

ANALYSE DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE ET SON INFLUENCE SUR LA MALADIE DU SWOLLEN SHOOT DANS LA REGION DU HAUT-SASSANDRA AU CENTRE-OUEST DE LA COTE D'IVOIRE

KOUASSI Kouakou Alain François

(kouassi.alain61@gmail.com)

COULIBALY Kolotioloma Alama

(kcoulibaly2@yahoo.fr)

DIBI-ANO A. Pauline

(line237@yahoo.com)

Institut de Géographie Tropicale,

Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

Résumé

La culture du cacao est confrontée à la maladie du swollen shoot qui est fortement influencée par les conditions climatiques. En Côte d'Ivoire, cette maladie affecte particulièrement la Région du Haut-Sassandra. Cette étude vise à analyser la variabilité climatique et son influence sur la prévalence du swollen shoot dans la Région du Haut-Sassandra au Centre-ouest de la Côte d'Ivoire. Pour atteindre cet objectif, des données climatiques à savoir la pluviométrie, la température et l'humidité relative de 1981 à 2025 et entomologiques relatives au swollen shoot ont été collectées. L'usage des méthodes statistiques telles que l'indice centré réduit, le coefficient de corrélation, le test de Mann-Kendall et celle de Theil-Sen ont permis d'obtenir les résultats. Il y a une hausse des pluies saisonnières à Daloa après la rupture en 2009. Une tendance à la hausse non statistiquement significative de la pluie, la température et l'humidité relative est observée entre 1981 et 2025. La corrélation entre le nombre de cochenilles responsable du swollen shoot et la pluie, température, humidité relative est statistiquement significative avec des valeurs respectives de 0,71 ; -0,72 et 0,86. Les périodes caractérisées par une pluviométrie et une humidité relative élevée associées à de faibles températures correspondent à une augmentation de la population de cochenilles farineuses, vectrices du swollen shoot.

Mots-clés : Variabilité climatique, swollen shoot, cochenilles, cacao, Région du Haut-Sassandra (Daloa).

Abstract

Cocoa cultivation faces the challenge of swollen shoot disease which is strongly influenced by climate conditions. In Côte d'Ivoire, this disease particularly affects the Haut-Sassandra Region. This study aims to analyze climate variability and its influence on the prevalence of swollen shoot in the Haut-Sassandra Region of west-central part of Côte d'Ivoire. To achieve this objective, climatic data, as rainfall, temperature, and relative humidity from 1981 to 2025, and entomological data related to swollen shoot were collected. Statistical methods such as the standardized index, correlation coefficient, Mann-Kendall test, and Theil-Sen test were used to obtain the results. There is an increase in seasonal rainfall of Daloa after the break year in 2009. A non-statistically significant upward trend of rainfall, temperature and relative humidity is observed between 1981 and 2025. The correlation between the number of mealybugs responsible for swollen shoot and rainfall, temperature, and relative humidity is statistically significant with respective values of 0.71; -0.72 and 0.86. Periods characterized by high rainfall and relative humidity associated with low temperatures correspond to an increase in the population of mealybugs, vectors of swollen shoot.

Keywords : Climate variability, swollen shoot, mealybugs, cocoa, Haut-Sassandra Region (Daloa).

1. Introduction

Depuis son indépendance en 1960, la Côte d'Ivoire a fondée l'économie sur le secteur agricole. Parmi les productions agricoles, le cacao occupe une place centrale. Le pays s'impose comme un acteur dominant de l'offre mondiale. De ce fait, la filière cacao joue un rôle important dans l'économie ivoirienne. Elle assure les moyens de subsistance d'environ 800 000 producteurs ainsi que ceux de leurs familles. Par ailleurs, le cacao occupe 22% du Produit Intérieur Brut (PIB) ivoirien et plus de 50% des recettes d'exportation (Initiative Cacao et Forêts, 2022, p. 12). Cependant, la cacaoculture est aujourd'hui

confrontée à des contraintes sanitaires majeures. Parmi celles-ci, la maladie du swollen shoot du cacaoyer constitue l'une des plus préoccupantes. Cette maladie est provoquée par un complexe de Badnavirus regroupés sous l'appellation Cacao Swollen Shoot Virus (CSSV). Elle se manifeste par des symptômes foliaires et physiologiques caractéristiques. On observe notamment l'apparition de bandes rougeâtres le long des nervures sur les jeunes feuilles, des chloroses sur les feuilles adultes, des gonflements sur les rameaux et les racines ainsi qu'une altération de la taille et de la morphologie des cabosses (CNRA, 2016, pp. 2-3 ; Gilmour *et al.*, 2024, p. 2).

De plus, le swollen shoot est transmise par des cochenilles farineuses qui assurent le passage du virus d'un plant à l'autre. Des travaux expérimentaux récents mettent en évidence le rôle déterminant de la température. En conditions contrôlées, les taux de transmission les plus élevés sont observés dans un intervalle thermique compris entre 24 et 26°C (Babin *et al.*, 2022, p. 7). Dans ce contexte, la Région du Haut-Sassandra, et plus spécifiquement le département de Daloa, présente un intérêt économique et épidémiologique majeur. Au niveau économique, le département de Daloa fait partie de la nouvelle boucle de cacao en Côte d'Ivoire (Kouadio *et al.*, 2018, p. 273). En effet, les conditions climatiques, édaphiques et humaines s'y prêtent favorablement au développement de la culture du cacao dans cette région de la Côte d'Ivoire. Au plan, épidémiologique, le département de Daloa constitue une zone d'endémie historique du swollen shoot. Les enquêtes menées à l'échelle de la Côte d'Ivoire montrent que cette région figure parmi celles où la prévalence de la maladie du swollen shoot atteint plus de 30% (N'Guessan, 2013, p. 18 ; Aka *et al.*, 2020, p. 54). Par conséquent, la dynamique du swollen shoot dans la Région du

Haut-Sassandra ne peut être analysée indépendamment du climat du fait de sa menace sur l'agriculture et des modes de transmission (Yoroba *et al.*, 2023, p. 212). C'est pour cela que la présente étude vise à analyser la variabilité climatique et son influence sur la prévalence du swollen shoot dans la Région du Haut-Sassandra au Centre-ouest de la Côte d'Ivoire. Il s'agit d'une part d'analyser les principaux paramètres climatiques à savoir la pluviométrie, la température et l'humidité relative, et d'autre part de montrer les impacts de ces paramètres climatiques dans la prévalence du swollen shoot dans les plantations de cacao dans la Région du Haut-Sassandra au Centre-ouest de la Côte d'Ivoire.

2. Matériels et méthodes

2.1. Présentation de la zone d'étude

La Région du Haut-Sassandra est située au Centre-ouest de la Côte d'Ivoire avec la ville de Daloa comme chef-lieu de région. Elle comprend quatre départements à savoir Daloa, Issia, Vavoua et Zoukougbeu (Figure 1).



Figure 1 : Localisation de la Région du Haut-Sassandra au Centre-ouest de la Côte d'Ivoire

La population de la Région du Haut-Sassandra est de 1 739 697 habitants (INS-RGPH, 2021, p. 24). Le régime pluviométrique de cette région est bimodal. Le premier maximum de pluie est observé en juin et le second en septembre (Dibi-Kangah et Anoh, 2016, p. 149). Le cumul pluviométrique annuel atteint 1400 mm (Coulibaly *et al.*, 2019, p. 61).

2.2. Données climatiques et entomologiques

Deux catégories de données ont été mobilisées dans cette étude. Il s'agit des données climatiques et les données entomologiques relatives aux vecteurs du swollen shoot. Les données

climatiques sont les valeurs mensuelles observées de pluie, température et humidité relative. Elles sont issues de la station synoptique de référence de Daloa appartenant à la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM) de la Côte d'Ivoire. Ces données ont été complétées par les simulations des modèles climatiques régionaux du projet CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment). Le recours aux données de CORDEX se justifie par les travaux antérieurs qui ont démontré que la moyenne d'ensemble des modèles CORDEX-Africa se rapproche des données observées sur l'Afrique de l'Ouest (Kouadio *et al.*, 2015, p. 63). Ainsi, cette technique a permis d'obtenir une série climatique continue, homogène et suffisamment longue de 1981 à 2025 pour l'analyse de la variabilité climatique à Daloa.

Concernant les données entomologiques sur le swollen shoot, il s'agit du nombre mensuel de colonies de plusieurs espèces de cochenilles dont les plus prépondérants dans la Région du Haut-Sassandra sont le *Formicococcus njalensis*, espèce dominante dans la zone, *Planococcus citri*, en deuxième position en termes d'abondance et en troisième position *Pseudococcus longispinus*. Ces données ont été extraites des travaux de recherche de N'Guessan (2021, pp. 75-146). En effet, entre 2015 et 2018, l'auteur a réalisé un inventaire et un suivi temporel des colonies de cochenilles farineuses dans plusieurs régions cacaoyères, dont la Région du Haut-Sassandra dans le Centre-ouest de la Côte d'Ivoire. Les données entomologiques permettent ainsi d'établir des corrélations avec les paramètres climatiques et d'identifier les périodes de pullulation des vecteurs.

2.3. Méthodes

2.3.1. Analyse de la variabilité climatique

La détection d'une rupture dans la série pluviométrique est réalisée à travers le test de Pettitt (1979). Ce test distingue statistiquement deux périodes dans la série. Par la suite, le régime pluviométrique et le déficit hydrique de part et d'autre de l'année de rupture principale sont mis en évidence à l'aide l'Indice de Déficit Hydro-Environnemental (IDDH). Ces indices sont calculés pour la pluie mensuelle avant et après la rupture. La méthode de calcul de l'IDDH provient du calibrage de l'indice d'aridité de Martonne. En effet, cette méthode rend plus robuste celle de Martonne. Elle passe par la détermination de l'Indice de Disponibilité Hydro-Environnemental (IDHA). Cet indice se calcule en multipliant l'indice de Martonne par Kc qui représente le coefficient de calibration :

$$IDHA = Kc \times \frac{12P}{t + 10}$$

Avec : $IDHA$ = indice de disponibilité Hydro-Environnemental ; Kc = coefficient de calibration = 0,33 ; P = pluviométrie et t = température.

L'indice de déficit Hydro-Environnemental (IDDH) est obtenu à travers la formule suivante :

$$IDDH = IDHA - 10$$

Les indices obtenus mesurent directement le déficit ou excédent hydrique mensuel (Mercado-Mancera *et al.*, 2010, p. 54).

Les données de pluie, température et humidité relative ont été lissées avec le filtre passe-bas de Hanning d'ordre 2 (Assani, 1999). Ce filtre réduit les fluctuations irrégulières et met en évidence la tendance principale. Il permet de mieux observer l'évolution des paramètres climatiques. L'expression mathématique de ce lissage est :

$$X'_t = 0,06X_{t-2} + 0,25X_{t-1} + 0,38X_t + 0,25X_{t+1} + 0,06X_{t+2}$$

pour $3 \leq t \leq (n - 2)$ où X'_t est la valeur annuelle et t représente l'année courante. Les valeurs pondérées des deux premiers termes X'_1 et X'_2 , et des deux derniers termes X'_{n-1} et X'_n de la série sont calculés au moyen des expressions suivantes (n étant la taille de la série) :

$$X'_1 = 0,54X_1 + 0,46X_2$$

$$X'_2 = 0,25X_1 + 0,50X_2 + 0,25X_3$$

$$X'_{n-1} = 0,25X_{n-2} + 0,50X_{n-1} + 0,25X_n$$

$$X'_n = 0,54X_n + 0,46X_{n-1}$$

Par la suite, l'indice centré réduit de chaque paramètre climatique (pluie, température et humidité relative) est calculé. Cet indice compare la valeur de chaque année à la moyenne historique. Il est défini ainsi :

$$Indice = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma}$$

Avec X_i est la valeur du paramètre de l'année i ; $\bar{X}$ est la moyenne de la série et σ est l'écart-type de la série.

Une valeur négative indique une année sèche pour la pluie et l'humidité relative, et froide pour la température. En revanche, une valeur positive traduit une année humide en termes de pluie et humidité relative, et chaude au niveau de la température.

L'existence et la significativité statistique d'une possible tendance climatique est testée à l'aide du test de Mann-Kendall (Mann 1945; Kendall, 1975). Il détecte une hausse ou une baisse monotone sans imposer de normalité statistique. Il repose sur la statistique suivante :

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{signe}(X_i - X_j)$$

Où S représente la direction cumulée des variations ; x_i et x_j sont les valeurs observées et n est le nombre d'années analysées. La significativité statistique de la tendance est évaluée grâce au Z de Mann-Kendall :

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{si } S > 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{si } S < 0 \end{cases}$$

Où $\text{Var}(S)$ est la variance de S . Si $|Z| > 1,96$, la tendance est significative au seuil de 5%.

Par la suite, la pente de la tendance est estimée. La méthode de Theil-Sen est utilisée pour quantifier l'intensité du changement. Elle repose sur le calcul de toutes les pentes possibles entre deux points temporels.

$$\beta_{ij} = \frac{x_j - x_i}{j - i}$$

Où β_{ij} est la pente entre deux années i et j . La pente finale β est la médiane de toutes les pentes. Elle exprime le rythme annuel d'augmentation ou de diminution du paramètre climatique.

Enfin, la moyenne, l'écart-type et le coefficient de variation des paramètres climatiques sont calculés. Le coefficient de variation (CV) indique la dispersion relative autour de la moyenne. Il est déterminé par la formule suivante :

$$CV \text{ (en \%)} = \frac{\sigma}{\mu} * 100$$

Avec σ est l'écart-type et μ la moyenne. Un CV élevé traduit une grande instabilité climatique d'une année à l'autre. La valeur seuil d'interprétation du CV dépend du domaine de recherche. En climatologie et environnement, les seuils indiqués dans le tableau 1 sont utilisés pour son interprétation.

Tableau 1 : Interprétation du coefficient de variation (CV)

Valeur du CV	Interprétation
$CV < 20\%$	Faible variabilité (la série est stable, peu de fluctuations)
$20\% \leq CV \leq 30\%$	Variabilité moyenne ou modérée (fluctuations perceptibles mais contrôlées)
$CV > 30\%$	Forte variabilité (fluctuations importantes, instabilité climatique marquée)

Source : Molla et Melka (2025, p. 4)

2.3.2. Impacts du climat sur le swollen shoot du cacaoyer

La seconde étape de cette étude évalue le lien entre les paramètres climatiques et la dynamique des cochenilles farineuses responsable du swollen shoot dans les cacaoyers. Le coefficient de corrélation de Pearson est utilisé. Il mesure la force et le sens de la relation entre climat et infestation. Il est défini par la formule suivante (Dagnélie, 1984):

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}}$$

Où x_i représente la variable climatique ; y_i représente la valeur d'infestation ; et r est le coefficient de corrélation entre les variables climatiques et entomologiques (infestations). La significativité statistique du coefficient de corrélation r est montré par le test de Student t défini par la formule suivante.

$$t_{calculé} = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}}$$

Avec n est le nombre de couple d'observations. Si le $t_{calculé} > t$ théorique lu dans la table de Student, alors le coefficient de corrélation est statistiquement significatif au seuil $\alpha = 5\%$.

3. Résultats

3.1. Evolution tendancielle des paramètres climatiques à Daloa

3.1.1. Variation saisonnière et régime pluviométrique

La variation saisonnière et le régime pluviométrique sont analysés à travers l'évolution de l'Indice de Déficit Hydro-Environnemental (IDDH) (Figure 2).

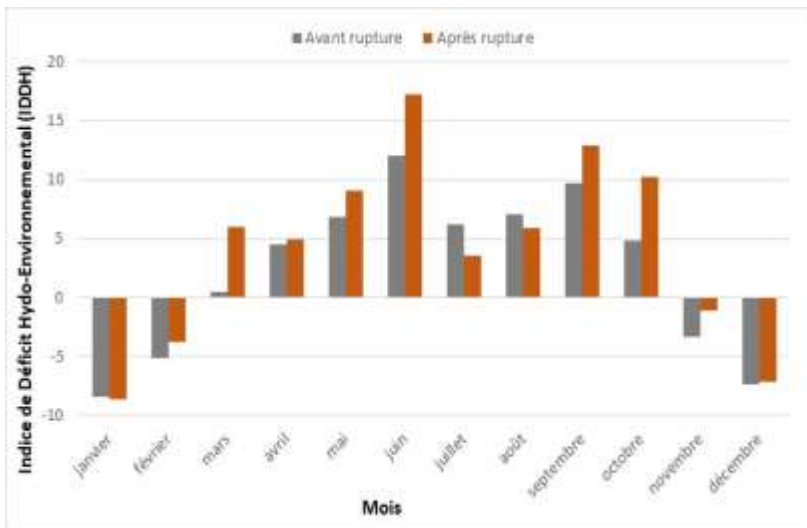


Figure 2 : Régime pluviométrique avant et après l'année de rupture à travers l'Indice de Déficit Hydro-Environnemental (IDDH)

L'évolution de l'Indice de Déficit Hydro-Environnemental montre que la localité de Daloa conserve son régime pluviométrique bimodal après l'année de rupture observée en

2009. La première saison pluvieuse couvre la période allant de mars à juin. La pluviométrie enregistrée après la rupture est supérieure à celle observée avant la rupture. Le pic pluviométrique est resté figé sur le mois de juin, mais avec un caractère plus pluvieux qu'avant la rupture. La deuxième saison des pluies couvre la période allant d'août à octobre. Cette saison est également marquée par une augmentation de la pluviométrie mensuelle. Le second maximum pluviométrique observé en septembre est devenu davantage pluvieux après la rupture. Il y a une hausse de la pluie saisonnière après l'année de rupture à Daloa.

3.1.2. Variabilité et tendance des paramètres climatiques

L'évolution interannuelle de l'indice de pluie, de température et de l'humidité relative sur la période allant de 1981 à 2025 est illustrée dans la figure 3.

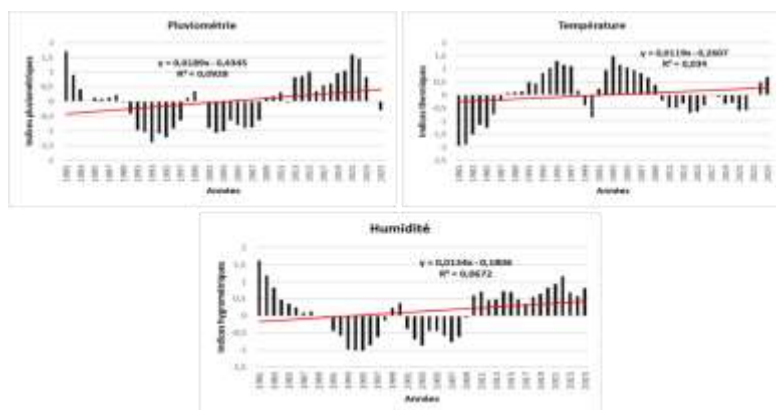


Figure 3 : Evolution interannuelle des indices de pluie, température et humidité relative de 1981 à 2025 à Daloa

L'analyse de la pluviométrie sur la période 1981-2025 révèle une tendance à la hausse. Le début des années 80 se caractérise par un excédent pluviométrique avec des indices dépassant +1,5 en 1981. Cette période humide a laissé place à une longue phase de déficit pluviométrique qui débute en 1989 et s'achève en 2009. Elle est néanmoins interrompue entre 1998 et 2000. La reprise de la pluviométrie à Daloa est observée depuis 2009. Il faut noter que l'année 2009 est la période de rupture dans la série pluviométrique.

Pour ce qui est de la température, la période 1981-1987 se distingue par des valeurs inférieures à la moyenne, avec des indices atteignant -2 en 1981. C'est une période froide. L'année 1981 est la plus fraîche de toute la période allant de 1981 à 2025. Un réchauffement est ensuite observé à partir de 1988. Ce réchauffement général à Daloa s'estompe entre 1999 et 2000 avant de se poursuivre jusqu'en 2009. Par la suite, un léger refroidissement est observé pendant la période 2011-2022. Depuis 2023, la localité de Daloa enregistre des températures supérieures à celles de la moyenne à long terme.

L'humidité relative présente également une tendance à la hausse. Le début de la période d'étude se caractérise par une humidité excédentaire avec des indices dépassant +1,5. Cette situation concorde avec l'excédent pluviométrique observé durant la même période. L'humidité relative tombe dans une phase déficitaire sur une longue période de plus de deux décennies. En effet, tout au long des décennies 1990-2009, les indices d'humidité sont négatifs. Néanmoins, une pause est observée dans cette longue période déficitaire entre 1999 et 2000. Depuis 2010, Daloa enregistre des conditions hygrométriques excédentaires.

L'analyse croisée des trois paramètres climatiques (pluie, température, humidité relative) révèle une forte cohérence

temporelle dans leur évolution interannuelle. Le début des années 80 est marqué par des conditions thermiques moins chaudes. En revanche, la pluviométrie et l’humidité relative sont excédentaires. Cette tendance s’inverse à partir des années 90. En clair, la période 1990-2009 représente une période critique climatique à Daloa. Elle est caractérisée par une sécheresse longue et une baisse notable de l’humidité atmosphérique. Paradoxalement, cette phase s’accompagne d’une hausse des températures. Ce qui accentue certainement le stress hydrique dans la région. Elle peut donc être qualifiée de crise climatique majeure pour la localité de Daloa. À l’inverse, la période 2010-2025 se distingue par une phase humide traduisant ainsi un retour de la pluviométrie.

La significativité statistique de la tendance de la pluviométrie, la température et de l’humidité relative est illustrée dans le tableau 2.

Tableau 2 : Statistiques de la tendance des paramètres climatiques à Daloa

Paramètres climatiques	Z calculé	p-value	Pente (Theil-Sen)	Tendance
Pluviométrie	1,65	0,098	+5,39 mm par an	Non significative
Température	0,52	0,604	+0,0036°C par an	Non significative
Humidité	1,51	0,132	+0,081% par an	Non significative

L’analyse des séries pluviométriques, thermiques et hygrométriques de 1981 à 2025 de Daloa par le test de Mann-Kendall montre une tendance non statistiquement significative au seuil $\alpha = 5\%$. En effet, la *p – value* calculée est supérieure à la valeur théorique. De plus, la valeur Z obtenue après calcul

est inférieure au Z théorique. Tous ces résultats confirment ainsi que la tendance à la hausse observée pour la pluviométrie, la température et l'humidité relative n'est pas statistiquement significative. Ainsi, la hausse pluviométrique, thermique et hygrométrique observée à Daloa est faible. L'estimation de cette hausse donnée par la méthode de Theil-Sen indique une augmentation moyenne de +5,39 mm de pluie par an. Pour ce qui est de la température et de l'humidité relative, cette augmentation est respectivement de +0,0036°C et +0,081% par année.

Le tableau 3 montre les valeurs de l'écart type, de la moyenne et du coefficient de variation des paramètres climatiques.

Tableau 3 : Statistiques descriptives des paramètres climatiques

Paramètres climatiques	Ecart type	Moyenne	Coefficient de variation
Pluviométrie	241,6 mm	1384,4 mm	17,5%
Température	0,59°C	25,8°C	2,3%
Humidité relative	4,05%	77,4%	5,2%

L'écart type et le coefficient de variation (CV) demeurent faible pour la température et l'humidité relative mais élevé pour la pluviométrie. Leur examen révèle une différenciation dans les comportements interannuels des variables climatiques étudiées. L'écart type obtenu pour la pluviométrie est de 241,6 mm. Cette valeur élevée montre que les totaux pluviométriques annuels s'écartent de la moyenne. Cette remarque peut signifier la présence de pluies extrêmes dans la zone d'étude. En ce qui concerne le coefficient de variation, la pluviométrie se distingue par un coefficient de 17,5%. Cette valeur atteste d'une variabilité

pluviométrique annuelle marquée à Daloa avec quelques années où des valeurs extrêmes.

La température affiche une stabilité interannuelle avec un coefficient de variation de 2,3%. La moyenne de 25,8°C avec un écart-type de 0,59°C témoigne de la constance relative du régime thermique à Daloa. Cette faible variabilité constitue une caractéristique fondamentale des régions tropicales où l'amplitude thermique interannuelle demeure faible.

L'humidité relative présente un coefficient de variation de 5,2%. Cette valeur souligne une faible variation interannuelle. De plus, avec un écart-type de 4,05% autour de la moyenne de 77,4%, ce paramètre révèle une faible fluctuation montrant ainsi la faible présence ou non de valeur extrême.

3.2. Impacts des paramètres climatiques sur la prévalence du swollen shoot à Daloa

Les impacts des paramètres climatiques sur la prévalence du swollen shoot à Daloa sont illustrés à travers les relations entre les nombres de cochenilles et la pluviométrie, température et humidité relative (Figure 4).

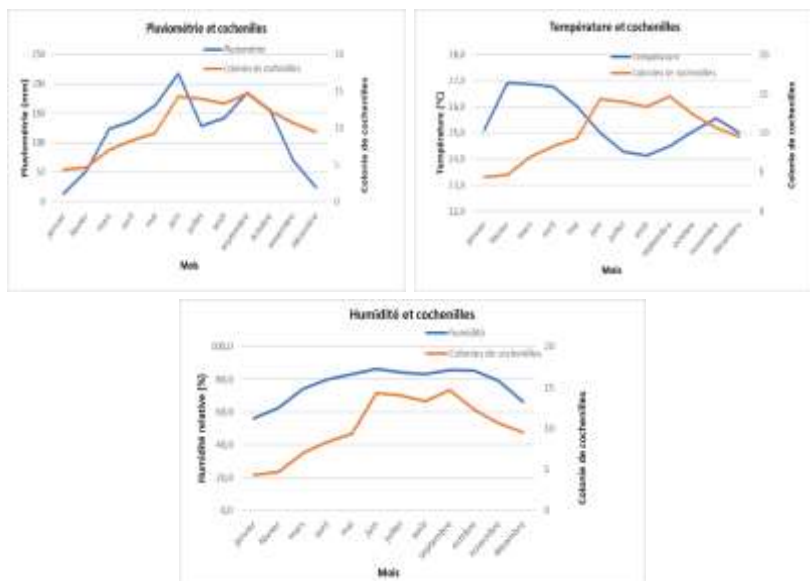


Figure 4 : Evolution comparative entre la pluie, la température, l'humidité relative et les colonies de cochenilles

La pluie mensuelle et la population de cochenilles suivent une évolution similaire. En effet, la population de cochenille augmente de manière synchronisée avec la pluie de février à juin. Le premier pic de population de cochenilles coïncide avec celui de la pluviométrie en juin. Par la suite, les populations de cochenilles restent élevées pendant la saison des pluies de juillet à septembre. Le deuxième pic de la population de cochenilles coïncide également avec celui de la pluviométrie en septembre. Enfin, les populations baissent en parallèle avec la diminution des précipitations à partir d'octobre. Le coefficient de corrélation entre la pluie et les nombres de cochenilles est de 0,71, soit un coefficient de détermination $R^2 = 0,51$. Par conséquent, une augmentation des précipitations est associée à une augmentation

significative du nombre de colonies de cochenilles. Des précipitations plus abondantes favorisent leur développement. La température présente une évolution saisonnière inversée par rapport au nombre de cochenilles. La comparaison avec les populations de cochenilles révèle une relation négative entre janvier et décembre. Les cochenilles sont peu abondantes pendant la période de température élevée en début d'année. En revanche, leur population augmente fortement à partir d'avril au moment où les températures commencent à baisser. Le pic de population des cochenilles en juin correspond à une période de température relativement basse, autour de 24 à 25°C. La corrélation entre la température et la population de cochenilles est de -0,72. Ainsi, des températures plus élevées entraînent une diminution des populations de cochenilles et vice versa. La température exerce un effet négatif sur le développement des cochenilles. En clair, des conditions plus chaudes limitent leur prolifération. A contrario, des températures moins chaudes facilitent la prolifération des cochenilles farineuses vectrices du swollen shoot.

L'humidité relative et les colonies de cochenilles révèle une relation similaire à celle de la pluie. En début d'année, les deux variables restent faibles. Lorsque l'humidité atteint son pic en juin, un premier pic de cochenilles est observé. De plus, lorsque l'humidité reste élevée sur la période allant de juin à octobre, les colonies de cochenilles restent également élevées. Ainsi, une humidité relative supérieure à 80% est propice à la pullulation des cochenilles. La chute de l'humidité en fin d'année entraîne la diminution de la population de cochenilles. Le coefficient de corrélation entre les populations de cochenilles et l'humidité relative est de 0,86 soit un coefficient de détermination R^2 de 0,74. Cette corrélation positive très forte souligne le rôle prépondérant de l'humidité atmosphérique dans la dynamique

des colonies. Un environnement humide constitue donc un facteur plus favorable à la pullulation des vecteurs du swollen shoot. Ceci suggère que les conditions humides favorisent le développement du swollen shoot dans la localité de Daloa. L'humidité relative apparaît comme le facteur climatique le plus déterminant. Ces résultats soulignent le rôle clé de l'humidité de l'air dans la biologie des cochenilles farineuses. Les périodes à forte hygrométrie constituent des fenêtres à risque accru pour la pullulation des cochenilles farineuses ainsi qu'une possible transmission du virus du swollen shoot.

4. Discussion

4.1. Evolution de la pluviométrie, la température et l'humidité relative

À Daloa, le début des années 80 correspond à une phase humide. Ensuite, une longue phase déficitaire s'installe à partir de 1989. Elle dure jusqu'en 2009. Une reprise de la pluviométrie est observée depuis 2009, année identifiée comme rupture par le test de Pettitt. Cette tendance humide est toutefois peu statistiquement significative. Plusieurs travaux corroborent ces résultats. Dans la Région de la Nawa au Sud-ouest de la Côte d'Ivoire, une hausse de 12% des hauteurs pluviométriques est rapportée par Konan *et al.* (2021, p. 491) à partir de la première moitié des années 2000. De plus, une augmentation non significative des précipitations en Côte d'Ivoire est rapportée par Didi *et al.* (2021, p. 139). De même, sur le bassin versant de Bandama (à l'exutoire de Taabo), la pluviométrie présente une tendance positive mais non significative sur la période 1981-2017 comme indiqué par Obahoundje *et al.* (2021, p. 319). En revanche, des modifications du régime pluviométrique ont été enregistrés par Konan *et al.* (2021, p. 493). En effet, dans la

région de la Nawa, ces auteurs ont constaté que le mois de juin est devenu très humide après l'année 2003, tandis que les mois de mars et novembre, autrefois des mois de transition, sont devenus secs. Ainsi, la grande saison sèche qui durait trois à quatre mois entre 1980 et 2002 est passée à cinq mois entre 2003 et 2015.

Par ailleurs, la période allant de 1981 à 2025 dans la présente étude se caractérise par un réchauffement général à Daloa. À l'échelle du sud forestier ivoirien, un réchauffement a été également documenté. La décennie 1991-2000 est identifiée comme le début d'une hausse de l'ordre de $+2^{\circ}\text{C}$, confirmant une tendance à la hausse de la température détecté par Sohou *et al.* (2021, p. 166) dans le Sud forestier de la Côte d'Ivoire. Au Centre-est ivoirien, une hausse des températures journalières a été observée par Etté *et al.* (2021, p. 58).

L'humidité relative à Daloa est globalement orientée vers la hausse. Cette augmentation est cohérente avec la pluviométrie car ces deux paramètres varient dans le même sens. Ainsi, une évolution à la hausse de la pluviométrie correspond également à une hausse de l'humidité relative selon Etté *et al.* (2021, p. 59). Kouassi *et al.* (2010, p. 14) ont analysé la variabilité climatique dans le bassin versant du fleuve N'Zi. Leur période d'étude qui couvre 1968 à 2000 a mis en exergue une longue période déficitaire de l'humidité relative entre 1968 et 1988. A partir de là, une augmentation de l'hygrométrie a été observée avec des valeurs dépassant 75%.

4.2. Influence de la pluie, la température et l'humidité relative sur le swollen shoot

Les coefficients de corrélation de Pearson indiquent des liens significatifs entre le climat et le nombre de colonies de cochenilles à Daloa. Une augmentation de la pluviométrie et de l'humidité relative et une diminution de la température entraînent une augmentation de la population de cochenilles farineuses vectrice du swollen shoot. Ces résultats vont dans le même sens que ceux mis en exergue par Oro (2011, p. 47). Il souligne que la sécheresse est un facteur contraignant pour les cochenilles. Cependant, il ajoute que des pluies battantes limites également leur développement. Plus loin, Oro (2011, p. 263) a indiqué que les contaminations au champ peuvent devenir plus importantes pendant la période de reproduction des cochenilles avec une pullulation environ 15 jours après le début de la grande saison des pluies. Par ailleurs, lors d'une étude sur le *Planococcus citri*, El-Aw *et al.* (2016, p. 18-22) indiquent que la température module la vitesse de développement et la fécondité des cochenilles. Ces auteurs montrent que le développement de cette espèce s'accélère avec l'augmentation de la température. Cependant, la fécondité maximale est atteinte entre 27 et 30°C. Au-delà de ce seuil optimal, les températures élevées deviennent défavorables. La longévité des femelles diminue également avec la chaleur, passant de 28,2 jours à 20°C à 20,05 jours à 30°C. Les résultats de Reis Da Silva *et al.* (2015, p. 3545) sur *Planococcus citri* élevé sur vigne à 25°C confirment la sensibilité thermique de ces insectes. Les auteurs ont observé une durée de développement nymphal de 22,52 jours pour les femelles et une longévité adulte pouvant atteindre 99 jours dans des conditions optimales. Ces données suggèrent que les périodes de températures modérées, comme celles observées à

Daloa entre avril et juin (24-25°C), sont particulièrement favorables au développement des cochenilles. Babin *et al.* (2022, p. 7) soulignent également un taux d'infestation des cacaoyers d'environ 100% lorsque les températures oscillent entre 24 et 26°C. Les travaux de Tano *et al.* (2019, p. 8) sur les insectes du cacao stocké dans la Région du Haut-Sassandra confirment que les conditions moins chaudes et humides favorisent la prolifération des insectes. Cependant, ces auteurs précisent qu'une humidité supérieure à 80% est optimale pour l'infestation. Il est donc crucial de définir une lucarne efficace de lutte contre le swollen shoot car les travaux de Kouakou *et al.* (2011, p. 2953) sur l'impact du swollen shoot à Bazré démontrent l'ampleur des dégâts causés par cette maladie. Ces auteurs ont estimé que 23% des cacaoyers ont été détruits par le swollen shoot dans la zone étudiée, avec une réduction de plus de 54% du nombre de cabosses sur les arbres malades.

5. Conclusion

Cette étude a pour objectif d'analyser la variabilité climatique et son influence sur la prévalence du swollen shoot dans la Région du Haut-Sassandra au Centre-ouest de la Côte d'Ivoire. La variabilité climatique étudiée montre une tendance à la hausse de la pluviométrie, la température et l'humidité relative. Néanmoins, une longue période déficitaire est observée pour la pluviométrie et l'humidité relative de 1990 à 2009. Après la rupture en 2009, une reprise de la pluviométrie est enregistrée dans la Région du Haut-Sassandra. L'étude a mis en lumière une tendance à la hausse non statistiquement significative. L'analyse saisonnière de la pluviométrie montre une conservation du régime pluviométrique après la rupture. Le changement notable observé se situe au niveau du renforcement des quantités de

pluie reçue mensuellement. La variabilité de la pluie, la température et l'humidité relative influence fortement la prévalence du swollen shoot à Daloa. Le climat crée les conditions environnementales favorables à la survie et à la prolifération des cochenilles farineuses vectrices du swollen shoot. Le retour aux conditions plus humides observées après l'année 2009 pourrait accroître la prévalence et la virulence du swollen shoot dans la Région du Haut-Sassandra. Cette étude peut donc se poursuivre sur des travaux portant sur les projections climatiques à l'aide des modèles régionaux, afin de connaître le climat futur et mieux anticiper l'ampleur du swollen shoot dans les plantations de cacao.

Références bibliographiques

AKA Aka Romain, COULIBALY Klotioloma, N'GUESSAN Walet Pierre, KOUAKOU Koffié, TAHI Gnion Mathias, N'GUESSAN Kouamé François, KEBE Boubacar Ismaël, ASSI Evelyne, GUIRAUD Brigitte, Koné Boaké, NAZAIRE Kouassi Nazaire, KONE Daouda, ALLLOU Kouassi René, MULLER Emmanuelle et ZAKRA Nicodème, 2020. « Cocoa Swollen Shoot Disease in Côte d'Ivoire : History of Expansion from 2008 to 2016 », in International Journal of Sciences, volume, N°1, pp. 52-60.

ASSANI Ali A., 1999. Analyse de la variabilité temporelle des précipitations (1916-1996) à Lubumbashi (Congo-Kinshasa) en relation avec certains indicateurs de la circulation atmosphérique (oscillation australe) et océanique (El Niño/La Niña). In Sécheresse, vol. 10, N°4, pp. 245-252.

BABIN Régis, Cailleaud Chloé, DUFOUR Bernard, DEDIEU Frédéric, SAUVION Nicolas, RIBEYRE Fabienne, 2022. « Effect of temperature on the Cacao swollen shoot virus (CSSV,

Badnavirus) vection by the mealybug *Planococcus citri* to cocoa seedlings in the laboratory », in International Symposium on Cocoa Research, pp. 1-8.

CNRA (Centre National de Recherche Agronomique), 2016. *Bien lutter contre la maladie du swollen shoot du cacaoyer en Côte d'Ivoire, Fiche cacaoyer n° 4*, Direction de la recherche scientifique et de l'appui au développement, Direction des innovations et des systèmes d'information, Abidjan, 4 p.

COULIBALY Kolotioloma Alama, DIBI-KANGAH Pauline Agoh, DJE Kouakou Bernard, KOLI Bi Zuéli, 2019. « Détection de structures pluviométriques spatio-temporelles homogènes en Côte d'Ivoire sur la période 1951-2017 », in Regardsuds, No.2, pp. 49-64.

DAGNÉLIE Pierre, (1984). *Théorie et méthodes statistiques : Applications agronomiques*. Les presses agronomiques de Gembloux, Belgique, Tome I et II, 2ème édition, 842p.

DIBI-KANGAH Pauline et ANOH Jean Dominique Hervé, 2016. « Aléas pluviométriques et développement durable en Côte d'Ivoire », in Cahiers du CBRST, No.10, pp. 140-159.

DIDI Sacre Regis, LY Mohamed, KOUADIO Kouakou, BICHET Adeline, DIEDHIOU Arona, COULIBALY Houebagnon, KOUADIO Koffi Claude, COULIBALY Talnan Jean et SAVANE Issiaka, 2021. Changement dans les précipitations extrêmes en Afrique de l'Ouest durant ces 30 dernières années : cas du Sénégal, Niger, Burkina Faso, Côte d'Ivoire et du Benin, in : Changement Climatique en Afrique Subsaharienne : de la Vulnérabilité à l'Adaptation, DIBI-ANOH P., pp. 133-149, Generis Publishing.

EL-AW Mohamed Ahmed, DRAZ Khaled Ahmed Abdel-Aziz, KARAM Hassan Hussein Khalafallah, Ahmed et ABDEL-AZIZ Abdel-Rahman, 2016. « Laboratory Studies on the Development and Life Table Parameters of *Planococcus citri* (Risso) at

Different Temperatures », in International Journal of Research Studies, Biosciences (IJRSB), Vol.4, No.5, pp. 16-25.

ETTE Kassi Franck Nicaise, DJE Kouakou Bernard, COULIBALY Kolotioloma Alama et N'ZUE Kouakou Augustin, 2021. Facteurs climatiques et incendies de végétation dans les régions de l'Iffou, du Moronou et du N'Zi, centre-est en côte d'ivoire : cas de la saison 2015-2016, in : Changement Climatique en Afrique Subsaharienne : de la Vulnérabilité à l'Adaptation, DIBI-ANO P., pp. 48-66, Generis Publishing.

GILMOUR Martin, CROZIER Jayne et KOUAME Christophe, 2024. Minimizing the Risk of Spreading Cocoa Swollen Shoot Virus Disease, World Agroforestry Centre (ICRAF) et MARS, 6p.

Initiative Cacao et Forêts (Côte d'Ivoire), 2022. Plan d'action 2022-2025, 40 p.

INS-RGPH, Institut National de la Statistique - Recensement Général de la Population et de l'Habitat, (2021). *Résultats globaux définitifs, synthèse*. Abidjan, Octobre 2022, Côte d'Ivoire, 37p.

KENDALL Maurice G., (1975). Rank Correlation Methods. 4th ed., Charles Griffin, London, England.

KONAN Koffi Pacôme, KONE Moussa et DIBI-ANO Pauline, 2021. Variabilité climatique et rendement du cacao dans la région de la Nawa (Sud-Ouest ivoirien), in : Changement Climatique en Afrique Subsaharienne : de la Vulnérabilité à l'Adaptation, DIBI-ANO P., pp. 487-498, Generis Publishing.

KOUADIO Kouakou, KONARE Abdourahamane, DIAWARA Adama, DJE Bernard Kouakou, AJAYI Vincent Olanrewaju, DIEDHIOU Arona, 2015. « Assessment of Regional Climate Models over Côte D'Ivoire and Analysis of Future Projections over West Africa », in *Atmospheric and Climate Sciences*, vol. 5, pp.63-81.

KOUADIO Zilé Alex, KOUASSI Kouakou Lazare, DJE Kouakou Bernard, ZOURA Lou Nancy Théodora et COULIBALY Alama, 2018. Scope Of Rainfall Variability In The Shift Of The Cocoa Growing Area From The East Central Region To The Central West Of Cote D'Ivoire. In American Journal of Engineering Research (AJER), Volume-7, Issue-5, pp-272-280.

KOUAKOU Koffié, KEBE Ismaël, KOUASSI N'Goran, ANNO Abo Pierre, AKE Sévérin et MULLER Emmanuelle, 2011. « Impact de la maladie virale du swollen shoot du cacaoyer sur la production de cacao en milieu paysan à Bazré (Côte d'Ivoire) », in Journal of Applied Biosciences, Vol.43, pp. 2947-2957.

KOUASSI Amani Michel, KOUAME Koffi Fernand, KOFFI Yao Blaise, DJE Kouakou Bernard, PATUREL

Jean Emmanuel et OULARE Sekouba, 2010. « Analyse de la variabilité climatique et de ses influences sur les régimes pluviométriques saisonniers en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire », in : *Cybergeogeo: European Journal of Geography*, Environnement, Nature, Paysage, document 513, URL :

<http://journals.openedition.org/cybergeogeo/23388> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/cybergeogeo.23388>

MANN Henry B., (1945). Non-parametric tests against trend. In *Econometrica*, 13, pp. 245-259.

MERCADO-MANCERA Gabriel, TROYO-DIÉGUEZ Enrique, AGUIRRE GÓMEZ Arturo, MURILLO-AMADOR Bernardo, BELTRÁN-MORALES Luis Felipe et GARCÍA-HERNÁNDEZ José Luis, 2010. « Calibración y aplicación del índice de aridez de de Martonne para el análisis del déficit hídrico como estimador de la aridez y desertificación en zonas áridas », *Uciencia*, 26(1), pp.51 64.

MOLLA Esubalew et MELKA Yoseph, 2025. « Variability and trend analysis of rainfall and temperature in Bure Zuria District, Northwestern Ethiopia », in PLOS Climate, Vol.4, No.11, pp. 1-18.

N'GUESSAN Kouamé François, 2013. *Acquis des projets antérieurs de lutte contre le swollen shoot en Côte d'Ivoire, Chef de programme cacao*, 46 p.

N'GUESSAN Walet Pierre, 2021. *Distribution spatio-temporelle des espèces de cochenilles et mise en évidence de l'implication de Formicococcus njalensis (Laing, 1929) dans la transmission du virus du swollen shoot du cacaoyer (Theobroma cacao L., 1753) en Côte d'Ivoire*, Thèse de doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, 225p.

OBAHOUNDJE Salomon, DIEDHIOU Arona, TA Marc Youan, KOUAME Yao Morton, AMOUSSOU Ernest, VAMI Bi Hermann, 2021, Impacts de la variabilité climatique sur la production hydroélectrique en Afrique de l'Ouest : cas du barrage de Kossou dans le Bandama en Côte d'Ivoire, in Changement Climatique en Afrique Subsaharienne : de la Vulnérabilité à l'Adaptation, DIBI-ANOH P., pp. 318-332, Generis Publishing.

ORO Zokou-Franck, 2011. *Analyse des dynamiques spatiales et épidémiologie moléculaire de la maladie du swollen shoot du cacaoyer au Togo : Etude de la diffusion à partir des systèmes d'information géographiques*, Thèse de doctorat, Montpellier SupAgro, école doctorale SIBAGHE, 260 p.

PETTITT A. N., (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. In Applied Statistics, 28, n°2, pp. 126-135.

REIS Da Silva Raphael, EUDES de Morais Oliveira José, SILVA Luciana Barboza, CHERRE Sade Bezerra da Silva, GONÇALVES da Silva Jocélia, OLIVEIRA Andrea Costa et

DAYANE de Souza Ingrid, 2015. « Development and longevity of Citrus mealybug *Planococcus citri* (Risso, 1813) (Insecta: Homoptera: Pseudococcidae) associated with grapevine », in *African Journal of Agricultural Research*, pp. 3543-3547.

SOHOU Serge Olivier, N'DA Kouadio Christophe et DIBI-ANO Pauline, 2021. Caractérisation du réchauffement climatique à travers les indices des températures extrêmes dans le Sud forestier ivoirien entre 1961 et 2014, in : *Changement Climatique en Afrique Subsaharienne: de la Vulnérabilité à l'Adaptation*, DIBI-ANO P., pp. 167-170, Generis Publishing.

TANO Djè Kévin Christian, TAYORO N'guessan Julien, TAH Gueu Tatiana-Thérèse, KOUAME N'Dri Norbert, SORO Senan, et ABOUA Louis Roi Nondenot, 2019. « Insect diversity of cocoa (*Theobroma cacao* L.) beans stocks from Haut-Sassandra region and their impacts (Daloa, Côte d'Ivoire) », in *International Journal of Advanced Research*, Vol.7, No.10, pp. 393-401.

YOROBA Fidèle, KOUADIO Kouakou, KOUASSI Benjamin Komenan, DOUMBIA Madina, DIAWARA Adama, DJE Bernard Kouakou, NAABIL Edward et TIEMOKO Dro Touré, 2023. « Evaluating the Impacts of Climate Variability on Cocoa Production in the Western Centre of Cote d'Ivoire during 1979-2010 », in *Atmospheric and Climate Sciences*, 13(2), pp. 201-224.