de l'augmentation de l'humidité relative.

5. CONCLUSION

La présente étude a permis de mettre en évidence l'ampleur et la complexité des effets du changement climatique sur les zones de production cacaoyère en Côte d'Ivoire, à travers l'analyse conjointe des dynamiques pluviométriques, thermiques, hygrométriques et évaporatoires dans les localités d'Abengourou, de Soubré et de Vavoua. Les résultats montrent une variabilité climatique marquée, caractérisée par une alternance d'années déficitaires et excédentaires en précipitations, traduisant une instabilité croissante des régimes pluviométriques, élément clé du fonctionnement hydrique des systèmes cacaoyers. Les tests de rupture de stationnarité ont mis en évidence l'existence de changements structurels significatifs dans les séries climatiques, notamment autour de la période 2008–2009, indiquant l'installation progressive d'un nouveau régime climatique. Cette transition se manifeste par une augmentation des précipitations annuelles, des températures moyennes et de l'évapotranspiration potentielle, avec des intensités variables selon les zones étudiées. Ces évolutions confirment que, malgré une apparente amélioration des apports pluviométriques récents, les contraintes hydriques persistent du fait de la hausse concomitante de la demande évaporative liée à l'augmentation des températures. L'analyse fine des saisons humides et des périodes de végétation active révèle des modifications notables du calendrier climatique, marquées par une arrivée plus précoce des phases humides, des décalages saisonniers et des variations de durée des périodes favorables à la croissance du cacaoyer. Ces changements affectent directement la disponibilité en eau, la dynamique physiologique des cacaoyers et, par conséquent, les performances agromorphologiques des plantations. La variabilité spatiale observée entre Abengourou, Soubré et Vavoua souligne la nécessité d'approches différencierées et territorialisées dans la gestion des systèmes de production cacaoyère. Dans ce contexte, l'adoption de stratégies d'adaptation agroécologiques apparaît comme un levier essentiel pour renforcer la résilience des exploitations face aux aléas climatiques. L'intégration de pratiques telles que l'ombrage raisonné, la diversification des systèmes de culture, la conservation de l'humidité des sols et la gestion durable des ressources en eau constitue une réponse pertinente aux contraintes climatiques actuelles et futures. En définitive, cette étude met en évidence que le changement climatique ne se traduit pas uniquement par une modification des moyennes climatiques, mais surtout par une recomposition des régimes saisonniers et hydriques, avec des implications majeures pour la durabilité de la cacaoculture ivoirienne. Les résultats obtenus constituent une base scientifique solide pour l'orientation des politiques agricoles, climatiques et de développement rural, et plaident en faveur d'une planification adaptative intégrant les spécificités climatiques locales, les savoirs paysans et les enjeux socio-économiques, afin de garantir la pérennité de la filière cacao en Côte d'Ivoire.

6. REFERENCES

1. Djè, K. B. (2014). *Document de stratégie du programme national changement climatique (2015-2020)*. Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, Abidjan, Côte d'Ivoire.

2. Jagoret, P., Ruf, F., du Castel, C., Harmand, J.-M., Rafflegeau, S., Saj, S., Snoeck, D., & Wibaux, T. (2019). L'agroforesterie : des pratiques diversifiées pour la transition agro-écologique de la cacaoculture africaine. Dans F.-X. Côte, E. Poirier-Magona, S. Perret, B. Rapidel, P. Roudier, & M.-C. Thirion (Éds.), *La transition agro-écologique des agricultures du Sud* (pp. 59-74). AFD, Cirad, Éditions Quae.
3. Assiri, A. A. (2010). *Étude de la régénération cacaoyère en Côte d'Ivoire : impact des techniques de réhabilitation et de replantation sur le développement et la productivité des vergers de cacaoyers (Theobroma cacao L.) en relation avec l'état du sol* [Thèse de doctorat, Université de Cocody]. Abidjan, Côte d'Ivoire.
4. Kouakou, K. E. (2011). *Impacts de la variabilité climatique et du changement climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant de la Comoé* [Thèse de doctorat, Université Abobo-Adjamé]. Abidjan, Côte d'Ivoire.
5. Kassin, K. E., Doffangui, K., Kouamé, B., Yoro, R. G., & Assa, A. (2008). Variabilité pluviométrique et perspectives pour la replantation cacaoyère dans le Centre Ouest de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 12, 633-641.
6. Schroth, G., Läderach, P., Martinez-Valle, A. I., Bunn, C., & Jassogne, L. (2016). Vulnerability to climate change of cocoa in West Africa: Patterns, opportunities and limits to adaptation. *Science of the Total Environment*, 556, 231-241. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.024>
7. Ministère de l'Environnement et du Développement Durable de la Côte d'Ivoire. (2013). *Étude de vulnérabilité du secteur agricole face aux changements climatiques en Côte d'Ivoire - Rapport final*. PNUD.
8. Ministère de l'Environnement et du Développement Durable de la Côte d'Ivoire. (2014). *Document de stratégie du Programme national Changements climatiques 2015-2020*. République de Côte d'Ivoire.
9. Läderach, P. (2011). *Predicting the impact of climate change on the cocoa-growing regions in Ghana and Côte d'Ivoire*. International Center for Tropical Agriculture (CIAT).
10. Läderach, P., Martinez-Valle, A., Schroth, G., & Castro, N. (2013). Predicting the future climatic suitability for cocoa farming of the world's leading producer countries, Ghana and Côte d'Ivoire. *Climatic Change*, 119(3-4), 841-854. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0774-8>
11. Organisation Météorologique Mondiale. (2011). *Guide des pratiques climatologiques* (N° 100). OMM.
12. Kouamé, B., Koné, D., & Yoro, G. (2007). La pluviométrie en 2005 et 2007 dans la moitié sud de la Côte d'Ivoire. Dans *Le CNRA en 2006* (pp. 12-13). Centre National de Recherche Agronomique, Abidjan, Côte d'Ivoire.
13. Nicholson, S. E., Kim, J., & Hoopingarnner, J. (1988). *Atlas of African rainfall and its interannual variability*. Department of Meteorology, Florida State University.
14. Lubès-Niel, H., Masson, J. M., Servat, E., Paturel, J. E., & Boyer, J. F. (1994). *Caractérisation de fluctuations dans une série chronologique par application de tests statistiques. Étude bibliographique* (Rapport 3, Programme ICCARE). ORSTOM.
15. Pettitt, A. N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, 28(2), 126-135. <https://doi.org/10.2307/2346729>
16. Kouakou, K. E., Goula, B. T. A., & Savané, I. (2007). Impacts de la variabilité climatique sur les ressources en eau de surface en zone tropicale humide : cas du bassin versant transfrontalier de la Comoé (Côte d'Ivoire - Burkina Faso). *European Journal of Scientific Research*, 16, 31-43.
17. Dagnélie, P. (1970). *Théories et méthodes statistiques* (Vol. 1-2). Duculot.
18. Franquin, P. (1969). Analyse agro climatique en régions tropicales saison pluvieuse et saison humide, applications. *Cahiers ORSTOM, Série Biologie*, 9, 65-95.
19. Gnanglé, P. C. (2005). *Parcs à karité (Vitellaria paradoxa) (Gaertn. C. F.) (Sapotaceae) au Bénin : Importance socio-culturelle, caractérisations morphologique, structurale et régénération naturelle* [Mémoire de DEA, Université d'Abomey-Calavi]. Cotonou, Bénin.
20. Dasmané, B., Sawadogo, J., Kaboré, O., & Bilgo, A. (2019). Variabilité de certains paramètres climatiques et impacts sur la durée des périodes humides de développement végétal dans une station au centre et une autre au nord du Burkina Faso. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, 19(1). <https://doi.org/10.4000/vertigo.24384>
21. Diomandé, M. (2013). *Impact du changement de pluviosité sur les systèmes de production agricoles en zone de contact Forêt-savane de Côte d'Ivoire* [Thèse de doctorat, Université Félix Houphouët Boigny]. Abidjan, Côte d'Ivoire.
22. Noufé, D., Mahé, G., Kamagaté, B., Servat, É., Goula Bi Tié, A., & Savané, I. (2015). Climate change impact on agricultural production: The case of Comoé River basin in Côte d'Ivoire. *Hydrological Sciences Journal*, 60(12), 2004-2014. <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1032293>
23. N'DA, K. C. (2016). *Variabilité hydroclimatique et mutations agricoles dans un hydrossystème anthropisé : l'exemple du bassin versant du Bandama en Côte d'Ivoire* [Thèse de doctorat, Université Félix Houphouët Boigny]. Abidjan, Côte d'Ivoire.
24. Dagnogo, B. S. (2019). *Changement climatique et production agricole en zone forestière : l'exemple du bas-fond de Mahounou (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire)* [Mémoire de Master, Université Jean Lorougnon Guédé]. Daloa, Côte d'Ivoire.
25. Giscard, A. A., Christophe, N. K., & Rodolphe, A. A. R. (2022). Impact de la variabilité climatique sur les calendriers agricoles dans la sous-préfecture de Vavoua (Centre-Ouest Ivoirien). *European Scientific Journal*, 18(27), 256-274. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n27p255>
26. Camus, H. (1969). *Hydrologie du bassin du Bassandra (Note préliminaire)* (N° 5/69). Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Centre d'Adiopodoumé d'Abidjan.
27. Kouassi, A. M., Kouao, J. M., & Kouakou, K. E. (2022). Caractérisation intra-annuelle de la variabilité climatique en Côte d'Ivoire. *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, 99(2), 289-306. <https://doi.org/10.4000/bagf.9534>
28. Kanohin, F. E. O., Saley, M. B., Aké, G. E., Savané, I., & Kouakou, B. D. (2012). Variabilité climatique et productions de café et cacao en zone tropicale humide : Cas de la région de Daoukro (Centre-est de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 1(2), 194-215.
29. Yao, A. B., Kouassi, K. L., Kouakou, K. E., Goula, B. T. A., & Gaye, T. A. (2019). Évolution des impacts potentiels des changements climatiques sur les écoulements de la rivière Lobo, Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Afrique Science*, 15(4), 330-342.
30. Ardoïn-Bardin, S., Dezetter, A., Servat, E., Mahé, G., Paturel, J. E., Dieulin, C., & Casenave, L. (2005). Évaluation des impacts du changement climatique sur les ressources en eau d'Afrique de l'Ouest et Centrale. *Regional Hydrological Impacts of Climatic Change-Hydroclimatic Variability*, 296, 194-202.
31. Ibrahim, B., Polcher, J., Karambiri, H., & Rockel, B. (2012). Characterization of the rainy season in Burkina Faso and its representation by regional climate models. *Climate Dynamics*, 39(6), 1287-1302. <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1141-3>
32. Kouassi, A. M., Kouamé, K. F., Koffi, Y. B., Djé, K. B., Paturel, J. E., & Oularé, S. (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. *Cybergeo : European Journal of Geography*, Article 513. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.23388>



How to cite this article: Yerayou Céline Ouattara, Cherif Mamadou, Yves Frédéric Cyriak Amani et Sanogo Souleymane. ETUDE DE LA VARIABILITÉ SPATIO-TEMPORELLE DU CLIMAT DANS LES ZONES DE PRODUCTION CACAOYÈRE EN CÔTE D'IVOIRE (ABENGOUROU, SOUBRÉ ET VAVOUA). *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2026; 23(1): 21-48. DOI: 10.5281/zenodo.18089638

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>