**Collection Sciences de la Nature**

Numéro 1, Janvier 2020

# ANALYSE DE LA DYNAMIQUE SPATIALE DE LA REPONSE DU CACAOYER (*Theobroma cacao* L.) A LA VARIABILITE CLIMATIQUE EN ZONE FORESTIERE DE LA CÔTE D'IVOIRE

**Marcel Kablan GUY,**

**Lazare TIA et Christophe KOUAME**

Editions Resol-Tropiques

Mémoire de Master soutenu publiquement à l'Institut de Géographie Tropicale - UFR Sciences de l'Homme et de la Société - Université Félix Houphouët-Boigny (Côte d'Ivoire)

**Impétrant :** GUY Marcel Kablan

**Date de soutenance :** 12 Décembre 2018

**Composition du Jury :**

**Président :** TOURE Mamoutou, Maître de Conférences

**Rapporteur :** ANOH Kouassi Paul, Professeur Titulaire

**Rapporteur :** TIA Lazare, Maître de Conférences

**Examinateur :** DIBI KANGAH Pauline, Maître de Conférences

**Pour citer cette publication**

GUY Marcel Kablan, TIA Lazare et KOUAME Christophe, 2020, « Analyse de la dynamique spatiale de la réponse du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) à la variabilité climatique en zone forestière de la Côte d'Ivoire », Collection Sciences de la Nature, n° 1, Abidjan, Editions Resol-Tropiques, 98p.

© Copyright GéoRESBIO - 2020

Le contenu de cette publication n'engage que le(s) auteur(s)

**GéoRESBIO**

Equipe Interdisciplinaire de Recherche en Environnement et Conservation de la Biodiversité

Institut de Géographie Tropicale

Université Félix Houphouët-Boigny

✉ Info@georesbio.org

🌍 www.georesbio.org - Côte d'Ivoire

## AVANT-PROPOS

La présente étude s'inscrit dans le cadre des travaux de recherche qui conduisent à l'obtention du diplôme de Master en Géographie de l'Environnement, à l'Institut de Géographie Tropicale de l'Université Félix Houphouët-Boigny (Côte d'Ivoire). Cette étude porte sur l'analyse de la réponse du cacaoyer aux variations climatiques dans les zones agro-écologiques de la cacaoculture en Côte d'Ivoire.

Ce choix se justifie par l'impérieux besoin de déterminer les réactions du cacaoyer par rapport à la variabilité climatique observée ces dernières décennies. En effet, depuis le début du XX$^{e}$ siècle, le climat de la Côte d'Ivoire à l'instar des autres pays de l'Afrique a connu beaucoup de fluctuations caractérisées par un accroissement de la chaleur et une baisse des hauteurs pluviométriques. Cette situation met en péril la durabilité de la production cacaoyère, gage de la prospérité de l'économie ivoirienne : la Côte d'Ivoire en est le premier producteur avec plus de 40 % de la production mondiale ; le cacao contribue à 15 % du PIB du pays et représente 40 % de ses recettes d'exportations.

Dans ce contexte, le suivi de la production cacaoyère qui est au cœur des enjeux économiques et de développement requiert une meilleure connaissance des rapports cacao-climat. Or, la plupart des études sur le cacao en Côte d'Ivoire portent essentiellement sur la baisse du rendement et des insectes ravageurs.

L'intérêt de la présente étude est de comprendre la réaction du cacaoyer dans un environnement caractérisé par une fluctuation des composantes climatiques. L'importance d'une telle approche réside dans l'obtention d'information sur la manière dont le cacaoyer réagit face aux signaux climatiques qui régissent sa croissance, et partant, sa production présente et future.

Les difficultés rencontrées dans la réalisation de la présente recherche résident dans la prospection, l'échantillonnage, le traitement et l'analyse des cernes de cacaoyers : (i) les collectes d'échantillons ont porté sur les vastes zones

agro-écologiques de la cacaoculture en Côte d'Ivoire qui couvrent douze départements ; la préparation et le traitement des échantillons ont duré plus de six mois ; (iii) les analyses des cernes de cacao par les méthodes de la dendrochronologie ont été réalisées hors de la Côte d'Ivoire, au Laboratoire de Dendrochronologie Tropicale, ICRAF-Kenya. C'est donc une étude qui demande beaucoup de temps, et mobilise d'importants moyens financiers, techniques et une expertise internationale.

**RESUME**

Le cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) est une plante pérenne tropicale de la famille des Malvacées. Sa culture offre le premier rang à la Côte d'Ivoire avec plus de 40 % de la production mondiale. Elle contribue à 15 % du PIB du pays et représente 40 % de ses recettes d'exportations. En dépit de son poids économique, cette culture reste tributaire des conditions climatiques qui sont de plus en plus incertaines du fait de leur variation. Dans ce contexte, le suivi de la production cacaoyère qui est au cœur des enjeux économiques et de développement requiert une meilleure connaissance de la réponse du cacaoyer aux variations climatiques. Le présent mémoire vise à répondre à cette préoccupation par l'application de la dendrochronologie à l'analyse des cernes de croissance du cacaoyer collectés dans les zones agro-écologiques de la Côte d'Ivoire. L'indice centré réduit et le test de Pettitt ont permis d'analyser les fluctuations climatiques sur la période de 1960-2015. Les résultats de l'étude confirment la variabilité climatique qui se manifeste par un important déficit pluviométrique, variant de 5 % à 17 %, et une hausse des températures moyennes allant de 0,30 °C à 0,70 °C. En outre, les statistiques dendrochronologiques du cacaoyer mettent en évidence des variations climatiques interannuelles et multi-décennales. L'analyse de la relation croissance-climat révèle que la croissance du cacaoyer est sensible à la pluviométrie et aux températures moyennes. En outre, les cacaoyers de l'Ouest sont plus sensibles aux variables climatiques que ceux des autres régions du pays.

**Mots-clés** : Dendroclimatologie, cacaoyer, variabilité climatique, Côte d'Ivoire

## TABLE DES MATIERES

**AVANT-PROPOS** ..... **1**
**RESUME** ..... **1**
**TABLE DES MATIERES** ..... **2**
**SIGLES ET ABREVIATIONS** ..... **5**
**CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE** ..... **6**
I.1 Contexte et compréhension du sujet ..... 6
I.2 Délimitation du cadre de l'étude ..... 7
I.3 Problématique ..... 8
I.4 Objectifs de l'étude ..... 9
I.5 Hypothèse de l'étude ..... 9
I.6 Organisation du travail ..... 10
**CHAPITRE II : CADRE THEORIQUE ET ESPACE D'ETUDE** ..... **11**
II.1 Cadre Théorique ..... 11
II.1.1 Approche Conceptuelle ..... 11
II.1.2 Intérêt d'étude ..... 20
II.2 Géographie de la zone d'étude ..... 20
II.2.1 Situation géographique et administrative ..... 20
II.2.2 Climat et végétation ..... 21
II.2.3 Sol et hydrographie ..... 22
**CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES DE L'ETUDE** ..... **23**
III. 1 Matériels de collecte de données ..... 23
III.1.1 Matériel végétal et technique ..... 23
III.1.2 Prospection et échantillonnage de cacaoyers ..... 24
III.1.3 Données climatiques ..... 24
III. 2 Méthodologie ..... 25
III.2.1 Analyse de la variation climatique ..... 25
III.2.2 Etude des paramètres dendrométriques du cacaoyer ..... 27

**CHAPITRE IV : PRESENTATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS ..... 30**
IV.1 Identification des tendances climatiques des zones d'étude ..... 30
IV.1.1 Analyse des hauteurs pluviométriques à Aboisso ..... 30
IV.1.2 Identification des tendances de températures à Aboisso ..... 31
IV.1.3 Analyse des hauteurs pluviométriques à Abengourou ..... 32
IV.1.4 Identification des tendances de températures d'Abengourou ..... 33
IV.1.5 Analyse des hauteurs pluviométriques à Dimbokro ..... 34
IV.1.6 Analyse des hauteurs pluviométriques à Daoukro ..... 35
IV.1.7 Analyse des hauteurs pluviométriques à Bocanda ..... 36
IV.1.8 Identification des tendances de températures à Dimbokro (Daoukro et Bocanda) ..... 37
IV.1.9 Analyse des hauteurs pluviométriques à Vavoua ..... 39
IV.1.10 Identification des tendances de températures à Daloa (Vavoua) ..... 40
IV.1.11 Analyse des hauteurs pluviométriques à Guiglo ..... 41
IV.1.12 Identification des tendances de températures de Guiglo (Man) ..... 42
IV.2 Caractéristiques de la chronologie des cernes ..... 44
IV.2.1 Statistiques chronologiques des sites d'étude ..... 44
IV.2.2 Indices de croissance des cernes du cacaoyer ..... 46
IV.3 Corrélation entre la croissance du cacaoyer et le climat ..... 52
IV.3.1 Réponse du cacaoyer aux variables climatiques d'Aboisso ..... 52
IV.3.2 Réponse du cacaoyer aux variables climatiques d'Abengourou ..... 54
IV.3.3 Réponse du cacaoyer aux variables climatiques de Daoukro ..... 56
IV.3.4 Réponse du cacaoyer aux variables climatiques de Bocanda ..... 57
IV.3.5 Réponse du cacaoyer aux variables climatiques de Dimbokro ..... 59
IV.3.6 Réponse du cacaoyer aux variables climatiques de Vavoua ..... 61
IV.3.7 Réponse du cacaoyer aux variables climatiques de Guiglo ..... 62
IV.4 Dynamique spatiale de la réponse du cacaoyer aux pluviométries et températures ..... 64

IV.4.1 Analyse spatiale de la réponse du cacaoyer aux pluviométries annuelles ..... 64
IV.4.2 Réponse de la croissance du cacaoyer suivant les saisons climatiques ..... 65
IV.4.3 Analyse spatiale de la réponse du cacaoyer aux températures moyennes annuelles ..... 71
IV.4.4 Réponse de la croissance du cacaoyer suivant les saisons climatiques ..... 73
**CHAPITRE V : DISCUSSION ..... 79**
V.1 Variabilité climatique en Côte d'Ivoire ..... 79
V.2 Statistiques dendrochronologiques des cernes ..... 80
V.3 Relation croissance-climat ..... 81
**CONCLUSION GENERALE ..... 83**
**REMERCIEMENTS ..... 84**
**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ..... 86**
**LISTE DES FIGURES ..... 91**
**LISTE DES TABLEAUX ..... 95**
**LISTE DES ANNEXES ..... 95**
**ANNEXES ..... 96**

## SIGLES ET ABREVIATIONS

| | | |
|---|---|---|
| ANADER | : | Agence Nationale d'Appui au Développement Rural |
| CILSS | : | Comité Inter-Etat de Lutte Contre la Sécheresse au Sahel |
| FAO | : | Food and Agriculture Organisation (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture) |
| GES | : | Gaz à Effet de Serre |
| GIEC | : | Groupe d'expert Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat |
| ICRAF | : | International Centre for Research in AgroForestry (Centre International pour la Recherche en Agroforesterie) |
| ICCO | : | International Cocoa Organization (Organisation Internationale du Cacao) |
| MINEF | : | Ministère de l'Economie et des Finances |
| PIB | : | Produit Intérieur Brut |
| SODEXAM | : | Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique |
| ZAE | : | Zone Agro-Ecologique |
| ZIC | : | Zone Intertropicale de Convergence |

# CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE

Ce chapitre porte sur l'introduction qui renferme le contexte, la compréhension du sujet et la délimitation du cadre de l'étude. Ensuite, il traite de la problématique du sujet, des objectifs et les hypothèses de l'étude. Enfin, la dernière partie de ce chapitre présente l'organisation du travail.

## I.1 Contexte et compréhension du sujet

Le *Theobroma cacao L.* est une plante pérenne de la famille des malvacées qui pousse dans les régions tropicales humides (Braudeau, 1969 :234). Les conditions écologiques de la cacaoculture font qu'elle est pratiquée dans les zones où les pluies optimales varient de 1 500 à 2 000 mm avec une température moyenne de 28 °C (Mossu, 1990 :20). Dans ces régions, l'humidité relative est comprise entre 80 et 90 % avec une durée d'insolation journalière supérieure à quatre heures. La cacaoculture constitue l'une des bases de l'économie des pays producteurs comme la Côte d'Ivoire. Avec une production de 1,8 millions de tonnes (ICCO, 2017 :10), le cacao représente à lui seul 30 % des recettes d'exportations et participe à plus de 15 % au produit intérieur brut (PIB) de la Côte d'Ivoire.

Malgré cette importance économique, la cacaoculture est soumise à de nombreuses contraintes comme la variabilité climatique. En Côte d'Ivoire, les dernières décennies ont été marquées par une variation climatique. Elles ont enregistré une diminution des hauteurs d'eau précipitée, une modification du régime pluviométrique ainsi que des périodes sèches longues, rigoureuses et récurrentes (Brou, 2005 :72 ; Brou *et al.,* 2005 :535).

La variabilité climatique observée est surtout due à une augmentation de la déforestation qui est liée à une agriculture cacaoyère extensive et itinérante (Brou, 2010 :4). La pratique de la cacaoculture a ainsi entrainé environ 30 % de la destruction du massif forestier ivoirien (FAO, 2017 :1). Les conditions

environnementales autrefois favorables à la cacaoculture deviennent dès lors limitées à certaines zones de production. La variabilité climatique et l'intensification de la culture du cacao mettent à jour des questions sur la durabilité de cette spéculation.

Cependant, les travaux sur l'impact de la variabilité climatique sur le cacaoyer en Côte d'Ivoire ne se limitent qu'à des études sur la baisse du rendement et des insectes ravageurs, ne permettant pas d'appréhender la variabilité spatiale de la réponse au climat. L'analyse de la réponse au climat permettra de comprendre la réaction du cacaoyer dans un environnement caractérisé par une fluctuation des composantes climatiques (pluie, température, humidité relative, etc.). Cette analyse du climat permet également de caractériser les processus environnementaux qui régissent la croissance des arbres et d'appréhender leurs évolutions futures (Latte et *al.,* 2012 :4). L'importance d'une telle approche, constituera donc une source d'information sur la manière dont le cacaoyer reçoit les signaux climatiques en vue d'une amélioration de la production dans les différentes zones agro-écologiques.

## I.2 Délimitation du cadre de l'étude

La zone forestière de la Côte d'Ivoire, espace de cette étude se situe entre 4 °30' et 8°00' de latitude nord et 3 °15' et 8 °30' de longitude ouest. Cet espace comprend une façade maritime de 550 km et bordé par le Libéria à l'ouest et le Ghana à l'est. Il est également limité au nord par les districts de montagne, de Woroboa, de la Vallée de Bandama et du Zanzan. Le choix porté sur cet espace d'étude se justifie- par le fait qu'il présente de bonnes conditions écologiques et climatiques pour la pratique de la cacaoculture.

## I.3 Problématique

La Côte d'Ivoire produit environ 40 % de l'offre mondial en fèves de cacao et occupe depuis plus d'une trentaine d'années, le premier rang mondial des pays producteurs de cacao. La cacaoculture constitue l'un des principaux secteurs pourvoyeurs d'emplois. Elle occupe plus de 25 % de la population ivoirienne. Toutefois, sa mise en place s'est faite au détriment de l'espace forestier ivoirien (Brou, 2005 :165). La déforestation est en partie due à la variabilité climatique observée au cours des quatre dernières décennies après l'indépendance de la Côte d'Ivoire (Brou, 2005 :116). Cette variation climatique s'est manifestée par une baisse considérable des hauteurs pluviométriques et une hausse des températures (Djè, 2014 :32 ; Kanohin et *al.*, 2012 :197 ; Brou, 2005 :68 ; Savane et *al*, 2001:233).

Corolaire à cette situation, les zones agro-écologiques de la cacaoculture en Côte d'Ivoire connaissent des périodes de longues sécheresses pouvant s'étendre sur plus de trois mois consécutifs (Kanohin et *al.*, 2012 :214 ). La variabilité climatique affecte ainsi les systèmes hydrologiques locaux, l'utilisation des sols et la durabilité du système de production de cacao. Par ailleurs, des études d'impact de la variabilité climatique sur le cacao ont largement été étudiées notamment en rapport avec le rendement. Cependant, ces études n'ont pas inclus la relation entre la croissance radiale du cacaoyer et le climat. Cette corrélation permet de mettre en évidence les facteurs climatiques expliquant la variabilité spatiale de la réponse moyenne au climat. De même, la variation du climat d'une année à l'autre a des répercussions directes sur la croissance des arbres ligneux tels que le cacaoyer et donc sur la largeur de cerne. Le cerne est donc le reflet des conditions favorables ou défavorables de croissance pendant la formation de l'arbre. Il révèle aussi la sensibilité de l'arbre au climat.

La dynamique spatiale de la réponse du cacaoyer à la variabilité climatique, objet de cette étude pourrait permettre d'évaluer les effets à grande échelle du climat passé et présent sur la croissance de cerne du cacaoyer. Aussi, d'en ressortir

les zones de forte ou faible réponse du cacaoyer aux fluctuations climatiques. Il en résulte ainsi de développer des stratégies pour une production cacaoyère durable et rentable tout en réduisant les impacts des futures variations climatiques sur la production de cacao. Cette étude se propose donc de répondre à la question principale suivante : Quelle est la réponse du cacaoyer à la variation climatique dans les différentes zones agro-écologiques de la cacaoculture en Côte d'Ivoire ? De cette question centrale découlent les questions secondaires suivantes: Comment se présentent les modifications de la pluviométrie et de la température dans les différentes zones agro-écologiques de la cacaoculture en Côte d'Ivoire ? Quelles sont les caractéristiques chronologiques de la croissance des cernes du cacaoyer dans les différentes régions de production? Quelle corrélation existe-t-il entre la pluviométrie, la température et la croissance des cernes du cacaoyer ?

## I.4 Objectifs de l'étude

L'objectif général de cette étude est de déterminer la réponse du cacaoyer aux variations climatiques dans les zones agro-écologiques de la cacaoculture en Côte d'Ivoire. De manière spécifique, il s'agira de :

- Identifier les tendances pluviométriques et de températures dans les différentes zones agro-écologiques de la cacaoculture.
- Analyser les caractéristiques chronologiques de la croissance des cernes du cacaoyer dans les différentes zones de production.
- Montrer la corrélation entre la pluviométrie, la température et la croissance des cernes du cacaoyer.

## I.5 Hypothèse de l'étude

Depuis les années 1970, la disparition des espaces forestiers a entrainé une dégradation des conditions climatiques et environnementales qui s'est soldée par des déficits hydriques et pluviométriques en Afrique de l'Ouest (Dibi Kangah,

2004 :213 ; Paturel *et al.*, 1998 :945). En Côte d'Ivoire, cette situation est à l'origine des mutations de la *« Boucle du cacao »* qui s'est successivement déplacée du centre-est au centre-ouest avant de se développer dans les régions de l'ouest et du sud-ouest du pays (Affou et Tano, 1991 :311).

Partant du fait que le cacaoyer ne peut supporter une saison sèche consécutive supérieure à trois mois (Mossu, 1990 :20), dans la mesure où cela peut entrainer une modification de la croissance radiale de ses cernes, la présente étude qui confirmera l'augmentation des températures moyennes annuelles et la réduction substantielle des pluviométries moyennes annuelles, permettra de conclure que la croissance des cernes du cacaoyer a été sensibles à la pluviométrie et la température moyennes. Ces résultats permettront de soutenir que dans les décennies à venir, il y aura de fortes réductions de croissance des cernes du cacao occasionnant une régression de sa production à l'échelle du pays.

## I.6 Organisation du travail

Cette étude a été élaborée dans le but d'identifier la réponse du cacaoyer aux variations climatiques survenues dans la zone forestière de la Côte d'Ivoire. Dans cette optique, une approche conceptuelle sur le cacaoyer, la variation climatique et la dendroclimatologie a d'abord été décrite. Ensuite, les méthodes de fluctuation climatique et les principes propres à la dendrochronologie ont permis d'étudier les modifications climatiques et la croissance des cernes du cacaoyer et leur relation avec le climat. Les résultats obtenus ont enfin été discutés et des recommandations ont été faites pour l'amélioration de l'étude.

# CHAPITRE II : CADRE THEORIQUE ET ESPACE D'ETUDE

Le *Théobroma Cacao* L. est le modèle biologique sur lequel se base cette étude. Ce chapitre présente l'origine et l'historique de l'espèce, ses caractéristiques botaniques et écologiques, puis son importance économique et son évolution dans le temps et l'espace. En outre, la variabilité climatique est abordée ainsi que la notion de la dendroclimatologie et son importance. Enfin, ce chapitre traite de l'intérêt de l'étude et de la présentation de l'espace de l'étude.

## II.1 Cadre Théorique

### II.1.1 Approche Conceptuelle

#### II.1.1.1 Origine et historique de la cacaoculture

Le cacaoyer est un arbre de taille comprise entre cinq et sept mètres. Il est originaire d'Amérique du sud et du centre. Le cacaoyer a été cultivé par les Mayas et les Aztèques, essentiellement pour des fins alimentaires, rituelles et médicinales (Martin, 1970 :1). A partir du XVI$^{e}$ siècle, les espagnols ont introduit le cacaoyer en Europe et la culture a connu une propagation. En Afrique, les premières semences ont été cultivées à Sao Tomé en 1820 avant d'atteindre le Ghana en 1857 (Martin, 1970 :1 ; Vincent, 1969 :1). Puis, la cacaoculture s'est étendue au Madagascar, Nigéria, Togo et au Cameroun. En Côte d'Ivoire, le cacaoyer a été introduit dans la région d'Aboisso où les premières plantations furent créées vers 1880 par les explorateurs français.

Les différentes variétés cultivées appartiennent aux groupes des *Forastero,* des *Criollo* et des *Trinitario*. La distinction entre ces trois groupes a été basée sur leur origine géographique et sur les caractéristiques morphologiques des cabosses et des fèves (Mossu, 1990 :6). Les variétés du cacaoyer *Forastero* sont les plus cultivées et fournissent entre 60 et 80 % de la production mondiale de cacao (Martin, 1970 :11). Elles sont cultivées généralement en Afrique de l'Ouest, en Amérique Centrale, au nord de l'Amérique du Sud, au Brésil et en Equateur. Les

variétés *Criollo* sont généralement peu cultivées. Elles sont originaires du Venezuela, du Mexique, de l'Amérique centrale, des Antilles, de la Colombie et du Trinidad. Malgré les bonnes caractéristiques organoleptiques des fèves, le groupe des *Criollo* est très sensible aux maladies (Braudeau, 1969 :214). Le cacaoyer *Trinitario* est issu de l'hybridation entre les *Criollo* et les *Forastero*. Il est cultivé généralement dans les pays de l'Amérique Centrale et présente les caractéristiques des deux groupes.

### II.1.1.2 Caractéristiques botaniques du cacaoyer

Le cacaoyer est une espèce qui appartient à la famille des Malvacées précisément des Sterculiacées. Il est formé de feuilles alternes, simples, assez grandes qui possèdent un long pétiole, des stipules et un pulvinus dont la taille peut varier entre quatre et dix mètre (Martin, 1970 :11). Le cacaoyer présente un système racinaire lui permettant un ancrage faible au sol. Par ailleurs, le fruit de cacao appelé cabosse est renfermé par une enveloppe coriace contenant 30 à 40 fèves entourées chacune d'un arille blanchâtre (Martin, 1970 :14). A la maturité, les cabosses de type rouge prennent une couleur vermillon orange, tandis que les cabosses de type vert deviennent jaunes. Aussi, les cabosses de cacaoyer pèsent entre 200 et 1000 g selon les variétés (Mossu, 1990 :17).

Quant à la graine de cacao, elle mesure deux à trois centimètre de long et est recouverte d'une pulpe mucilagineuse de couleur blanche qui se détache une fois la graine séchée (Mossu, 1990 :17). Elle contient les deux cotylédons de l'embryon dont les couleurs peuvent varier du blanc pour les *Criollo* au violet foncé pour les *Forastero*. La graine de cacaoyer est composée également de trois types de cellules que sont les cellules épidermiques, les cellules parenchymateuses et les cellules à pigment.

### II.1.1.3 Exigences écologiques du cacaoyer

Le cacaoyer se cultive dans les zones tropicales sous un climat chaud et humide. Pour une bonne croissance, cette plante exige une température moyenne annuelle comprise entre 25 et 28 °C. Cette température ne doit pas dépasser 32 °C ni être inférieure à 21 °C (Mossu, 1990 :20). Le cacaoyer est également très sensible à un déficit hydrique. La taille des fèves d'une cabosse, facteur de qualité qui influence le rendement à l'usinage, est liée à la pluviométrie durant les quatre premiers mois du développement du fruit. Le cacaoyer ne peut donc supporter une saison sèche consécutive supérieure à trois mois (Mossu, 1990 :20). Cette plante demande des sols d'une profondeur supérieure à 1,5 m et une texture argilo-sableuse favorisant une bonne rétention en eau et une aération. Ces sols doivent être bien pourvus en matières organiques et un PH proche de la neutralité (6,5 à 7) (Mossu, 1990 :23). La couche superficielle du sol doit répondre à des équilibres anioniques et cationiques, notamment, la teneur en phosphore (P) au moins égale à 180 ppm et les bases échangeables doivent être équilibrées entre elles avec 8 % de potassium (K), 68 % de calcium (Ca) et 24 % de magnésium (Mg). Le taux de saturation minimum en bases échangeables doit atteindre plus de 60 % (Mossu, 1990 :23).

Les cacaoyers exigent un ombrage au cours de leurs premiers stades de développement relativement dense. Le jeune plant a ainsi une vigueur optimale quand l'éclairement est de l'ordre de 25 à 50 % de la lumière totale (Braudeau, 1969 :248). Toutefois, l'ombrage peut être supprimé pour des cacaoyers adultes afin de favoriser l'auto-ombrage.

### II.1.1.4 Importance économique de la cacaoculture

La cacaoculture constitue l'une des principales sources de devises pour les pays producteurs. La production mondiale est estimée à environ 4,7 millions de tonnes au cours de la campagne 2016-2017 (ICCO, 2017 :10). Cette production est fournie par 13 pays producteurs dont les 3/4 proviennent de l'Afrique (ICCO,

2017 :10). La Côte d'Ivoire est le premier producteur mondial devant le Ghana avec 40 % de cette production (ICCO, 2017 :10).

La cacaoculture représente 15 % du produit intérieur brut (PIB) de la Côte d'Ivoire. Première source de devises du pays, les exportations de cacao fèves et cacao transformés représentent près de 45 % des recettes d'exportation soit près de 2,1 milliards d'Euros (MINEF, 2017 :27). Toutefois, seul 25 % du cacao est aujourd'hui broyé localement. Avec une surface cultivée de 2 millions d'hectares environ, en partie sud du pays, la cacaoculture emploie près de 700 000 planteurs (MINEF, 2017 :28).

### II.1.1.5 Dynamique spatiale et temporelle de la cacaoculture

Les conditions climatiques, écologiques et environnementales en Afrique de l'Ouest sont en continuelle dégradation. Depuis les décennies 1970, les pays ouest africains connaissent des déficits hydriques et pluviométriques (Dibi Kangah, 2004 :213 ; Paturel et *al*., 1998 :945 ). Les conséquences de ces fluctuations climatiques se sont traduites par un tarissement des plans d'eau de surface, l'abaissement du niveau général des nappes et la dégradation de l'environnement (Paturel et *al*., 1998 :945). La variabilité climatique a entrainé à cet effet l'appauvrissement des sols et la dégradation des espèces végétales. En Côte d'Ivoire, la modification des conditions environnementales a entrainé une variabilité interannuelle de la production agricole. Considéré comme le pilier majeur du développement économique, le secteur agricole a permis à la Côte d'Ivoire de connaitre une croissance économique exceptionnelle qualifiée de « miracle ivoirien » au lendemain de son accession à l'indépendance. Ce succès économique résulte du développement extensif de la culture de cacao. En effet, les plantations cacaoyères ont été mises en place au détriment de la dégradation de l'environnement forestier. La "*boucle de cacao"* qui autrefois couvrait les régions du centre-est du pays s'est déplacée d'abord au centre-ouest avant d'atteindre les régions de l'ouest et du sud-ouest du pays (Affou et Tano,

1991 :311). Ce déplacement a été effectué au détriment de la disparition du massif forestier et de l'épuisement des terres arables dans ces zones.

Les effets sur le milieu forestier se sont immédiatement fait ressentir. Ainsi, de 10 millions d'hectares dans les années 1960, la forêt ivoirienne est passée à environ 2 millions d'hectares au cours de la dernière décennie de 2010 (FAO, 2017 :1). Selon Brou *et al*., (2005 :536), la mise en place de la cacaoculture et la déforestation considérable qui en est résulté, pourrait avoir conduit localement à une modification des échanges entre la végétation et l'atmosphère. Ces modifications environnementales occasionnées par les activités humaines sont entre autre à l'origine de la modification du climat observée en Côte d'Ivoire.

### II.1.1.6 Variabilité climatique

#### *Notion de changement et variabilité climatique*

Le changement climatique désigne une variation significative de l'état moyen du climat ou de sa variabilité persistante pendant de longues périodes. Les changements climatiques sont généralement liés aux activités humaines depuis l'ère industrielle (GIEC, 2014 :4). Les émissions que ces activités anthropiques engendrent altèrent la composition naturelle de l'atmosphère planétaire (GIEC, 2007 :2). Quant à la variabilité climatique, elle est définit comme toute évolution du climat dans le temps due à des causes naturelles. La variabilité naturelle du climat a des causes purement géophysiques et astronomiques. De façon plus spécifique, la variabilité du climat résulte d'une situation climatique moyenne ainsi que des évènements plus soudains, à toutes les échelles temporelles et spatiales. En effet, depuis 450 000 ans, des variations de températures de 4 à 6 °C ont été observées sur de longues périodes sur toute la surface terrestre (GIEC, 2014 :3). Ces variations sont liées à des cycles de glaciation et des périodes interglaciaires qui ont entrainé des fluctuations à l'échelle temporelle.

En Afrique de l'Ouest, particulièrement en Côte d'Ivoire, le régime de mousson constitue le facteur dominant des saisons des pluies. La mousson

survient en été lorsque les températures changent et que les vents chargés d'humidité se déplacent de l'océan vers les terres (Brou, 2005 :36). Bien que des incertitudes demeurent, certains effets de la variabilité climatique sont attendus, voire déjà évidents. Des tendances futures accroissent le risque lié aux évènements climatiques extrêmes. Malgré les différents désaccords entre les chercheurs sur la variabilité et changement climatique, un consensus semble se dégager pour dire que les activités humaines contribuent à la modification du système climatique (GIEC, 2007 : 6).

### *Causes et manifestations de la variabilité climatique*

Depuis le XX$^{ème}$ siècle, le développement des activités humaines a entrainé une modification du climat dû à l'accroissement de l'émission des gaz à effet de serre (GIEC, 2014: 47 ; GIEC, 2007 :6). Ces concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre (GES) ont atteint des niveaux sans précédent depuis 800 000 ans. Elles sont généralement dues pour plus de ¾ au seul gaz de dioxyde de carbone ($CO_2$). Le $CO_2$ représente 76 % du total des rejets de GES anthropiques (GIEC, 2014 :48). Corolaire à cette situation, la température moyenne du globe devrait continuer d'augmenter (GIEC, 2014 :63). Par ailleurs, l'Afrique subsaharienne a subi une hausse des températures de l'ordre de 0,6 à 0,7 °C (CILSS, 2011 :2). Le changement climatique s'est traduit par une modification des régimes pluviométriques. Cette modification des régimes pluviométriques s'est manifestée par une baisse considérable des hauteurs pluviométriques (Dibi Kangah, 2004 :213 ; Paturel *et al*., 1998 : 942).

En Côte d'Ivoire, les impacts de la variation climatique ont été observés à travers des sécheresses récurrentes, des pluies irrégulières, un décalage saisonnier, une réduction des terres arables, une érosion côtière et des inondations (Kanohin et *a*l., 2009 :198 ; Brou et *al*., 2005 :535 ). Depuis les décennies 1970, la Côte d'Ivoire a enregistré une diminution des hauteurs d'eau précipitée et un raccourcissement des saisons (Brou, 2005 :72). Des études ont également abordé

la variation spatio-temporelle que subit le climat de la Côte d'Ivoire (Brou et *al*., 2005 :539 ; Amani et *al*., 2008 :208). Il en ressort de ces études que, la pluviométrie en Côte d'Ivoire subit une grande variabilité liée en partie aux variations de la zone intertropicale de Convergence (ZIC). Elles confirment de même que, par le fait de la déforestation abusive, la masse d'air maritime (mousson) porteuse d'humidité s'appauvrit en vapeur d'eau. Les hauteurs pluviométriques deviennent de plus en plus faibles concluent elles. Ces variabilités climatiques se sont accompagnées d'un accroissement de la chaleur. La Côte d'Ivoire s'est réchauffée en moyenne de 0,5 °C au cours des quatre dernières décennies (Djè, 2014 :32).

### II.1.1.7 Dendroclimatologie

***Notion et historique de la dendroclimatologie***

La dendrochronologie est la science qui repose sur la mesure des largeurs des cernes annuels de croissance et sur leur datation précise. Sous ce terme sont regroupées toutes les disciplines qui utilisent de façon directe ou indirecte l'information « date » contenue dans une série chronologique de cernes (Lebourgeois et Merian, 2012 :1). Il s'agit de la dendroarchéologie dont l'objet a permis de dater la construction de bâtiments, de l'existence des forêts disparues dont témoignent certains bois fossiles (Latte et *al*., 2012 :4). Ensuite, de l'étude de certains évènements géologiques tels que les éruptions volcaniques connue sous l'appellation de dendrogéomorphologie. Aussi, de l'étude de la caractérisation des processus environnementaux qui régissent la croissance des arbres connue sous le nom de dendroécologie (Latte *et al*., 2012 :4). La dendroclimatologie dont il est objet dans cette recherche, permet une reconstruction du climat passé et la détection éventuelle de changements climatiques. Elle analyse les effets du climat (surtout la pluie et la température) sur l'épaisseur des cernes des arbres (Tessier, 1984 :179).

L'appréhension du rôle de l'arbre dans l'enregistrement des fluctuations climatiques trouve ses origines dans les observations faites par Léonard de Vinci au XV$^{e}$ siècle (Fritts, 1976 :146). Cependant au début du XX$^{ème}$ siècle, sous l'essor de l'astronome physicien Andrew Ellicot Douglass, les fondements de la dendrochronologie précisément ceux de la dendroclimatologie sont posés. Celui-ci compare les séquences de cernes et les données climatiques qui traitent du lien entre la variabilité des cernes et la sécheresse. A l'issu de ces travaux, il a été admis que le fonctionnement cambial de l'arbre conduit à la formation d'un cerne annuel dans lequel on peut reconnaître la marque des saisons (Fritts, 1976 :189). Vers la fin du XX$^{ème}$ siècle, Harold Fritts introduit les techniques de calculs intensifs sur ordinateur en dendrochronologie permettant ainsi d'approfondir l'analyse des relations cernes-climat dans leur dimension spatiale et temporelle (Schweingruber, 1988 :189). Ainsi de nombreuses méthodes (interdatation, standardisation, boostrap, etc.) seront développées. Elles portent sur les fonctions de corrélations et les fonctions de réponse. Ces méthodes indiquent des séquences de coefficients calculés entre un signal commun extrait ou une chronologie de cernes d'arbres et des variables climatiques (Tessier, 1984 :186 ; Fritts, 1976 :315 ).

### *Importance de la dendroclimatologie*

Pour comprendre l'évolution des écosystèmes forestiers et d'élaborer des modèles de croissances et des modèles climatiques, l'étude de la relation entre le climat et la croissance des cernes est indispensable face aux variations climatiques. La dendroclimatologie est donc cette branche de la dendrochronologie qui permet d'analyser l'influence que le climat a sur la croissance annuelle des cernes. Cette influence est perceptible dans la variation de croissance des cernes des arbres et permet de retracer le climat du passé (Holobaca *et al.,* 2015 :161). La croissance des cernes d'un arbre dépend des paramètres climatiques et environnementaux (Lebourgeois, 2000 :160). La

production du cerne est ainsi influencée par des facteurs intrinsèques (espèce, âge, individu, état sanitaire, etc.) et extrinsèques (climat, pédologie, phénomènes naturels). Parmi ces facteurs, le climat possède un intérêt particulier (Latte et *al*., 2012 :15). Le climat varie constamment d'une année à l'autre avec des répercussions directes sur la croissance des arbres et donc sur la largeur des cernes (Schweingruber, 1988 :128).

L'influence du climat entraine une modification de la croissance radiale avec la formation des cernes caractéristiques. Ces cernes peuvent être identifiés par leur largeur très faible ou importante par rapport aux cernes encadrants. Des études menées par Tessier (1984 :186) ont montré que des vagues de chaleurs ou de sécheresses étaient à la base de dysfonctionnements forestiers entrainant souvent la mort des arbres. Abordant dans le même sens, Lebourgeois (2000 :162) dans une étude portant sur «*l'Analyse dendroclimatique du Pin laricio dans l'Ouest de la France* » révèle que la sécheresse joue un rôle majeur dans les variations interannuelles de croissance de cernes. Il souligne également que l'augmentation des températures moyennes annuelles entrainerait dans les décennies à venir de fortes réductions de croissance des cernes d'arbres voire une régression des forêts. Les températures et les pluviométries agissent ainsi de façon directe sur la croissance des cernes des arbres. La croissance relative des arbres une année dépend essentiellement des conditions météorologiques de cette même année (Lebourgeois et Merian, 2012 :6).

L'analyse des relations cerne-climat révèle que les pluies jouent un rôle primordial par rapport aux températures, qui n'interviennent de façon prépondérante que par leurs valeurs minimales (Schweingruber, 1988 :214). L'intervention de ces paramètres climatiques sur le processus de croissance radiale des arbres se découvre généralement que sur deux à trois mois.

### II.1.2 Intérêt d'étude

La Côte d'Ivoire produit environ 1,8 millions de tonnes de fèves de cacao et occupe depuis plus d'une trentaine d'années, le premier rang parmi les pays producteurs de cacao. La cacaoculture constitue la principale source de revenu du pays. Toutefois, la variabilité climatique observée en Côte d'Ivoire a eu de nombreux impacts sur le développement et la croissance du cacaoyer et surtout une variabilité interannuelle de sa production. Dans ce contexte de variation climatique, la durabilité de la production cacaoyère qui est au cœur des enjeux économiques et de développement requiert une meilleure connaissance de la réponse du cacaoyer aux variations climatiques. L'importance d'analyser l'impact des variations climatiques sur la croissance radiale du cacaoyer en vue d'évaluer leur impact futur sur la production est le défi qui oriente cette recherche.

## II.2 Géographie de la zone d'étude

### II.2.1 Situation géographique et administrative

L'étude a été conduite dans quatre zones agro-écologiques (ZAE) de la cacaoculture qui correspondent aux « boucles successives » de production de cacao en Côte d'Ivoire (Figure 1). Ces zones se localisent dans le sud forestier de la Côte d'Ivoire. Il s'agit de la région d'Aboisso qui constitue la ZAE I. Des zones de l'est et du centre-est constituées des départements d'Abengourou, de Daoukro, de Bocanda et de Dimbokro, qui représentent la deuxième ZAE. Ensuite, de la zone du centre-ouest qui renferme la localité de Vavoua qui correspond à la troisième zone agro-écologique. Enfin, de la ZAE IV (région de Guiglo), située à l'ouest de la Côte d'Ivoire où la culture de cacao connait un développement extraordinaire depuis 1980 (nouvelle boucle de cacao).

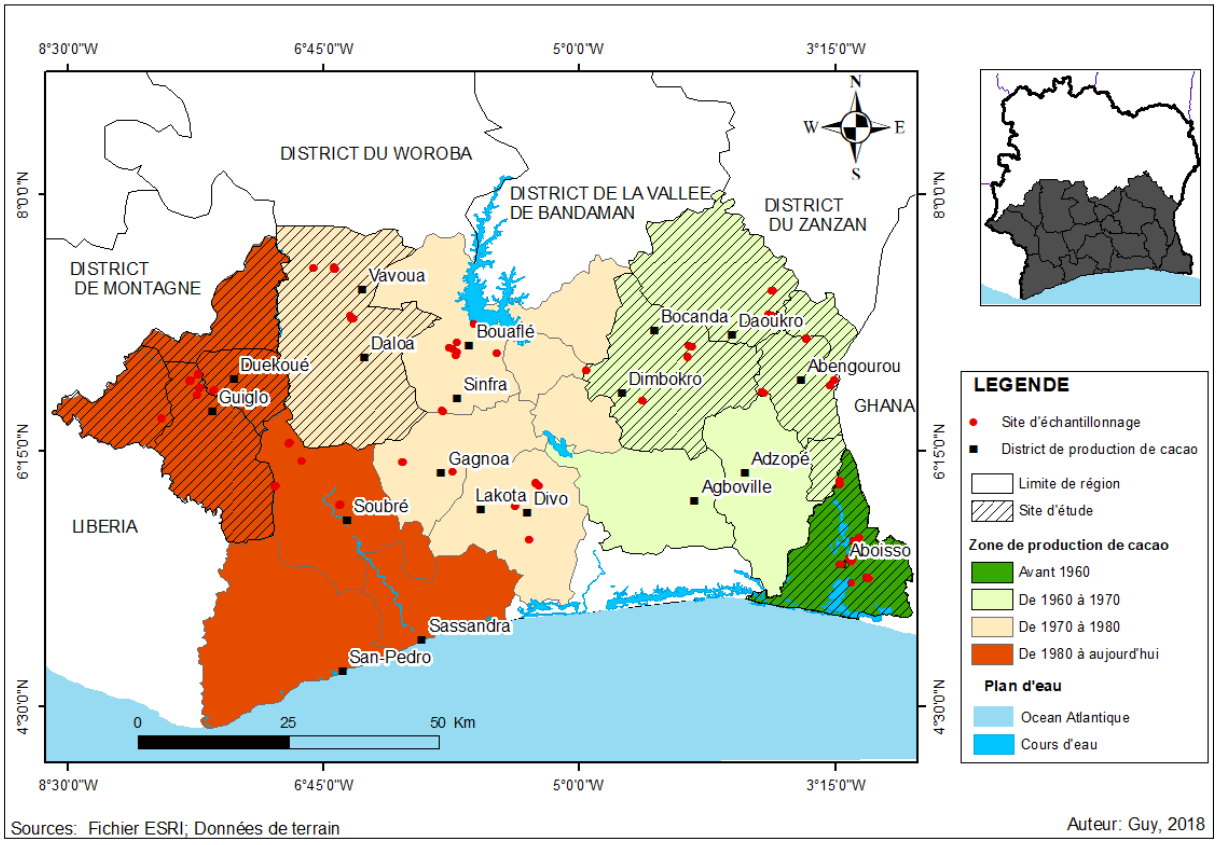



**Figure 1:** Situation géographique de la zone d'étude

### II.2.2 Climat et végétation

La zone d'étude est soumise à un climat subéquatorial, à régime bimodal, avec des pluviométries moyennes variant entre 1200 et 1700 mm par an. On distingue quatre saisons principales :

- avril à mi-juillet : grande saison des pluies, avec de fréquentes précipitations et de nombreux orages,
- mi-juillet à septembre : petite saison sèche, le ciel pouvant rester couvert,
- septembre à novembre : petite saison des pluies, avec quelques petites précipitations,
- décembre à mars : grande saison sèche, marquée par les alizés du nord (harmattan).

Les températures moyennes annuelles oscillent entre 24 et 32 °C. La durée d'insolation est supérieure à 1800 heures par an (Dabin et *al.*, 1960 : 6). La

végétation est constituée de forêts denses humides caractérisées par une diversité d'essences forestières.

### II.2.3 Sol et hydrographie

Les sols de la zone cacaoyère ivoirienne sont bien pourvus en matières organiques et sont majoritairement ferralitiques. Ils sont de deux types, à savoir les sols ferralitiques fortement lessivés couvrant les régions de l'est et l'ouest et les sols ferralitiques moyennement lessivés qui couvrent les zones du nord-ouest, centre ouest et l'ensemble de la région forestière centrale de la Côte d'Ivoire. Le PH de ces sols varie entre 4,5 et 6,5 avec une profondeur qui atteint au minimum 1 mètre (Dabin et *al*., 1960 :8). L'espace d'étude est traversé par quatre fleuves principaux, avec de nombreux affluents à savoir :

- le Cavally (600 km), à l'extrême ouest ;
- le Sassandra (650 km), à l'ouest ;
- le Bandama (950 km), au centre ;
- la Comoé (900 km), à l'est, prend sa source au Burkina Faso.

# CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES DE L'ETUDE

Ce chapitre porte sur les matériels et les techniques de collectes de données dendrochronologiques, l'acquisition des données climatologiques et les différentes méthodes de traitement de ces données.

## III. 1 Matériels de collecte de données

### III.1.1 Matériel végétal et technique

Le matériel végétal est constitué d'échantillons de cacaoyers prélevés sur les troncs à une hauteur comprise entre 30 et 50 cm au-dessus du sol (Figure 2). La liste et l'utilité de chaque matériel utilisé au cours de l'échantillonnage sont présentées dans le tableau 1

.

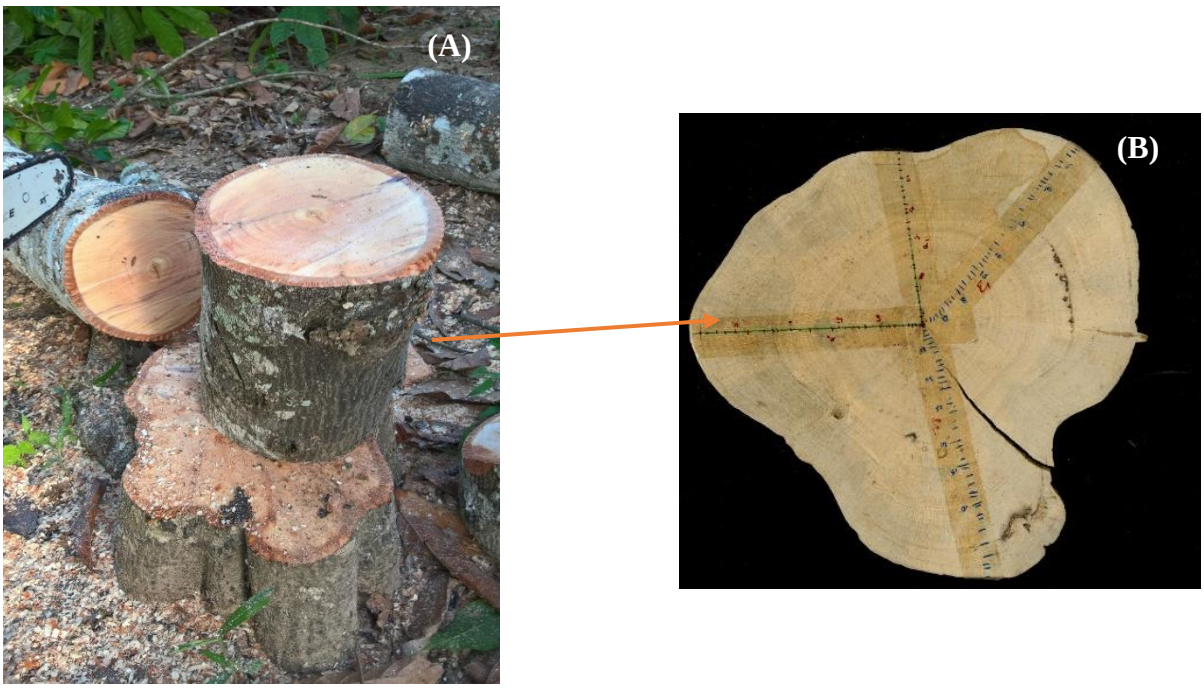



**Figure 2:** Echantillon de rondelle de cacaoyer avant (A) et après (B) traitement
Cliché: Guy, 2017

**Tableau 1:** Matériels de prélèvement et de traitement des rondelles de cacao

| Matériel technique | Utilisation |
|---|---|
| Global Positioning System (GPS) | Géolocalisation des sites de prospections et des cacaoyers échantillonnés |
| Tronçonneuse MS 181 | Prélèvement des troncs de cacaoyers |
| Ponceuse excentrique | Polissage des disques obtenus |
| Scie électrique | Prélèvement des disques de 5 cm d'épaisseur de cacaoyers |

### III.1.2 Prospection et échantillonnage de cacaoyers

Les études dendrochronologiques nécessitent deux types d'échantillonnages à savoir le prélèvement de carottes par forage dans le tronc d'arbre et le prélèvement de rondelles par abattage de l'arbre. Dans cette étude, l'échantillonnage a été effectué par prélèvement de rondelles de cacaoyers. Cette méthode d'échantillonnage facilite la lecture des cernes et rend les mesures plus sûres et plus précises (Latte et *al*., 2012 :7). La prospection et l'échantillonnage ont été conduits dans les zones de production de cacao en Côte d'Ivoire. Le choix des sites prospectés et échantillonnés a été basé sur l'âge de la parcelle et l'origine génétique du cacaoyer cultivé. Chaque échantillon a été géoréférencé et étiqueté, puis transporté au laboratoire pour un pré-séchage.

### III.1.3 Données climatiques

Les données climatiques utilisées dans cette étude concernent les données pluviométriques et de températures. Ces deux variables constituent les facteurs climatiques déterminants la croissance du cacaoyer (Mossu, 1990 :20). Au pas de temps mensuel, les données pluviométriques obtenues proviennent de sept postes pluviométriques à savoir Aboisso, Abengourou, Dimbokro, Daoukro, Bocanda, Vavoua et Guiglo. Elles couvrent la période de 1960 à 2015 et ont été obtenues à la SODEXAM. Les données de températures moyennes mensuelles ont également

été collectées. Du fait d'un nombre insuffisant de stations synoptiques, celles retenues dans chaque ZAE, couvrent les localités distantes d'au moins 100 km. Ainsi, cinq stations synoptiques ont été retenues. Il s'agit de la station d'Adiaké représentant la localité d'Aboisso (ZAE I), des stations d'Abengourou et de Dimbokro pour la ZAE II, de la station de Daloa (Vavoua) et celle de Man pour la ZAE IV. Les données de températures obtenues s'étendent de 1961 à 2015 pour les stations de Dimbokro, Adiaké et de Man. Toutefois, celles disponibles pour la station de Daloa couvrent de 1967 à 2015 et de 1980 à 2010 pour la station d'Abengourou.

## III. 2 Méthodologie

### III.2.1 Analyse de la variation climatique

#### II.2.1.1 Indices pluviométriques centrés réduits

Les années de déficits et d'excédents pluviométriques et la variabilité interannuelle ont été déterminées selon la méthode de l'indice centré réduit (Nicholson, 1988 :481). Les indices pluviométriques utilisés mesurent les écarts entre les hauteurs annuelles de pluie par rapport à la moyenne établie sur la période 1960-2015.

Ils permettent de déterminer les années (ou décennies) déficitaires et excédentaires. L'indice pluviométrique (Ii) est calculé par l'équation *(1)* :

$$\boldsymbol{I_i = \frac{Xi - \bar{X}}{\sigma}} \qquad (1)$$

Avec :

$I_i$ = Indice annuel de la variable pluviométrique ; $X_i$ = Cumul de l'année i étudiée ; $\bar{X}$= Moyenne pluviométrique sur la période de référence ; $\sigma$ = Valeur de l'écart-type de la variable sur la même période de référence.

### II.2.1.2 Test statistique de rupture

Pour mettre en évidence le caractère stationnaire ou non des séries chronologiques de températures et de pluviométries, il a été utilisé la méthode de tests statistiques portant sur l'analyse de tendance et de rupture en moyenne. La détection de ruptures dans cette étude a été réalisée au moyen du test de Pettitt. Ce test a permis de déterminer l'année de rupture pluviométrique au niveau de chaque station considérée aux seuils de signification α = 5 % et α= 1 %. Une rupture est donc définie comme étant un changement dans la loi de probabilité des variables aléatoires dont les réalisations successives définissent les séries chronologiques étudiées (Pettitt, 1979 :130).

Le test de Pettitt a consisté par ailleurs à découper la série principale de N éléments en deux sous séries à chaque instant t compris entre 1 et N-1. La série principale présente une rupture à l'instant t si les deux sous-séries ont des distributions différentes. La variable de Pettitt ($U_{t, N}$) est définie par l'équation *(2)* (Pettitt, 1979 :130):

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^{t} \sum_{j=t+1}^{N} D_{ij} \qquad (2)$$

Avec $D_{ij} = \text{sgn}(^{Xi-Xj})$ ; sgn(X)= 1 si X > 0 ; sgn(X) = 0 si X= 0 et sgn(X)= -1 si X< 0.

La probabilité de dépassement approximative d'une valeur k permet d'apprécier l'importance de la rupture. Elle est définie par l'équation *(3)* (Pettitt, 1979 : 130):

$$Pr\,ob(K_N > k) \approx 2\,exp(-6k^2 / (N^3+N^2)) \qquad (3)$$

L'absence de rupture dans la série de taille N constitue l'hypothèse nulle. Si 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 $U_{t, N}$.

### III.2.2 Etude des paramètres dendrométriques du cacaoyer

#### II.2.2.1 Préparation et traitement d'échantillons

Les disques d'une épaisseur de trois à cinq centimètre ont été prélevés sur chaque échantillon séché. Ces disques ont tout d'abord été polis avec une ponceuse excentrique avec des papiers abrasifs 40,80 et 120. Ensuite, ils ont été polis à la main successivement avec du papier abrasif de taille 180, 240, 400, 800, 1200, 2000 et 4000. Les disques ont été nettoyés à l'air comprimé pour améliorer la lisibilité des cernes.

#### III.2.2.2 Détermination de la largeur des cernes et construction des chronologies

Deux à trois rayons ont été tracés sur la section transversale de chaque rondelle. Sur chaque rayon, les limites de cernes ont été marquées avec un marqueur à encre indélébile. Tous les cernes ont été suivis le long de la circonférence pour vérifier qu'il n'y a pas d'erreurs de comptage. Une fois les cernes marqués et comptés, les surfaces des rondelles ont été scannées.
Sur chaque section de disque obtenue, les largeurs d'anneaux ont été mesurées avec une précision de 0,001 mm à l'aide d'un équipement LINTAB équipé d'un stéréo microscope connecté au programme TSAP-Win (RINNTECH.).

Le logiciel COFECHA a ensuite été utilisé pour la vérification de la précision des mesures des séries de cernes de croissance. Le calcul de la chronologie reflétant la variation de croissance des cacaoyers des différents sites et les séries de cernes de croissance individuelles a été effectué en appliquant une fonction de « spline cubique ». Ce calcul permet d'éliminer les tendances de croissance liées à l'âge et les effets possibles d'autres signaux non climatiques (Schweingruber, 1988 :114). Les séries de cernes de cacaoyers écartées ont ensuite été combinées en une seule chronologie en calculant une valeur moyenne robuste bi-pondérée ; ce qui minimise les impacts des plus faibles sur le calcul des

valeurs moyennes de l'indice. Le développement informatisé et le développement chronologique ont été calculés simultanément au moyen du programme informatisé ARSTAN.

### III.2.2.3 Interdatation ou Cross-dating

La méthode de l'interdatation ou « cross dating » a consisté au croisement des différents échantillons en utilisant les techniques standard de la dendrochronologie. Elle permet la datation correcte de chaque série temporelle (courbes en anneau) et d'identifier des années-marqueurs communes et des schémas de largeur de cycle (Schweingruber 1988 :217).

Le processus de croisement visuel a été vérifié par les paramètres statistiques suivants:

- Considérant que la valeur Gleichläufigkeit (Glk) est la somme des valeurs égales des intervalles de pente d'une série en pourcentage, les *t-value* sont plus sensibles à des valeurs extrêmes, telles que les années de pointage (années de croissance remarquablement faible ou forte).
- L'Indice d'interdatation (CDI : cross date index) combine les deux paramètres et constitue donc un indicateur de courbe très puissant de synchronisation de courbe.

### III.2.2.4 Etude de la réponse du cacaoyer à la variabilité climatique

Les intervalles de confiance de *bootstrap* ont été utilisés pour estimer la signification des coefficients de corrélation sur la période de 1960 à 2015. Les températures et pluviométries moyennes mensuelles ont été les variables prédictives. Les coefficients de corrélation à intervalle unique ont été calculés pour la chronologie principale résiduelle, et les deux différentes chronologies des mois de croissance du cacaoyer. Aussi, les fonctions de corrélation ont été calculées pour la chronologie principale et pour les deux chronologies des différents intervenants à partir des périodes auxquelles la croissance du cacaoyer

a débuté. A partir de la valeur seuil obtenu r= 0 ont été déterminées les périodes de fortes réponses (r > 0) et de faibles réponses (r < 0).

Par ailleurs, une année climatologique a été considérée comme une séquence de saison sèche et pluvieuse. La croissance d'un arbre s'étend sur deux années calendaires, en commençant par la saison de pluie, l'année pendant laquelle l'activité cambiale est supposée s'arrêter, année de croissance associée à l'épaisseur de cernes mesurés (Fritts, 1976 :279). Pour le cacaoyer, la pluviométrie annuelle a été calculée du mois de mai de l'année précédente au mois d'avril de l'année en cours. Les différentes périodes ont été déterminées en suivant la saison des pluies (mai-juin-juillet) et la saison sèche (décembre-janvier-février-mars). A cet effet, les corrélations avec les mois de la saison des pluies et la saison sèche ont été calculées suivant la grande et la petite saison.

.

# CHAPITRE IV : PRESENTATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS

Les résultats obtenus sont essentiellement de trois ordres. Il s'agit des tendances climatiques des différentes zones de production de cacao, des caractéristiques de la chronologie des cernes et de la réponse du cacaoyer au climat.

## IV.1 Identification des tendances climatiques des zones d'étude

### IV.1.1 Analyse des hauteurs pluviométriques à Aboisso

Les valeurs pluviométriques annuelles de 1960 à 2015 d'Aboisso présentent de fortes variabilités par rapport à la moyenne pluviométrique enregistrée qui est de 1634,50 mm (Figure 3). Deux périodes se dégagent de cette moyenne pluviométrique. Une première période dite humide ou excédentaire qui s'étend de 1960 à 1980, avec une moyenne pluviométrique de 1767 mm supérieure à celle de la normale. Cette période humide comprend trois années remarquables avec des valeurs pluviométriques supérieures à 2000 mm de pluie, à savoir 1960 avec 2688 mm, 1968 avec 2424 mm et 1979 avec 2277 mm. Une seconde phase de 1981 à 2015 avec des cycles de séquences sèches et humides. Ce sont 19 années sèches et 15 années humides enregistrées. Les indices pluviométriques interannuels à Aboisso ont révélé dans l'ensemble une diminution progressive des hauteurs pluviométriques entre 1960 et 2015.

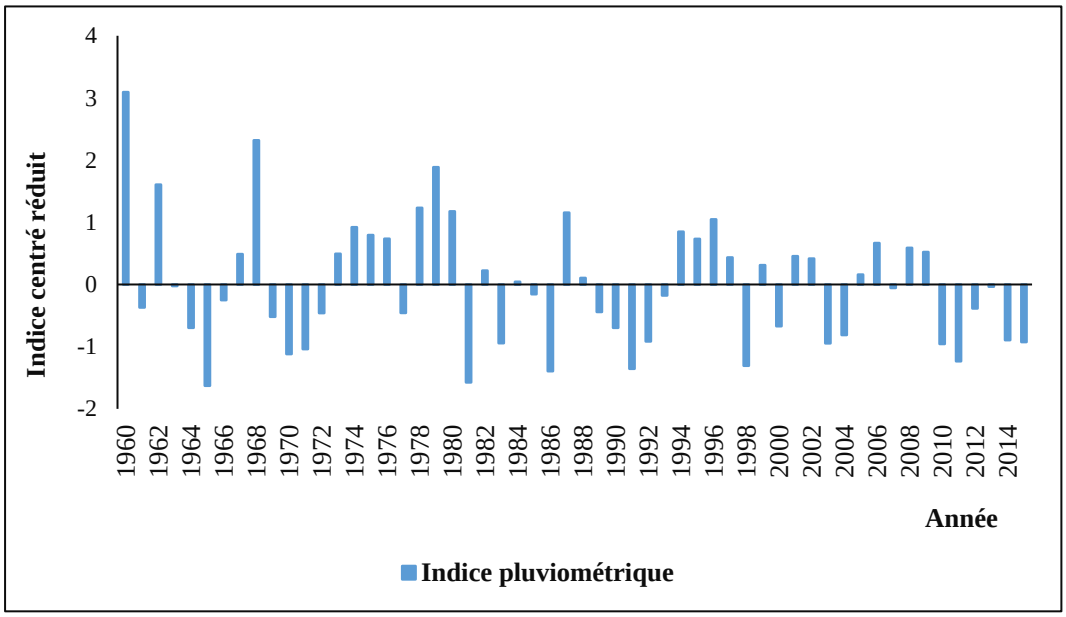



**Figure 3:** Indices des hauteurs de pluies annuelles de 1960 à 2015 à Aboisso

### IV.1.2 Identification des tendances de températures à Aboisso

Les températures moyennes de la région d'Aboisso de 1961 à 2015, indiquent une hausse ($\alpha = 0,05$) de la température moyenne annuelle (Figure 4). Deux périodes se dégagent de la variabilité des températures moyennes. Une première phase de 1961 à 1986 au cours de laquelle, les températures moyennes sont inférieures à la moyenne générale de la série (26,11 °C). Une seconde période de 1987 à 2015, pendant laquelle les températures moyennes sont supérieures à 26,11 °C. Par ailleurs, dans cette série chronologique a été détectée une rupture dont l'écart entre les deux moyennes (25,73 °C et 26,5 °C) révèle une augmentation de 0,77 °C de la température moyenne annuelle (Figure 5).

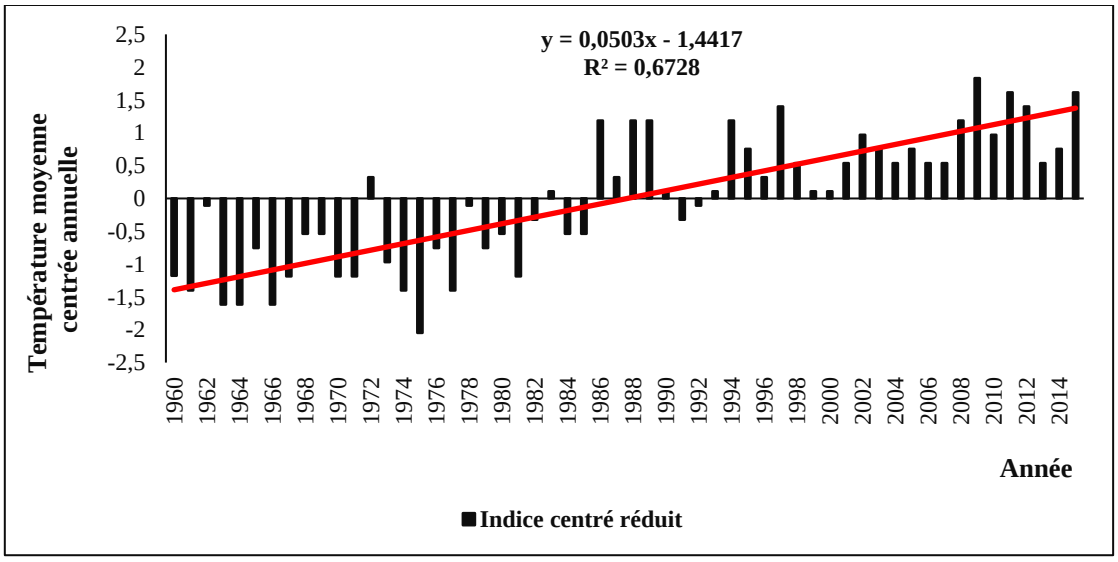



**Figure 4:** Indices centrés réduits des températures moyennes de 1961 à 2015 à Adiaké (Aboisso)

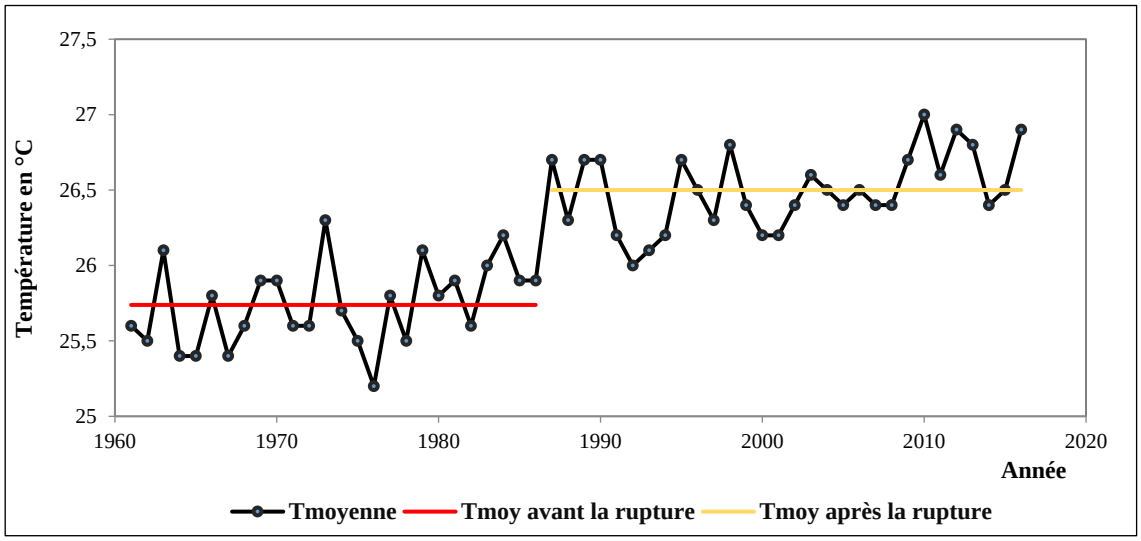



**Figure 5:** Evolution de la variabilité des températures moyennes de 1961 à 2015 à Adiaké (Aboisso)

### IV.1.3 Analyse des hauteurs pluviométriques à Abengourou

Les valeurs moyennes pluviométriques à Abengourou de 1960 à 2015 ont présenté une moyenne pluviométrique de 1317,50 mm. L'analyse des indices pluviométriques montre trois principales périodes sur les 55 années d'étude (Figure 6). D'abord une première période de 1960 à 1968, dite humide avec une moyenne pluviométrique de 1480,66 mm supérieure à celle de la normale

(1317,50 mm). Ensuite, une seconde phase de 1969 à 1989 où les cumuls pluviométriques restent inférieurs à la moyenne de la série. Cette époque est entrecoupée par quelques années humides à savoir 1971, 1972, 1978, 1981, 1986 et 1987. Enfin, une troisième période de 1990 à 2015 caractérisée par une alternance d'années sèches et humides.

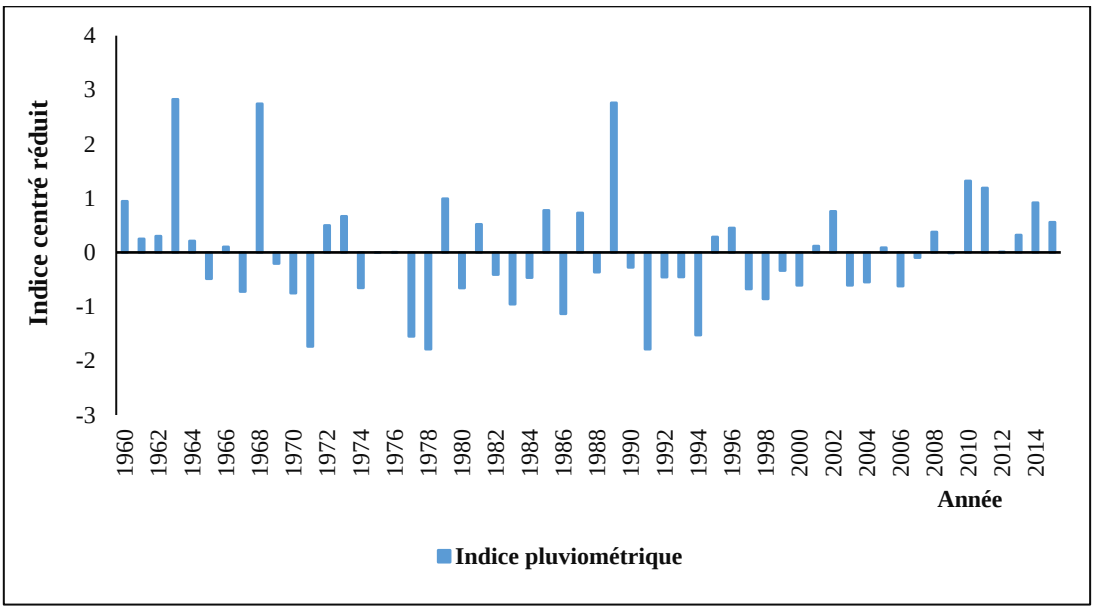



**Figure 6:** Indices des hauteurs de pluies annuelles de 1960 à 2015 à Abengourou

### IV.1.4 Identification des tendances de températures d'Abengourou

La température moyenne d'Abengourou est caractérisée par une variabilité à partir de laquelle se dégagent deux périodes. Une première période de 1980 à 1992 au cours de laquelle les températures moyennes sont inférieures à la moyenne de la série. La seconde période s'étend de 1992 à 2010 pendant laquelle les températures moyennes sont supérieures à la moyenne de la série (Figure 7). Les températures moyennes d'Abengourou de 1980 à 2010, présentent dans l'ensemble une hausse ($\alpha = 0,066$) de la température moyenne annuelle.

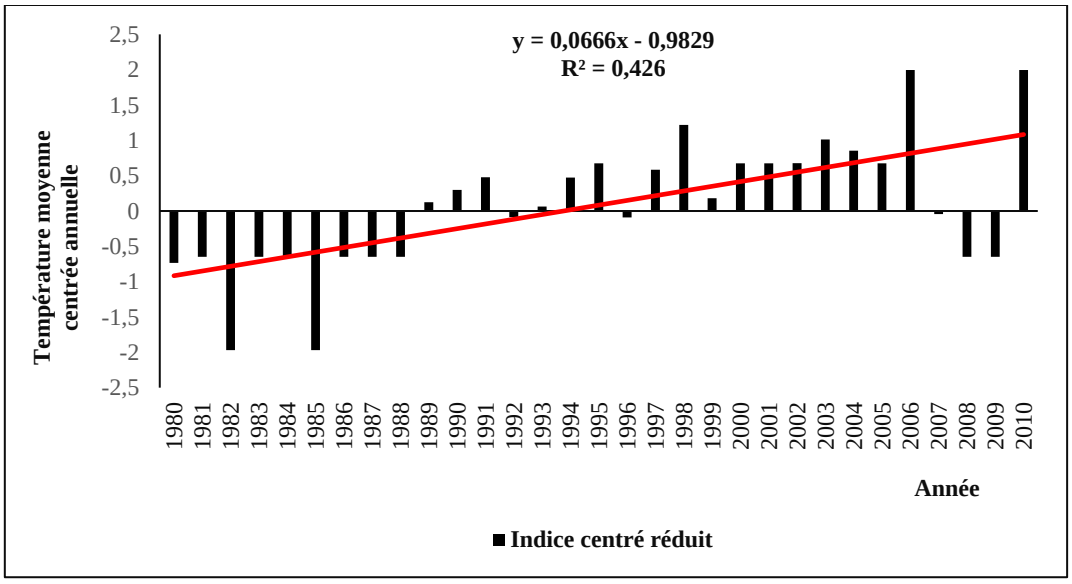



**Figure 7:** Indices centrés réduits des températures moyennes de 1980 à 2015 à Abengourou

### IV.1.5 Analyse des hauteurs pluviométriques à Dimbokro

Les indices pluviométriques de la période de 1960 à 2015 à Dimbokro présentent deux grandes phases (Figure 8). La première période dite humide, s'étend de 1960 à 1976 avec une moyenne de 1212,7 mm supérieure à la moyenne de la série (1097,04 mm). L'écart entre cette période et la normale de 1960 à 2015 est d'environ 115 mm. Cette période humide est suivie de la longue séquence sèche de 1977 à 2015 avec une moyenne de 1046,62 mm. La période déficitaire connaît quelques années humides importantes à savoir 1984, 1996 et 2012.

L'analyse de la variabilité annuelle des pluies de la localité de Dimbokro, a révélé dans l'ensemble une baisse ($\alpha$ = - 4,04) des valeurs moyennes annuelles (Figure 9). Le test de Pettitt appliqué à la série pluviométrique de Dimbokro atteste la période normale. Cette série pluviométrique présente une rupture dont l'écart entre les moyennes des deux périodes (1212,7 mm et 1046,62 mm) révèle une baisse de 166,08mm de pluies.

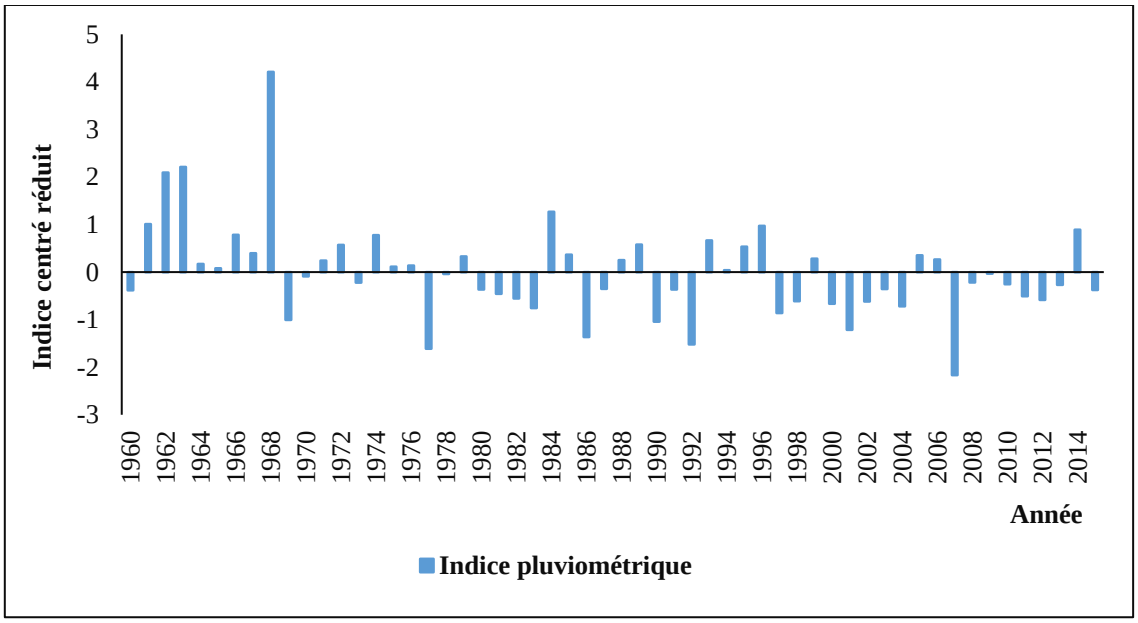



**Figure 8:** Indices des hauteurs de pluies annuelles de 1960 à 2015 à Dimbokro

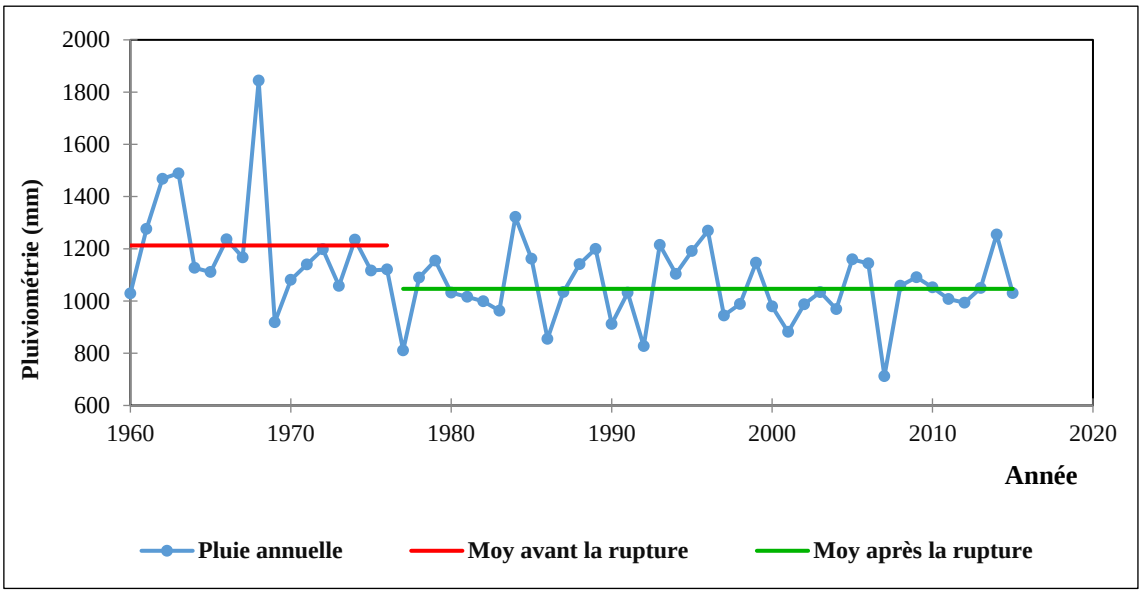



**Figure 9:** Evolution de la variabilité des pluies annuelles de 1960 à 2015 à Dimbokro

### IV.1.6 Analyse des hauteurs pluviométriques à Daoukro

L'analyse des indices pluviométriques centrés réduits de 1960 à 2015 à Daoukro présente trois périodes (Figure 10). D'abord une première époque de 1960 à 1968, avec une moyenne pluviométrique de 1198, 87 mm où les cumuls

annuels des pluies sont toujours supérieurs à la moyenne de la série (1111,08 mm). Ensuite, une seconde période des années sèches de 1969 à 1983 où les valeurs pluviométriques annuelles restent inférieures à la moyenne de la série. Enfin, une troisième phase de 1984 à 2015, caractérisée par une alternance d'années humides et années sèches.

L'analyse de la variabilité annuelle des pluies de la localité de Daoukro, a indiqué une baisse des valeurs moyennes annuelles dans l'ensemble (α = - 1,59).

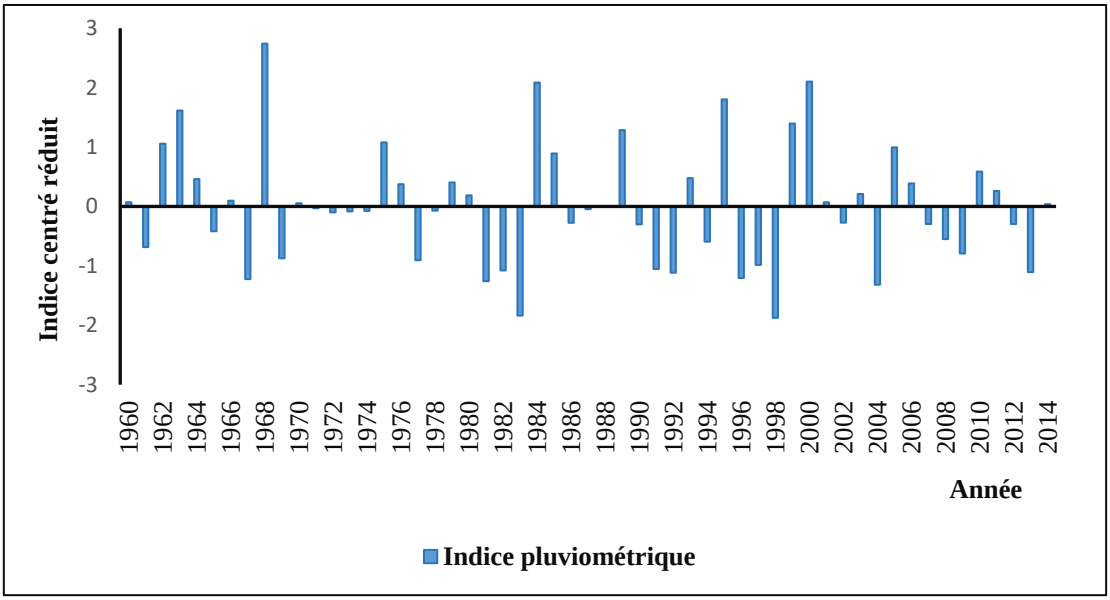



**Figure 10:** Indices des hauteurs de pluies annuelles de 1960 à 2015 à Daoukro

### IV.1.7 Analyse des hauteurs pluviométriques à Bocanda

Les indices pluviométriques de 1960 à 2015 de Bocanda présentent trois périodes. Une première période dite excédentaire ou humide de 1960 à 1974 avec une moyenne de 1151, 37 mm supérieure à la moyenne de la série (1040,81 mm). Cette période est suivie d'une seconde phase de 1975 à 1996 marquée par une alternance d'années humides et sèches. Enfin, une troisième époque de 1997 à 2015, caractérisée par des années sèches avec des cumuls pluviométriques annuels inférieurs à la moyenne de la série (Figure 11). L'analyse de la variabilité annuelle

des pluies de la localité de Bocanda a indiqué une baisse des valeurs moyennes annuelles (α = - 4,20).

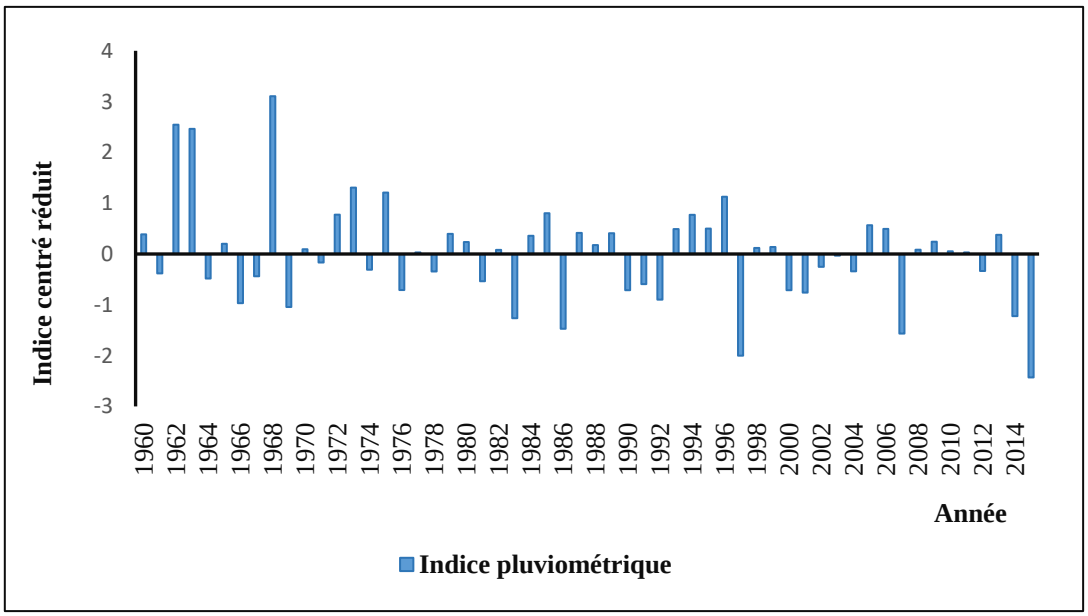



**Figure 11:** Indices des hauteurs de pluies annuelles de 1960 à 2015 à Bocanda

### IV.1.8 Identification des tendances de températures à Dimbokro (Daoukro et Bocanda)

Les températures moyennes de Dimbokro couvrant les localités de Daoukro et Bocanda (ZAE II) de 1960 à 2015 indiquent une variabilité de la température moyenne annuelle avec une hausse α = 0,05 (Figure 12). De cette variabilité se dégagent deux périodes. Une première phase de 1960 à 1994, au cours de laquelle les températures moyennes sont inférieures à la moyenne générale de la série (27,06 °C). Une seconde période de 1995 à 2015, pendant laquelle les températures moyennes sont supérieures à 27,06 °C. Une rupture a été détectée dont l'écart entre les deux moyennes (26,67 °C et 27,45 °C) révèle une augmentation de 0,78 °C de la température moyenne annuelle (Figure 13).

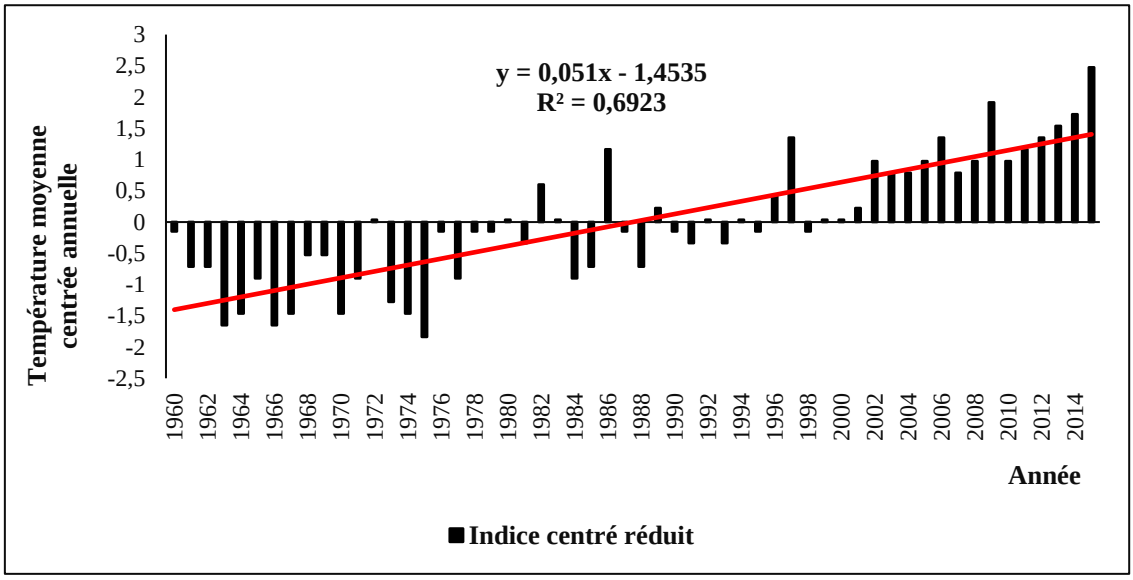



**Figure 12:** Indices centrés réduits des températures moyennes de 1960 à 2015 à Dimbokro (Daoukro et Bocanda)

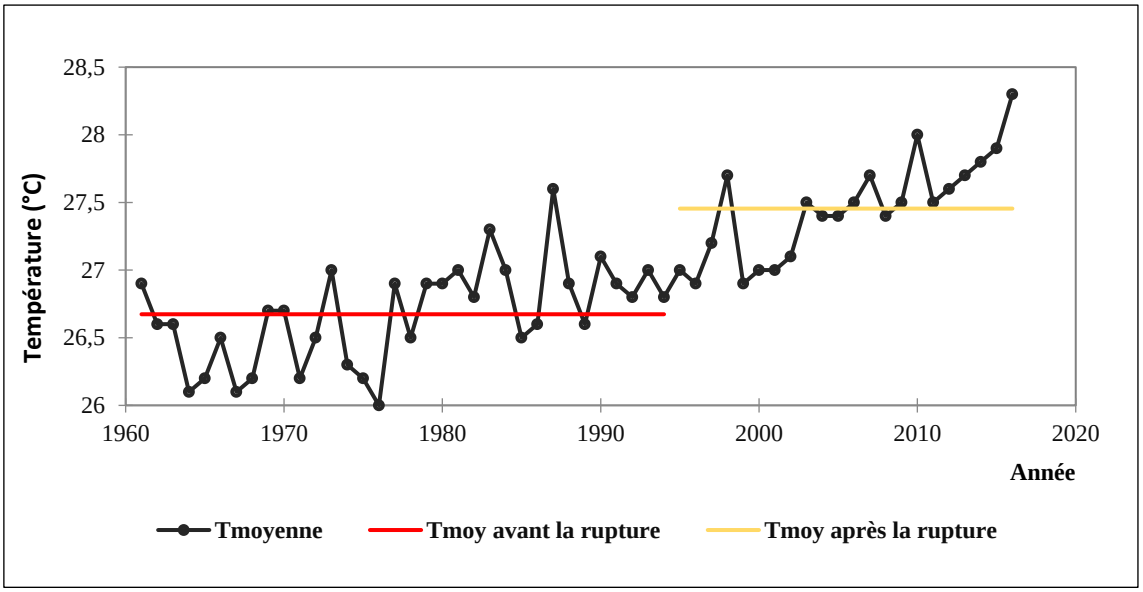



**Figure 13:** Evolution de la variabilité des températures moyennes de 1960 à 2015 à Dimbokro (Daoukro et Bocanda)

### IV.1.9 Analyse des hauteurs pluviométriques à Vavoua

Les indices pluviométriques de 1960 à 2015 à Vavoua présentent deux grandes périodes (Figure 14). La première phase dite humide s'étend de 1960 à 1974 avec une moyenne de 1265,06 mm supérieure à la moyenne de la série (1085,05 mm). Cette période humide est suivie de la longue séquence sèche de 1975 à 2015 avec une moyenne de 1048,46 mm. La phase déficitaire est entrecoupée par quelques années humides importantes à savoir 1980, 1995 et 1996.

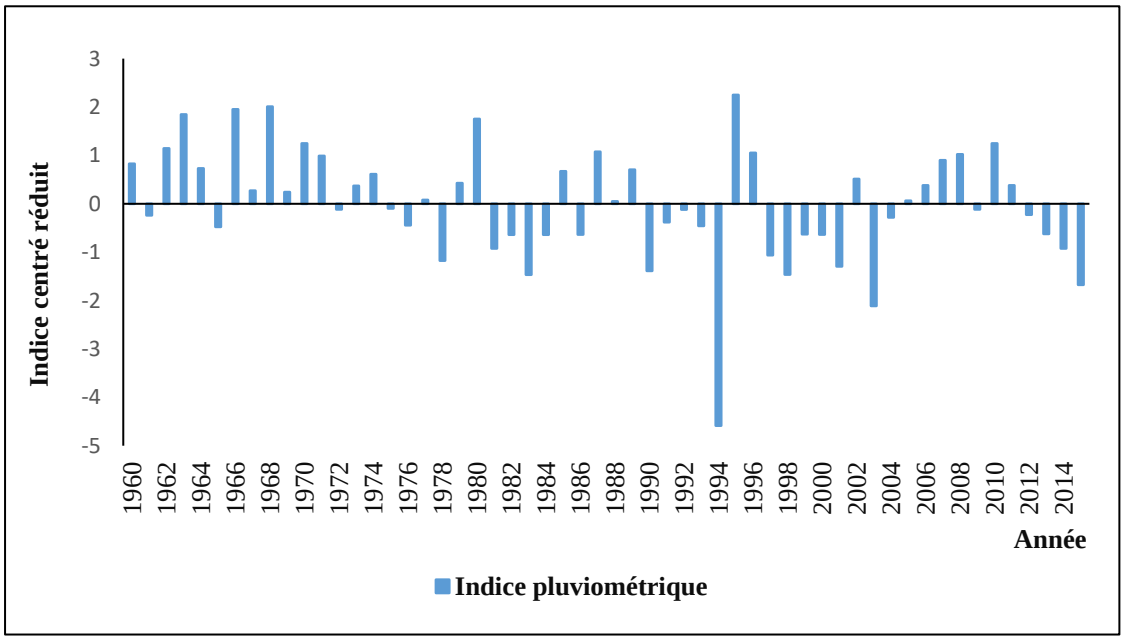



**Figure 14**: Indices des hauteurs de pluies annuelles de 1960 à 2015 à Vavoua

L'analyse de la variabilité annuelle des pluies de la localité de Vavoua, a révélé dans l'ensemble une baisse des valeurs moyennes annuelles ($\alpha$ = - 4,82). Par ailleurs, une rupture a été détectée dans cette série chronologique. L'écart entre les moyennes pluviométriques des deux périodes (1265,06 mm et 1048,46 mm) révèle une baisse de la hauteur des pluies de 217 mm (Figure 15)

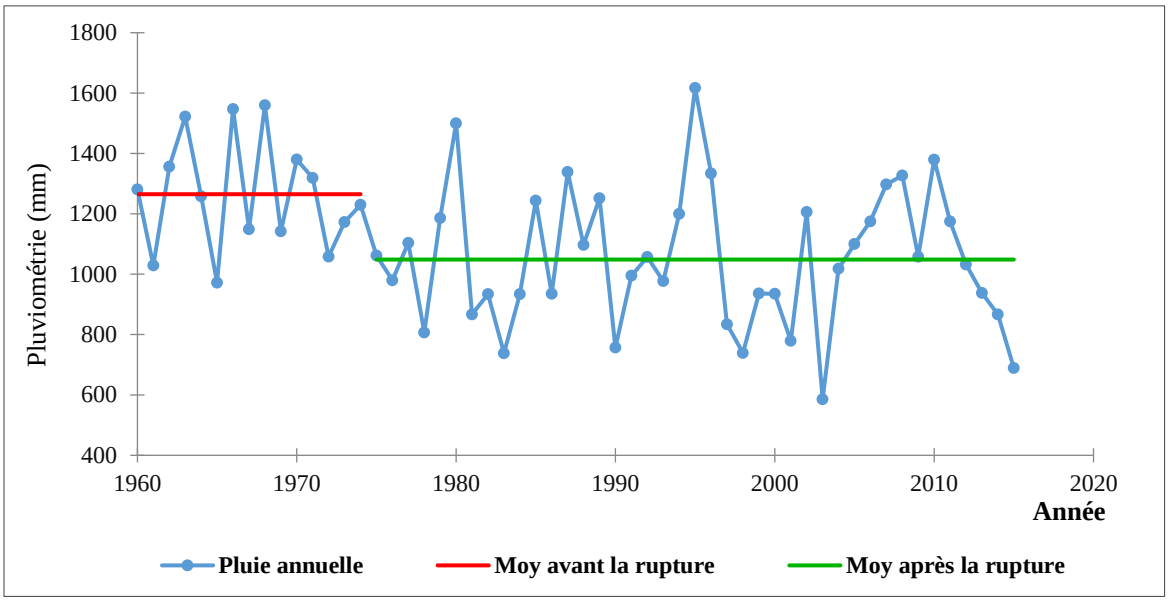



**Figure 15:** Evolution de la variabilité des pluies annuelles de 1960 à 2015 à Vavoua

### IV.1.10 Identification des tendances de températures à Daloa (Vavoua)

Les températures moyennes de 1967 à 2015 à Daloa couvrant la localité de Vavoua, indiquent une hausse ($\alpha$ = 0,019) de la température moyenne annuelle (Figure 16). Deux périodes se dégagent de la variabilité des températures moyennes annuelles. Une première phase de 1967 à 2002 au cours de laquelle, les températures moyennes sont inférieures à la moyenne générale de la série (25,95 °C). Cette phase est suivie de la période de 2003 à 2015, pendant laquelle les températures moyennes sont supérieures à 25,95 °C. Le test de Pettitt dans la série chronologique a détecté une rupture. L'écart entre les deux moyennes (25,78 °C et 26,13 °C) révèle une hausse de 0,35°C de la température moyenne annuelle (Figure 17).

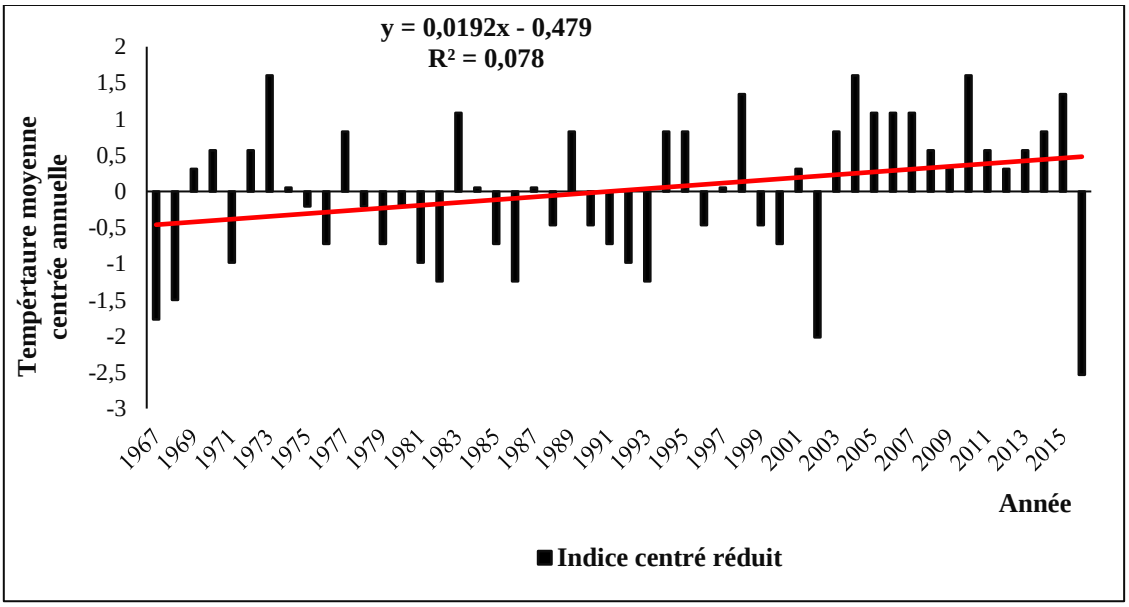



**Figure 16:** Indices centrés réduits des températures moyennes de 1967 à 2015 à Daloa (Vavoua)

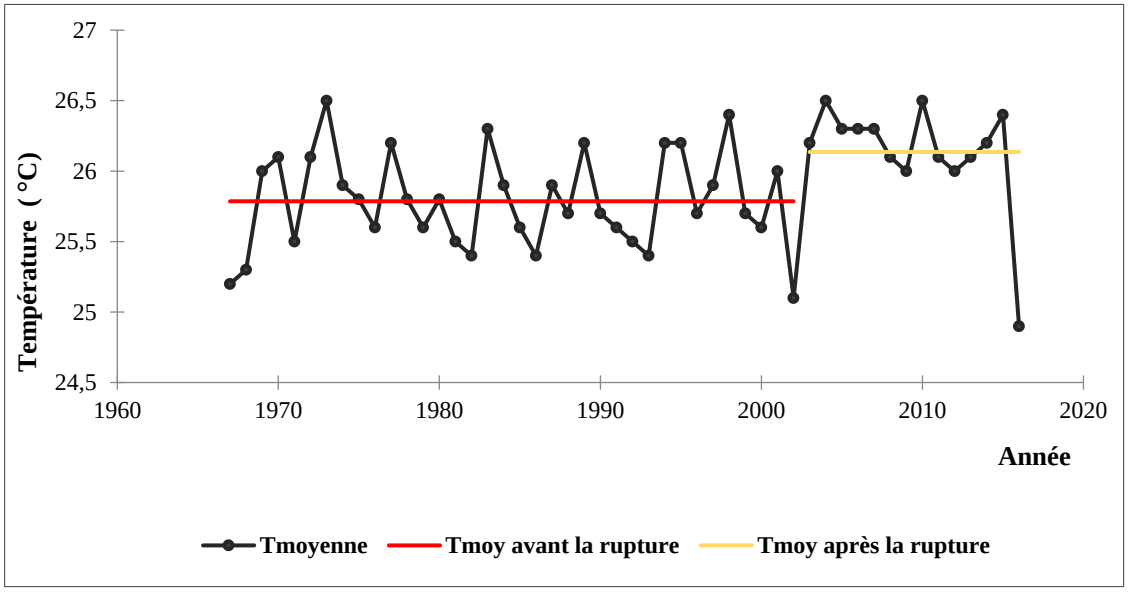



**Figure 17**: Evolution de la variabilité des températures moyennes de 1967 à 2015 à Daloa (Vavoua)

### IV.1.11 Analyse des hauteurs pluviométriques à Guiglo

Les valeurs pluviométriques de 1960 à 2015 de Guiglo indiquent une moyenne de 1634 mm. De cette moyenne pluviométrique se dégagent trois grandes périodes (Figure 18). D'abord une première période de 1960 à 1981 des

années humides, avec une moyenne pluviométrique de 1689,86 mm. Au cours de cette période, les cumuls annuels des pluies sont supérieurs à la moyenne de la série. Ensuite une seconde époque de 1982 à 1999 des années sèches avec une moyenne pluviométrique de 1574, 32 mm où les cumuls pluviométriques annuels restent inférieurs à la moyenne de la série. Enfin une troisième phase de 2000 à 2015, caractérisée par une alternance d'années humides et années sèches. La variabilité annuelle pluviométrique de la localité indique une baisse des hauteurs annuelles ($\alpha$ = -1,51).

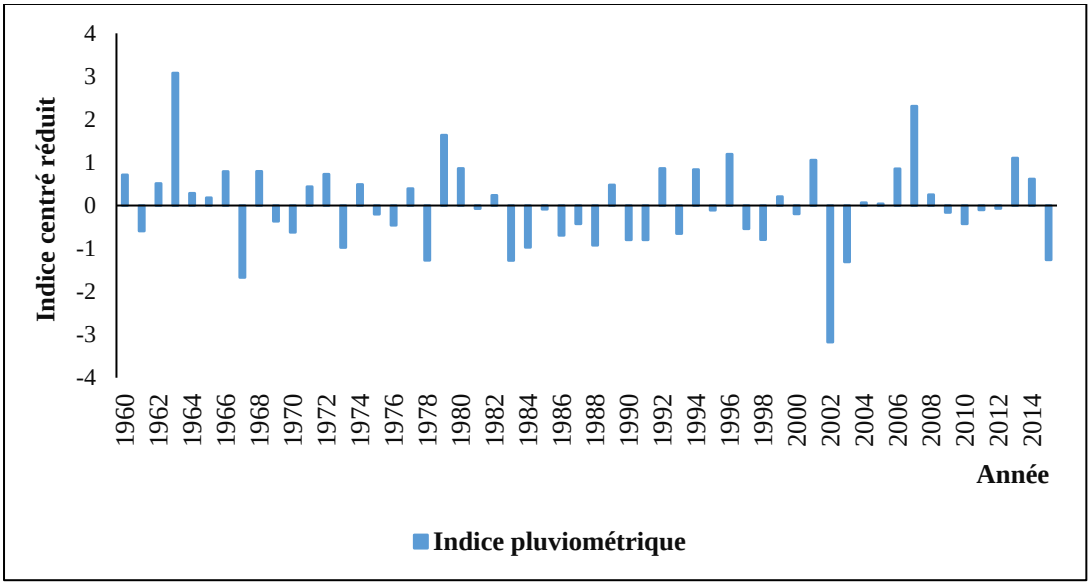



**Figure 18:** Indices des hauteurs de pluies annuelles de 1960 à 2015 à Guiglo

### IV.1.12 Identification des tendances de températures de Guiglo (Man)

Les températures moyennes de 1961 à 2015 de Man couvrant la localité de Guiglo, indiquent une variabilité de la température moyenne annuelle avec une hausse $\alpha$ = 0,049 (figure 19). De cette variabilité se dégagent deux périodes. Une première phase de 1961 à 1986 au cours de laquelle, les températures moyennes sont inférieures à la moyenne de la série (24,62 °C). Une seconde période de 1987 à 2015, pendant laquelle les températures moyennes sont supérieures à 24,62 °C. Une rupture a été détectée dans la série chronologique dont l'écart entre les deux

moyennes (24,23 °C et 25,02 °C) révèle une augmentation de 0,79 °C de la température moyenne annuelle (Figure 20).

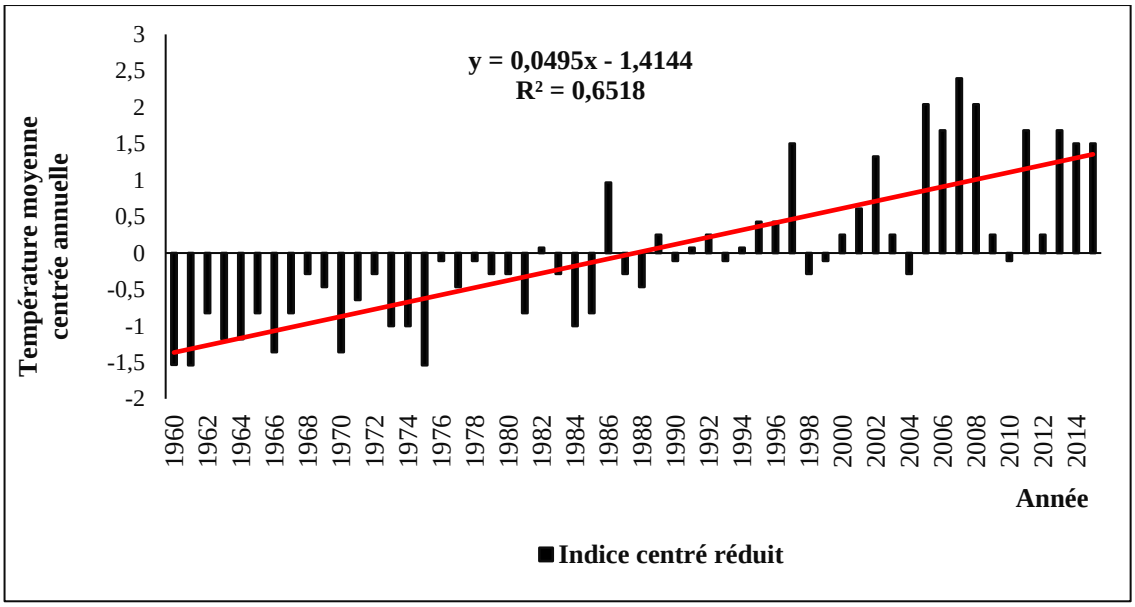



**Figure 19:** Indices centrés réduits des températures moyennes de 1961 à 2015 à Man (Guiglo)

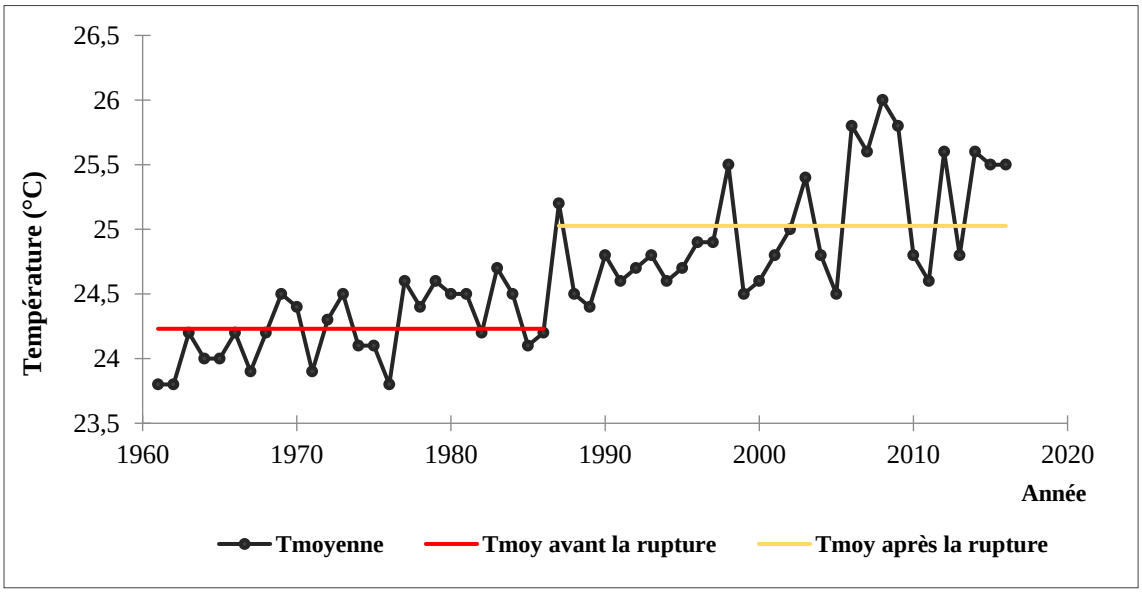



**Figure 20:** Evolution de la variabilité des températures moyennes de 1961 à 2015 à Man (Guiglo)

## IV.2 Caractéristiques de la chronologie des cernes

### IV.2.1 Statistiques chronologiques des sites d'étude

Les statistiques descriptives de la chronologie des cernes du cacaoyer des différentes zones agro-écologiques ont présenté différentes chronologies (Tableau 2). Ainsi, les annotations des cernes ont révélé une chronologie de 47 ans à Aboisso, 54 ans à Abengourou, 48 ans à Bocanda, 51 ans à Daoukro et Guiglo, 41 ans à Dimbokro et 62 ans à Vavoua.

La sensibilité moyenne (MS) reflète la sensibilité de l'accroissement radial de l'arbre à un facteur externe donné (Fritts, 1976 :242). Les indices de MS peuvent varier de 0,65 pour des arbres très sensibles à la sécheresse à 0,15 pour des arbres peu sensibles en zones tempérés. Les valeurs de MS du cacaoyer obtenues pour cette étude indiquent une variation de la sensibilité d'une région de production à une autre. Les cacaoyers des zones de production de Guiglo et de Daoukro (MS= 0,38) ont été plus affectés par les changements des facteurs environnementaux, tandis que ceux de la région de Dimbokro (MS= 0,34) ont été moins sensibles et moins affectés par ces facteurs. Dans l'ensemble, les MS du cacaoyer ont été supérieures à la valeur seuil de 0,20 (Fritts, 1976 :243). Cela prouve que les cacaoyers des différentes zones de production en Côte d'Ivoire ont été très sensibles à la sécheresse. Ces indices de MS révèlent ainsi une grande variabilité interannuelle de la croissance du cacaoyer. Cette croissance a été fortement influencée par un facteur environnemental particulièrement le climat.

Les autocorrélations d'ordre 1 (AC1) reflètent quant à elles l'influence des facteurs climatiques sur la croissance des cernes de l'année précédente et leur influence sur celle de l'année en cours. Les valeurs moyennes des autocorrélations de premier ordre (AC1) pour le cacaoyer ont varié de 0,18 à 0,33. La chronologie de Vavoua a enregistré la plus faible AC1 tandis que celle de Dimbokro enregistre la plus forte valeur. L'AC1 indique que pour l'ensemble des zones de production, la pluviométrie et la température ont eu un impact significatif sur la formation des cernes du cacaoyer de l'année antérieure et sur celle de l'année en cours.

Quant aux valeurs de Rbar (corrélation interséries) enregistrées, elles ont montré que les largeurs des cernes du cacaoyer conviennent aux études de relation entre la variation climatique et la croissance du cacaoyer. Elles traduisent l'évaluation de la qualité de la chronologie des cernes. Les valeurs de Rbar ont varié de 0,030 à 0,21. Les Rbar les plus élevées ont été enregistrées à Abengourou (0,11), Bocanda (0,21), Dimbokro (0,12) et Guiglo (0,10). L'intensité du signal climatique est plus forte pour les cacaoyers de ces localités.

Au niveau des valeurs du Signal de Population Exprimée (EPS), elles ont varié de 0,20 à 0,79 pour la population de cacaoyer étudiée. Ces indices d'EPS montrent que les cacaoyers ont capturé 20 à 79% de la variation interannuelle de la croissance traduisant plus ou moins la fiabilité de la chronologie. Les valeurs d'EPS les plus élevées ont été observées dans des localités d'Abengourou (0,78), de Dimbokro (0,79) et de Guiglo (0,79). Ces différentes chronologies utilisées ont été respectivement séparées en 1990 pour les localités d'Abengourou et de Guiglo et en 1986 pour la localité de Dimbokro.

**Tableau 2:** Caractéristiques dendrochronologiques de la chronologie des cernes du cacaoyer

| Sites d'étude | Nombre d'échantillons | Age | Sensibilité Moyenne (MS) | Autocorrélation (AC1) | Rbar | EPS |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Aboisso | 18 | 47 | 0,37 | 0,21 | 0,048 | 0,37 (2000) |
| Abengourou | 27 | 54 | 0,36 | 0,29 | 0,11 | 0,78 (1990) |
| Daoukro | 06 | 51 | 0,38 | 0,27 | 0,075 | 0,61 (1990) |
| Bocanda | 05 | 48 | 0,36 | 0,28 | 0,21 | 0,51 (1900) |
| Dimbokro | 08 | 41 | 0,34 | 0,33 | 0,12 | 0,79 (1986) |
| Vavoua | 16 | 62 | 0,35 | 0,18 | 0,030 | 0,20 (1980) |
| Guiglo | 23 | 51 | 0,38 | 0,24 | 0,10 | 0,79 (1990) |

**Abréviations :** MS = Mean Sensitivity (Sensibilité Moyenne) ; AC1 = First-Order Autocorrelation (Autocorrélation du Premier Ordre) ; EPS = Expressed Population Signal ; Rbar = Corrélation Interseries

### IV.2.2 Indices de croissance des cernes du cacaoyer

#### IV.2.2.1 Chronologie des cernes d'Aboisso

La chronologie moyenne des cernes d'Aboisso a été obtenue grâce à 18 séries chronologies individuelles qui ont été croisées et qui couvrent la période de 1970 à 2017 (Figure 21). Le profil se caractérise par une croissance relativement stable sur tout l'ensemble de la série d'année. Les années 1989 et 1996 présentent la valeur d'indice de croissance (1,2 mm) la plus élevée traduisant une bonne croissance du cacaoyer. Cependant, les années 1980 (0,7 mm) et 2010 (0,8 mm) indiquent les plus faibles indices de croissance de toute la série.

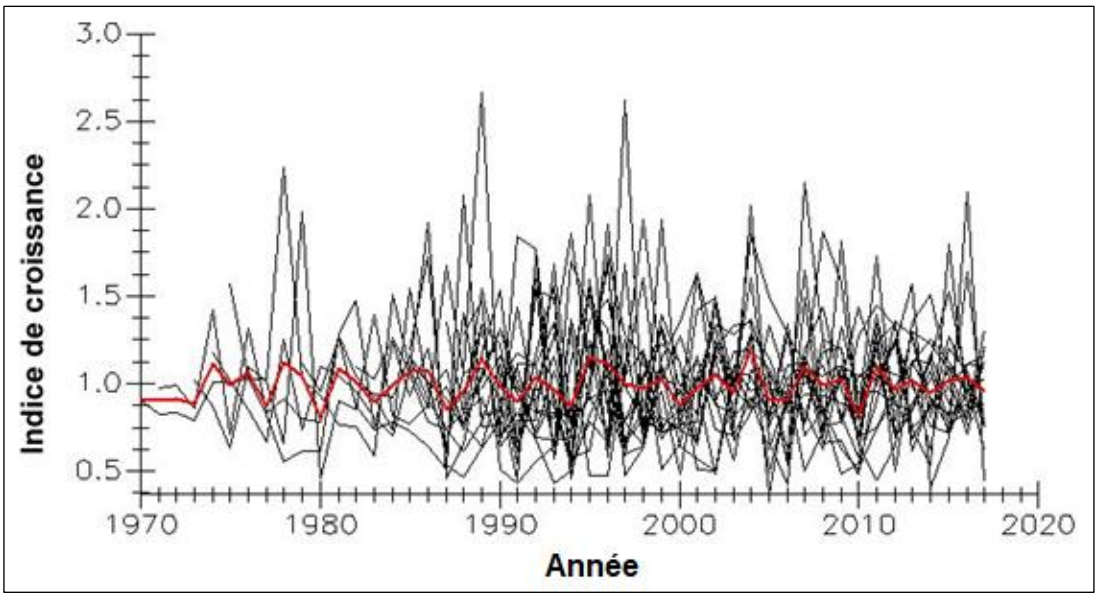



**Figure 21:** Indices de croissance de la chronologie d'Aboisso de 1970 à 2017

### IV.2.2.2 Chronologie des cernes d'Abengourou

La chronologie des cernes d'Abengourou a été construite à l'aide de 27 séries chronologies individuelles croisées et couvrant la période de 1963 à 2017 (Figure 22). La chronologie maîtresse obtenue représente au mieux la relation avec les facteurs influençant la largeur des cernes du cacaoyer. Cette moyenne se caractérise par une croissance relativement stable avec de légères tendances ascendantes et descendantes. Les années 1963 (1,4 mm) et 1996 (1,2 mm) indiquent une bonne croissance du cacaoyer avec les indices les plus élevés de la série. Toutefois, la faible croissance des cacaoyers est observée en 1974 (0,7 mm).

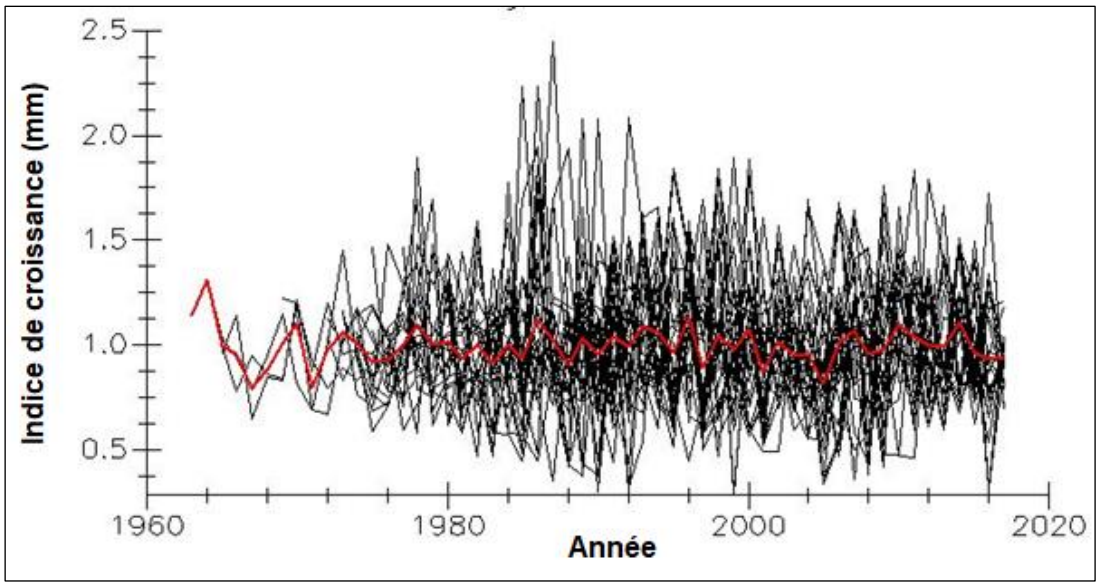



**Figure 22:** Indices de croissance de la chronologie d'Abengourou de 1963 à 2017

### IV.2.2.3 Chronologie des cernes de Daoukro

Le croisement de six (06) séries chronologies individuelles de Daoukro sur la période de 1966 à 2017 a permis d'obtenir la chronologie maîtresse indiquant au mieux la relation avec les facteurs influençant la largeur des cernes du cacaoyer (Figure 23). Cette moyenne (chronologie maîtresse) a présenté trois modèles de croissance du cacaoyer. D'abord, la première période de 1966 à 1980 est marquée par des tendances ascendantes et descendantes avec trois pics majeurs observés en 1972 (1,2 mm), 1973 (0,3 mm) et 1976 (1,5 mm). La seconde période de 1981 à 1994 se caractérise par une croissance relativement stable. Le troisième modèle de croissance est observé de 1995 à 2007, marqué par l'année 1996 (1,3mm), année de forte croissance du cacaoyer. Aussi, sur cette période sont observées les plus faibles valeurs d'indices en 1997 (0,7 mm), 2001 (0,8 mm) et 2007 (0,6 mm). Cette période de croissance ascendante est suivie d'une période de croissance stable jusqu'en 2017.

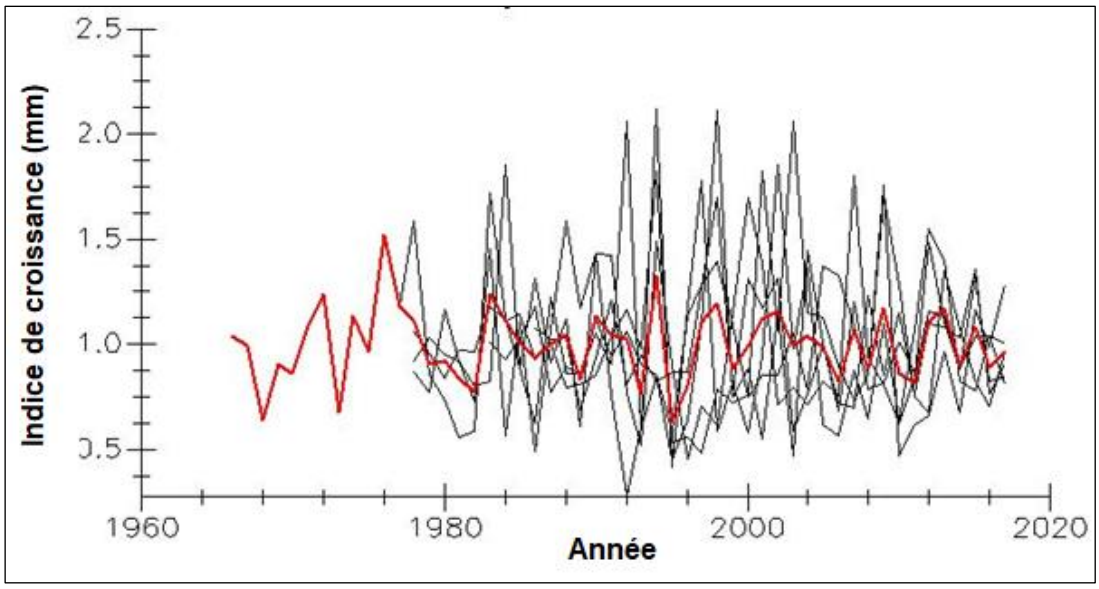



**Figure 23:** Indices de croissance de la chronologie de Daoukro de 1966 à 2017

### IV.2.2.4 Chronologie des cernes de Bocanda

La chronologie maitresse des cernes de Bocanda a été construite à l'aide de cinq (05) séries chronologies individuelles croisées et couvrant la période de 1969 à 2017 (Figure 24). La moyenne de toutes ces chronologies obtenue (chronologie maîtresse) se caractérise par une croissance relativement stable avec de légères tendances ascendantes et descendantes. Les années 1984 (1,2 mm), 1989 (1,3 mm) et 1996 (1,4 mm) ont présenté les plus fortes croissances (années marquantes) sur toute la série. Après ces périodes, s'en suit une trajectoire de croissance stable jusqu'en 2017.

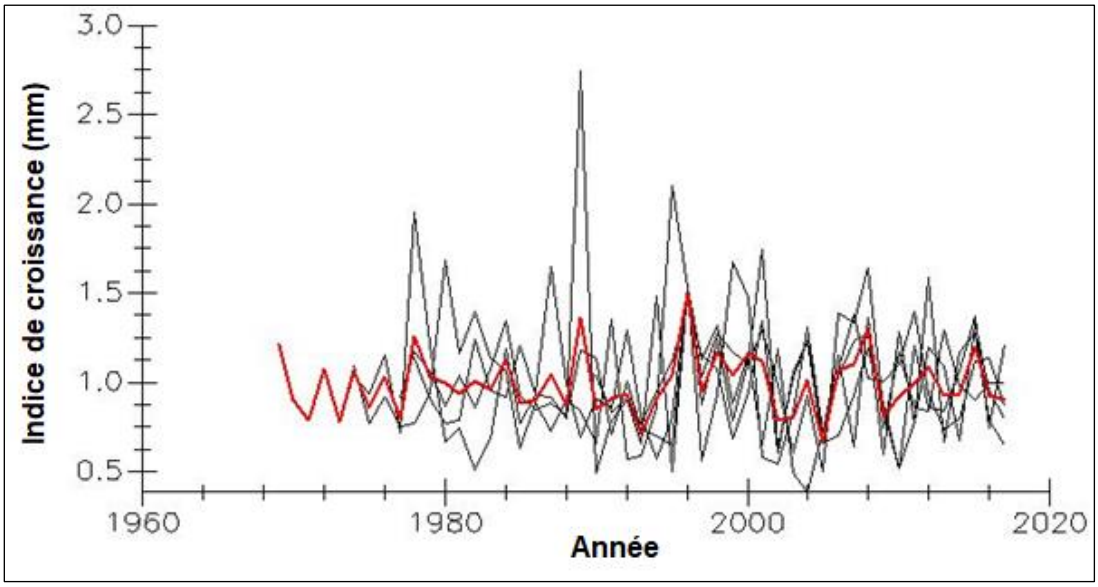



**Figure 24:** Indices de croissance de la chronologie de Bocanda de 1969 à 2017

### IV.2.2.5 Chronologie des cernes de Dimbokro

La chronologie moyenne des cernes de Dimbokro a été obtenue grâce à huit (08) séries chronologies individuelles qui ont été croisées et qui couvrent la période de 1976 à 2017 (Figure 25). Le profil se caractérise par une croissance relativement stable sur tout l'ensemble de la série d'année. Les années 1996 (1,2 mm) et 2006 (1,4 mm) ont indiqué les valeurs d'indices de croissance les plus élevées de la série traduisant une bonne croissance des cacaoyers. La plus faible valeur d'indice est été observée en 1997 avec une moyenne de 0,7 mm.

### IV.2.2.6 Chronologie des cernes de Vavoua

Le croisement de 16 séries chronologies individuelles à Vavoua sur la période de 1955 à 2017 a permis d'obtenir la chronologie maîtresse indiquant au mieux la relation avec les facteurs influençant la largeur des cernes du cacaoyer (Figure 26). Cette moyenne (chronologie maîtresse) présente deux modèles de croissance. Le premier modèle observable sur la période de 1955 à 1980 est caractérisé par des tendances ascendantes et descendantes avec deux pics majeurs observés en 1968 (1,5 mm) et 1996 (1,2 mm). Ces valeurs élevées traduisent une

bonne croissance du cacaoyer sur ces périodes. Au cours de la même période, est observé en 1961 le plus faible indice exprimant une faible croissance du cacaoyer. Le second modèle de croissance part de 1981 à 2017 avec de légères tendances ascendantes et descendantes.

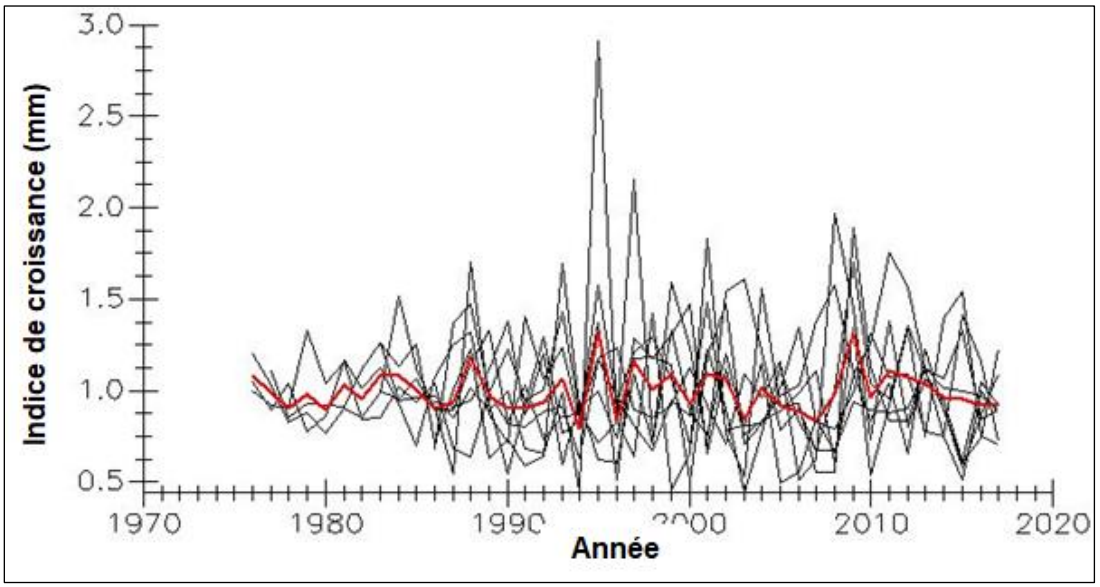



**Figure 25:** Indices de croissance de la chronologie de Dimbokro de 1976 à 2017

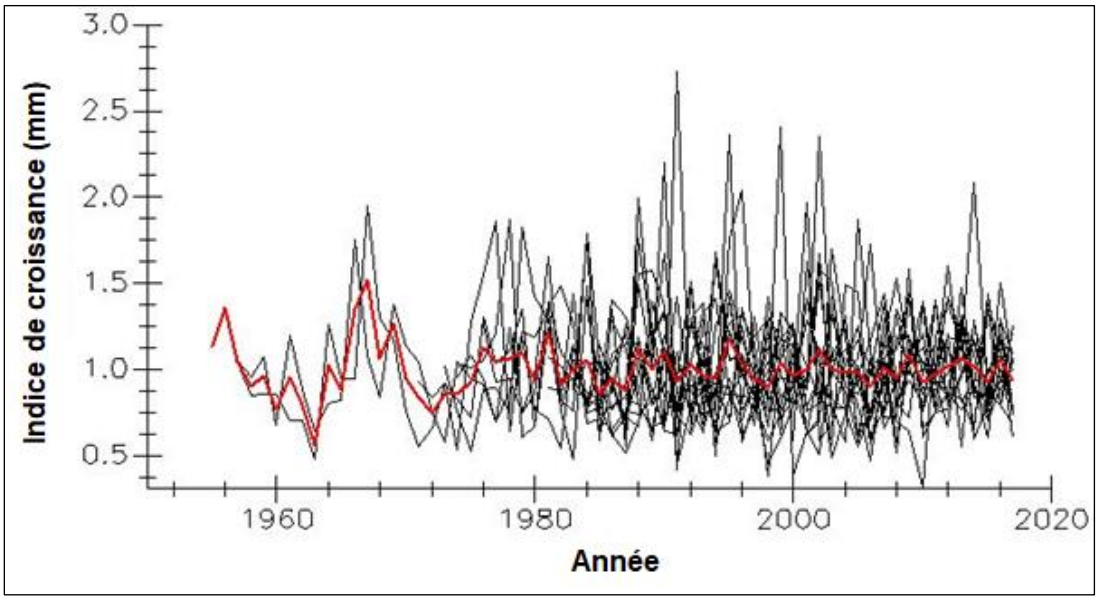



**Figure 26:** Indices de croissance de la chronologie de Vavoua de 1955 à 2017

### IV.2.2.7 Chronologie des cernes de Guiglo

La chronologie moyenne des cernes à Guiglo a été obtenue grâce à 23 séries chronologies individuelles qui ont été croisées et qui couvrent la période de 1966 à 2017 (Figure 27). Le profil se caractérise par une croissance relativement stable sur tout l'ensemble de la série d'année. Les années 1966 (1,2 mm), 1968 (1,2 mm) et 1996 (1,1 mm) ont enregistré les valeurs d'indices les plus élevées de la série traduisant une bonne croissance du cacaoyer. La plus faible valeur d'indice est observée en 1970 avec une moyenne de 0,6 mm.

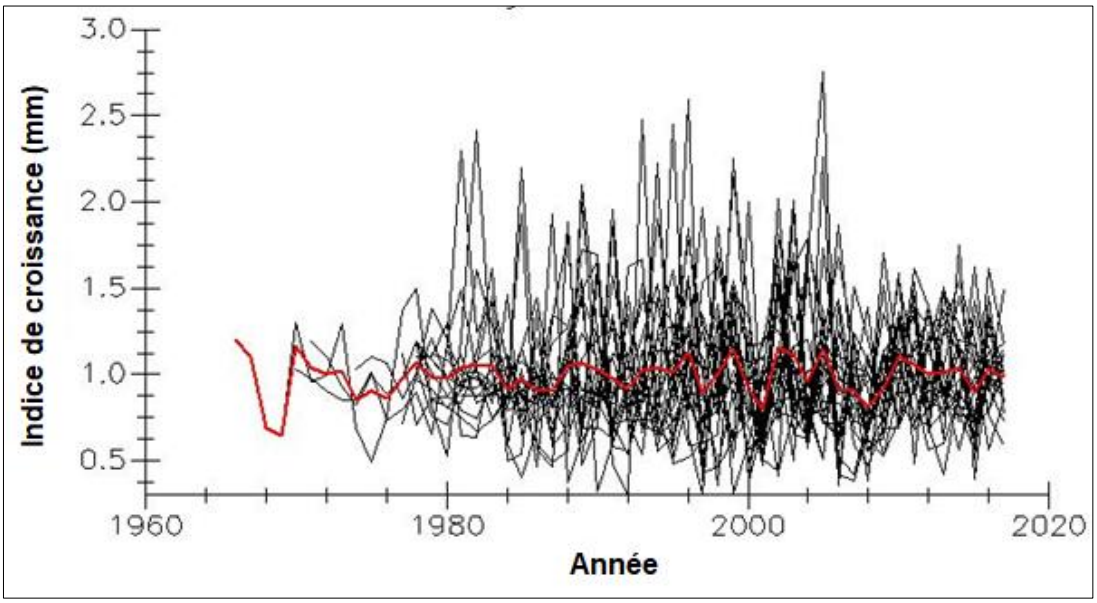



**Figure 27:** Indices de croissance de la chronologie de Guiglo de 1966 à 2017

## IV.3 Corrélation entre la croissance du cacaoyer et le climat

### IV.3.1 Réponse du cacaoyer aux variables climatiques d'Aboisso

L'analyse de la relation croissance-climat a été réalisée en étudiant la corrélation entre la chronologie résiduelle et les variables de la pluviométrie puis de la température d'Aboisso. Cette relation a indiqué une réponse positive avec les températures des mois de novembre et décembre. Aussi, les pluviométries des mois de février, mars, mai, juillet, août, octobre et décembre ont eu une influence positive sur la croissance du cacaoyer (Figure 28). Cela révèle que

l'accroissement radial du cacaoyer a été contrôlé par une variation mensuelle de la pluviométrie dans ces mois. En revanche, les mois de janvier (r = -0,15) et de juin (r = -0,19) enregistrent une influence négative sur la croissance du cacaoyer.

Par ailleurs, la chronologie résiduelle et la pluviométrie annuelle ont été mises en relation afin de montrer l'année de forte croissance du cacaoyer (Figure 29). L'analyse de cette corrélation a révélé que les larges cernes du cacaoyer se sont formés pendant les années de fortes pluies. Ainsi, les années 1979, 1987, 1996 et 2009 indiquent une bonne croissance du cacaoyer dans la localité d'Aboisso. Cependant, la plus faible croissance du cacaoyer est observée en 1981, 1986 et 1991.

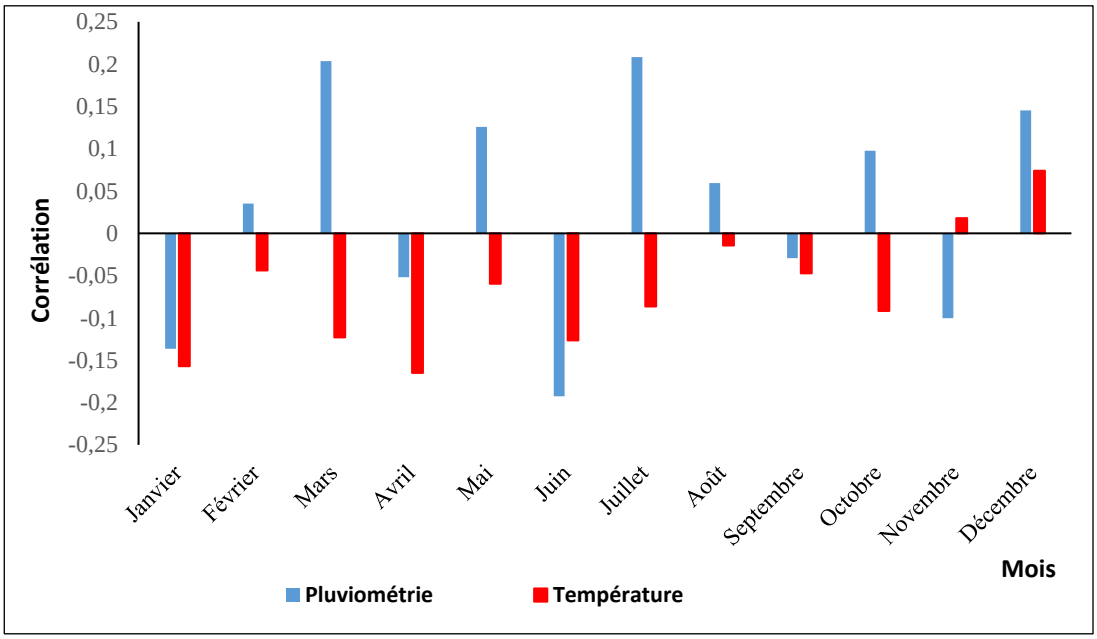



**Figure 28:** Relation entre l'indice de croissance du cacaoyer et la pluviométrie et température mensuelle d'Aboisso

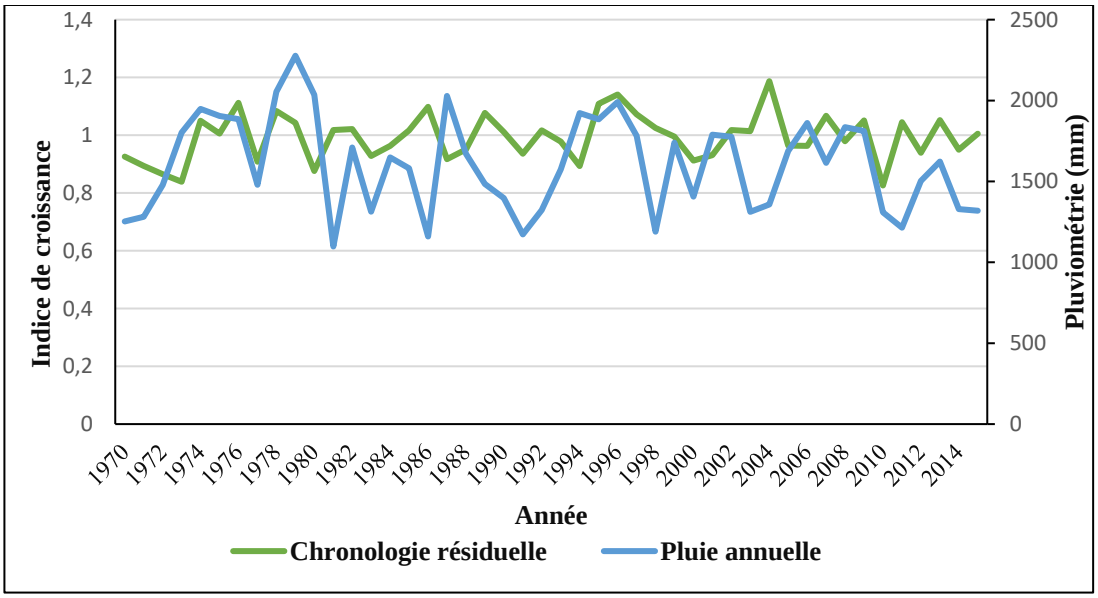



**Figure 29:** Corrélation entre la chronologie maîtresse résiduelle et la pluviométrie annuelle d'Aboisso

### IV.3.2 Réponse du cacaoyer aux variables climatiques d'Abengourou

La relation croissance-climat a été étudiée grâce à la corrélation entre la chronologie résiduelle et les variables de la pluviométrie puis de la température mensuelles d'Abengourou (Figure 30). Les températures moyennes mensuelles ont indiqué dans l'ensemble une influence négative sur la croissance du cacaoyer. Les températures des mois d'octobre (r = -0,29), de décembre (r = -0,34) et de mars (r = -0,25) particulièrement enregistrent les plus faibles croissances du cacaoyer. Par ailleurs, les pluviométries des mois de février (r = 0,17), avril (r = 0,18), mai (r = 0,16), juillet (r = 0,04), août (r = 0,02) et octobre (r = 0,12) indiquent une réponse positive. Les coefficients de corrélation de ces mois révèlent la bonne croissance radiale du cacaoyer. En revanche, les pluviométries des mois de juin (r = -0,008) et de septembre (r = -0,10) influencent négativement la croissance du cacaoyer.

Aussi, la corrélation entre la chronologie résiduelle et la pluviométrie annuelle d'Abengourou a été étudiée pour indiquer les années de forte croissance du cacaoyer (Figure 31). L'analyse de cette relation a indiqué que les larges cernes

se sont formés en 1968, 1989 et 1996, périodes de fortes pluviométries. Alors que la formation des cernes étroits a lieu en 1971, 1978, 1991 et 1997, années de faibles pluviométries.

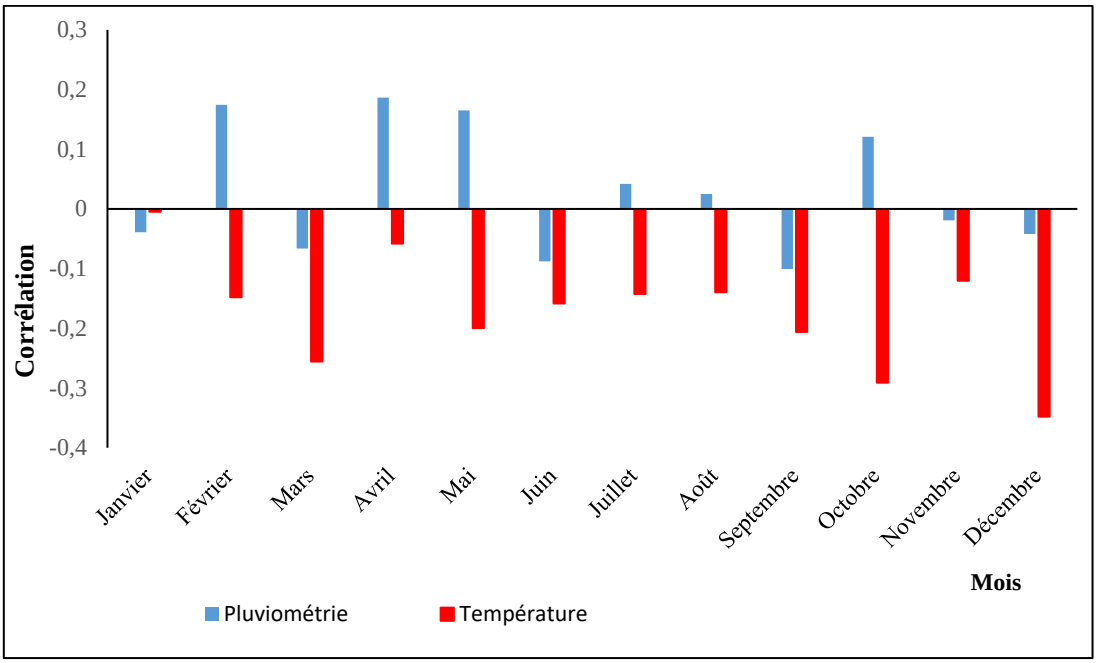



**Figure 30:** Relation entre l'indice de croissance du cacaoyer et la pluviométrie et température mensuelle d'Abengourou

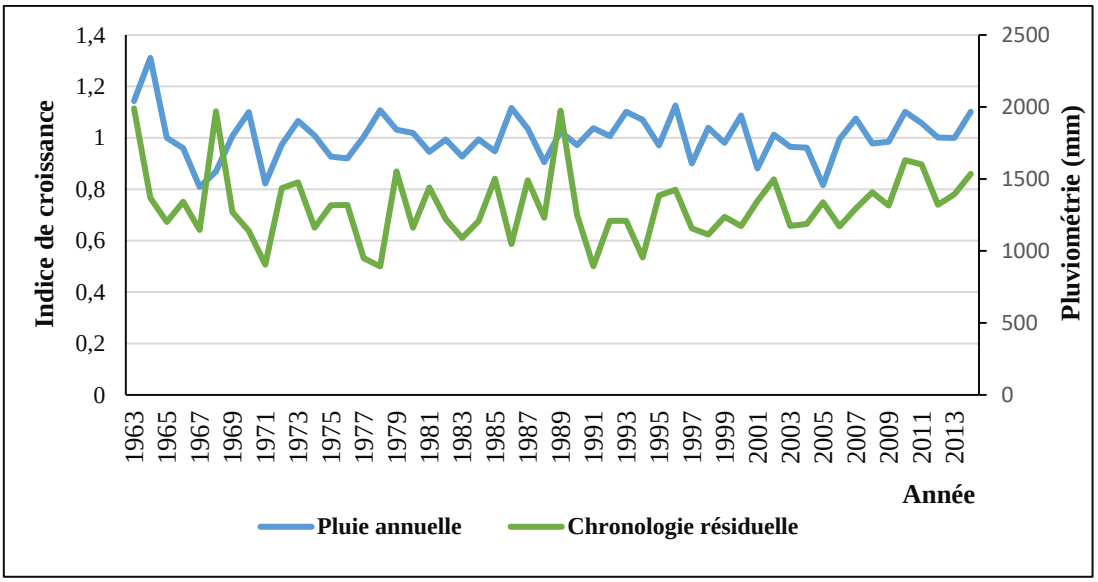



**Figure 31:** Corrélation entre la chronologie maîtresse résiduelle et la pluviométrie annuelle d'Abengourou

### IV.3.3 Réponse du cacaoyer aux variables climatiques de Daoukro

L'analyse de la relation croissance-climat a été étudiée grâce à la corrélation entre la chronologie résiduelle et les variables de la pluviométrie puis de la température de Daoukro (Figure 32). La croissance radiale du cacaoyer est en corrélation négative avec les températures de l'ensemble des mois de l'année excepté les températures des mois de janvier (r = 0,02) et de mars (r = 0,17). Quant aux pluviométries, les mois de janvier (r = 0,05), février (r =0,05), novembre (r = 0,19) et décembre (r = 0,18) influencent positivement la croissance du cacaoyer. Cela justifie que la croissance radiale du cacaoyer a été contrôlée par une variation mensuelle de la pluviométrie dans ces mois. Cependant, les mois de mars (r = -0,27), juillet (r = -0,20), septembre (r = -0,33) et octobre (r = -0,32) ont indiqué une influence négative.

Par ailleurs, la chronologie résiduelle et la pluviométrie annuelle ont été mises en relation afin de montrer l'année de forte croissance du cacaoyer dans la zone de Daoukro (Figure 33). L'analyse de cette corrélation a révélé que les larges cernes se sont formés en 1968, 1984, 1995 et 1996, périodes de fortes pluviométries. Tandis que les années 1969 1983, 1998 et 2004 présentent la formation des cernes étroits.

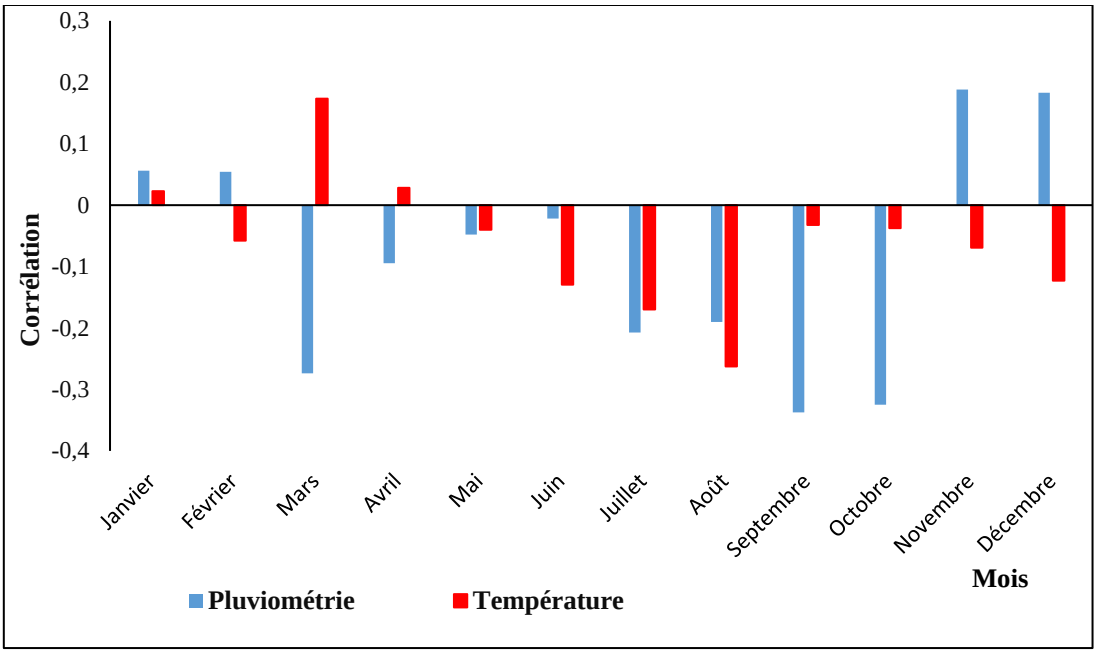



**Figure 32:** Relation entre l'indice de croissance du cacaoyer et la pluviométrie et température mensuelle de Daoukro

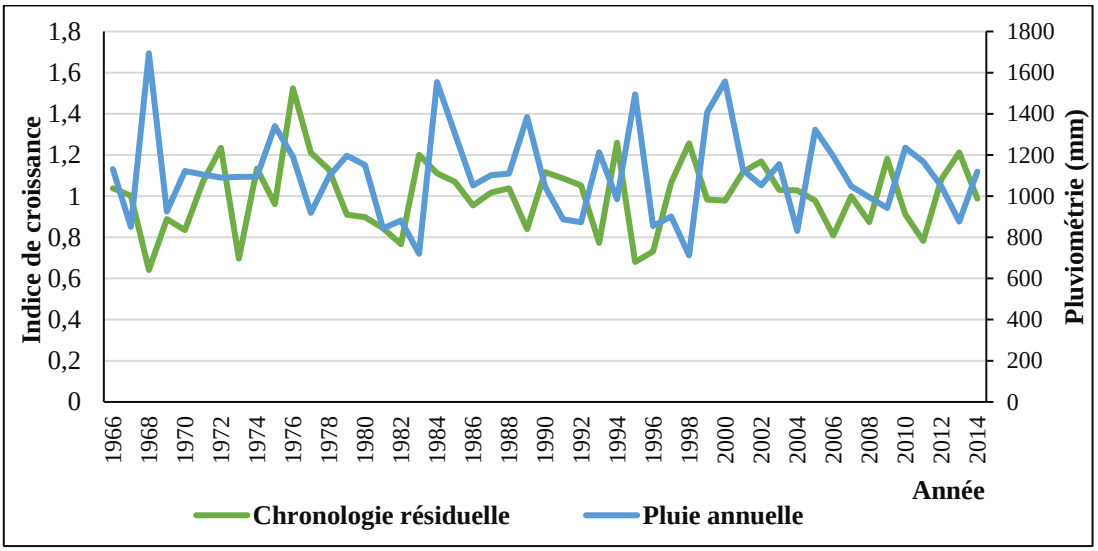



**Figure 33:** Corrélation entre la chronologie maîtresse résiduelle et la pluviométrie annuelle de Daoukro

### IV.3.4 Réponse du cacaoyer aux variables climatiques de Bocanda

La relation croissance-climat a été étudiée à l'aide de la corrélation entre la chronologie résiduelle et les variables de la pluviométrie puis de la température

mensuelles de Bocanda (Figure 34). La croissance radiale du cacaoyer de Bocanda indique une réponse négative avec les températures de l'ensemble des mois de l'année excepté les mois d'août (r = 0,06), de novembre (r = 0,04) et de décembre (r = 0,05). Par ailleurs, les pluviométries des mois de mars, avril (r = 0,22), mai (r = 0,02), juillet (r = 0,08), août (r = 0,06) et octobre (r = 0,06) indiquent une influence positive traduisant une bonne croissance du cacaoyer dans ces mois. Cependant, les pluviométries des mois de janvier (r = -019), février (r = -0,11) et novembre (r = -0,19) influencent négativement la croissance du cacaoyer.

Aussi, la corrélation entre la chronologie résiduelle et la pluviométrie annuelle de Bocanda a été étudiée pour indiquer les années de forte croissance du cacaoyer (Figure 35). L'analyse de cette relation indique que les années 1966, 1975 et 1996 ont enregistré une bonne croissance du cacaoyer. Cependant la chronologie résiduelle des années 1984, 1998, et 2004 étaient les plus faibles indiquant une croissance retardée du cacaoyer.

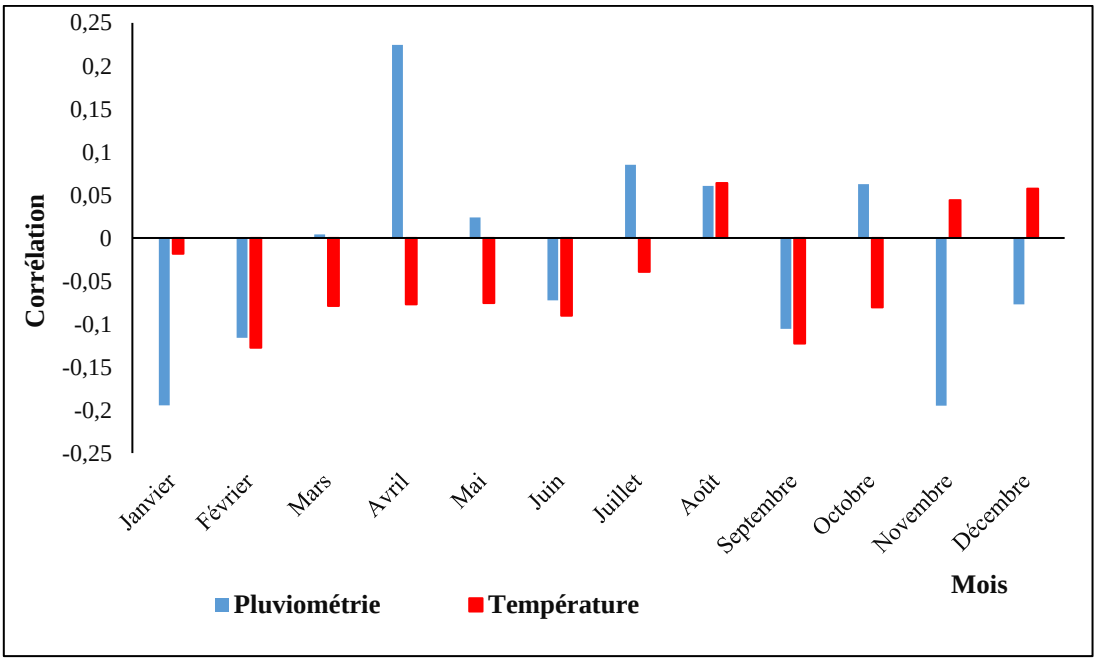



**Figure 34:** Relation entre l'indice de croissance du cacaoyer et la pluviométrie et température mensuelle de Bocanda

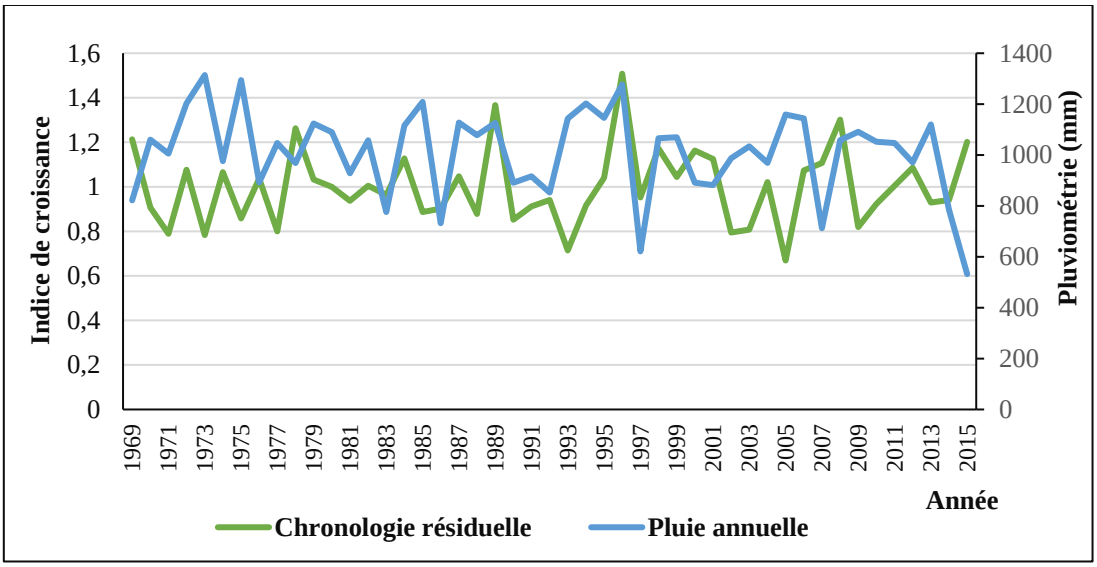



**Figure 35:** Corrélation entre la chronologie maîtresse résiduelle et la pluviométrie annuelle de Bocanda

### IV.3.5 Réponse du cacaoyer aux variables climatiques de Dimbokro

La relation croissance-climat a été étudiée grâce à la corrélation entre la chronologie résiduelle et les variables de la pluviométrie puis de la température mensuelles de Dimbokro (Figure 36). Cette relation a indiqué une réponse négative avec les températures de l'ensemble des mois de l'année excepté les mois d'août (r = 0,03), octobre (r = 0,09), novembre (r = 0,08) et décembre (r = 0,06). Quant aux pluviométries, les mois de mars (r = 0,30), de juin (r = 0,22) et de juillet (r = 0,24) influencent positivement la croissance du cacaoyer. Cependant, les pluviométries des mois de janvier (r = -0,12), septembre (r = -0,25) et octobre (r = -0,16) ont indiqué une influence négative.

Par ailleurs, la corrélation entre la chronologie résiduelle et la pluviométrie annuelle de Dimbokro a été étudiée pour indiquer les années de forte croissance du cacaoyer (Figure 37). L'analyse de la chronologie résiduelle montre que les années 1984, 1989 et 1996 ont enregistré une bonne croissance du cacaoyer. En revanche, la chronologie résiduelle des années 1977, 1986, 1992 et 2007 indiquent la formation des cernes étroits traduisant une faible croissance des cacaoyers.

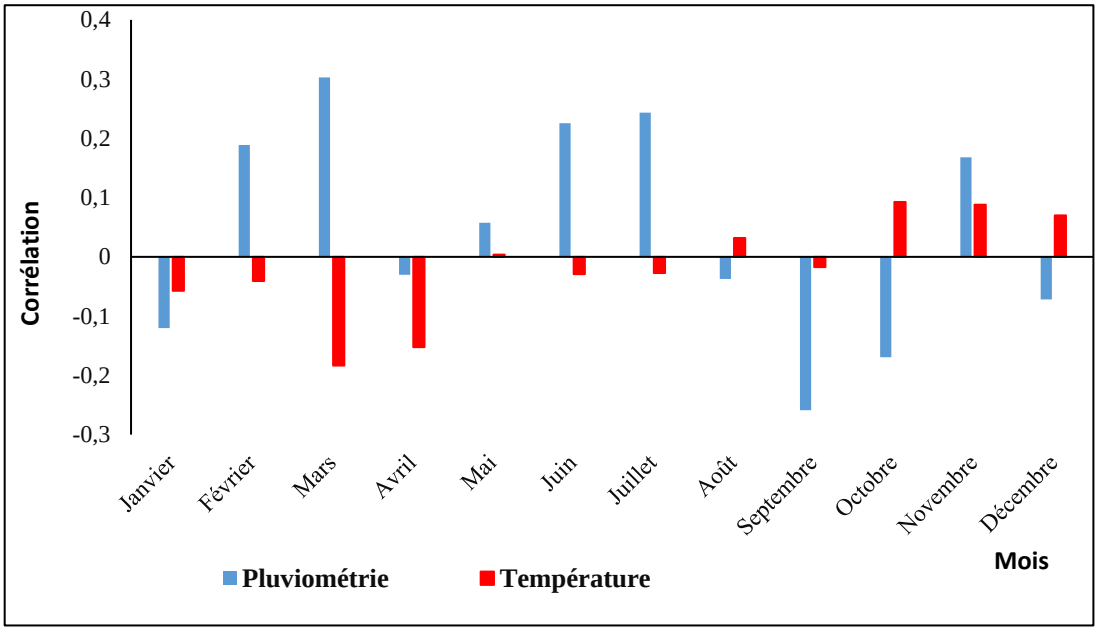



**Figure 36:** Relation entre l'indice de croissance du cacaoyer et la pluviométrie et température mensuelle de Dimbokro

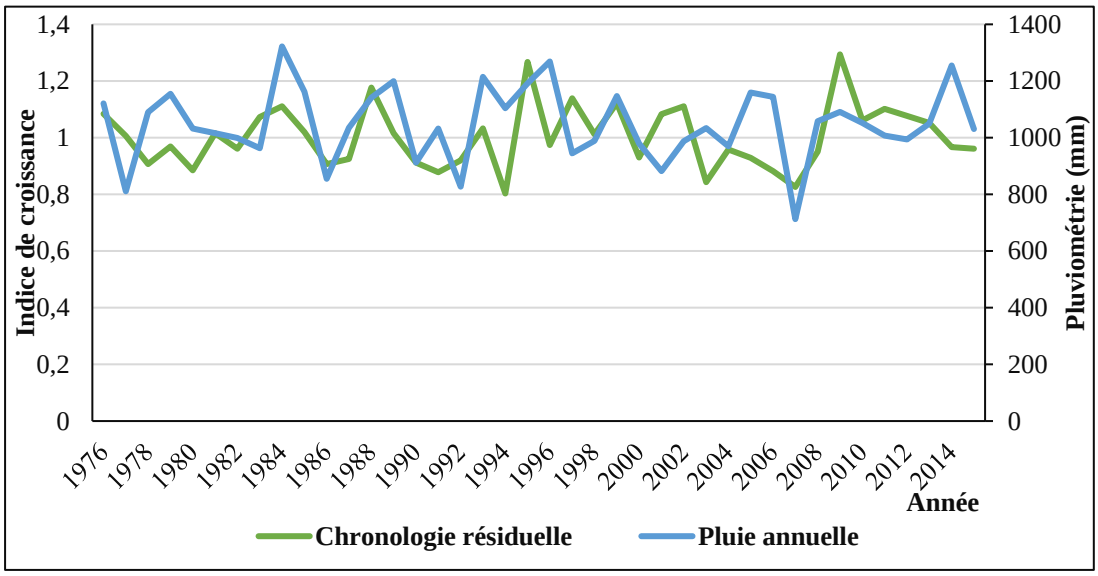



**Figure 37:** Corrélation entre la chronologie maîtresse résiduelle et la pluviométrie annuelle de Dimbokro

### IV.3.6 Réponse du cacaoyer aux variables climatiques de Vavoua

L'analyse de la relation croissance-climat a été réalisée en étudiant la corrélation entre la chronologie résiduelle et les variables de la pluviométrie puis de la température mensuelle de Vavoua (Figure 38). La croissance du cacaoyer de Vavoua est en corrélation négative avec les températures mensuelles excepté la température du mois de février (r = 0,02) qui a réagi positivement. Aussi, les pluviométries des mois de juillet (r = 0,02), septembre (r = 0,08), octobre (r = 0,04) et décembre (r = 0,02) ont eu une influence positive.

Par ailleurs, la corrélation entre la chronologie résiduelle et la pluviométrie annuelle de Vavoua a été étudiée pour indiquer les années de forte croissance du cacaoyer (Figure 39). L'analyse de cette relation a montré que les larges cernes se sont formés en 1960, 1980 et 1996, périodes de fortes pluviométries. Cependant, la formation des cernes étroits a lieu en 1965, 1972 et 1990, années de faibles pluviométries.

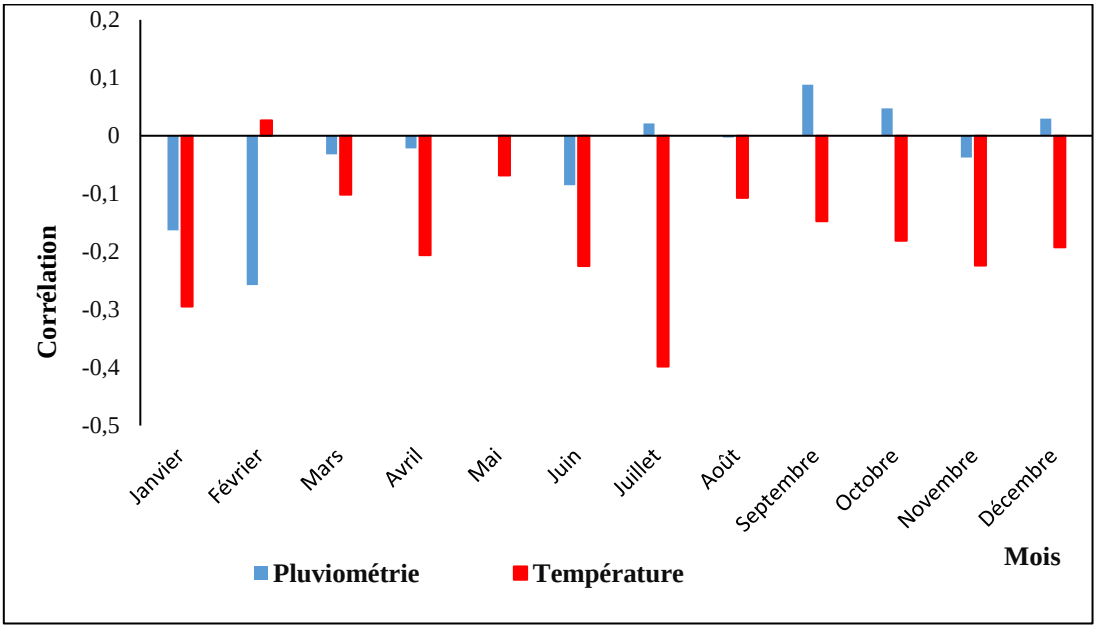



**Figure 38:** Relation entre l'indice de croissance du cacaoyer et la pluviométrie et température mensuelle de Vavoua

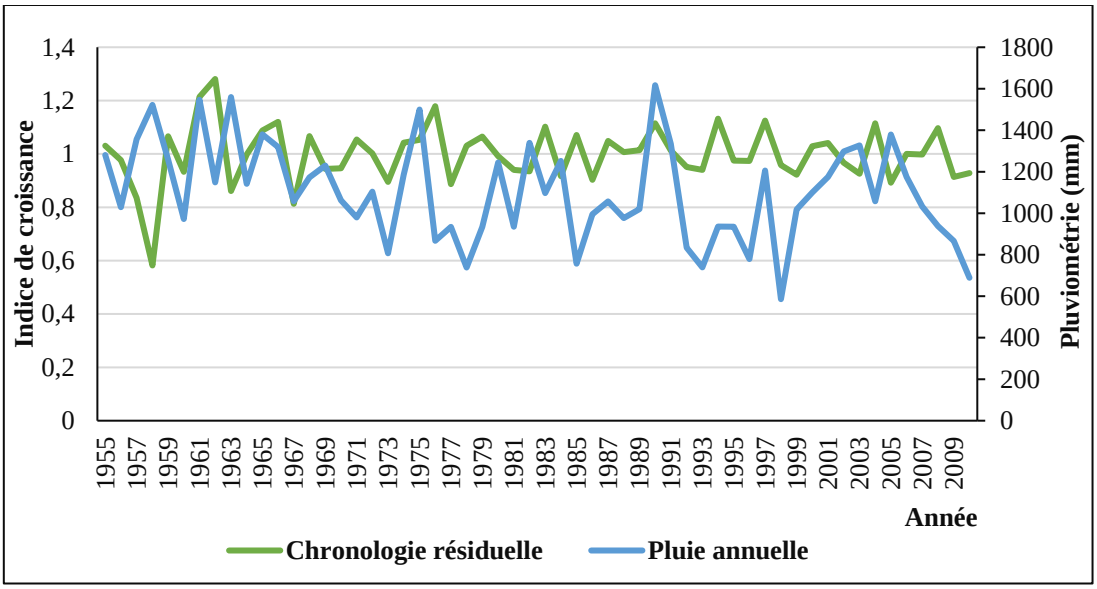



**Figure 39:** Corrélation entre la chronologie maîtresse résiduelle et la pluviométrie annuelle de Vavoua

### IV.3.7 Réponse du cacaoyer aux variables climatiques de Guiglo

L'analyse de la relation croissance-climat a été réalisée en étudiant la corrélation entre la chronologie résiduelle et les variables de la pluviométrie et de la température mensuelle de Guiglo. Cette relation a indiqué que les températures moyennes mensuelles de la région de Guiglo ont eu une influence négative sur la croissance du cacaoyer excepté les températures des mois d'avril (r = 0,14) et de juillet (r = 0,16) qui ont réagi positivement. Quant aux pluviométries, les mois d'avril (r = 0,13), de mai (r = 0,02), de juillet (r = 0,18) et de décembre (r = 0,18) influencent positivement la croissance du cacaoyer. Cependant, les pluviométries des autres mois de l'année révèlent une influence négative sur la croissance du cacaoyer (Figure 40).

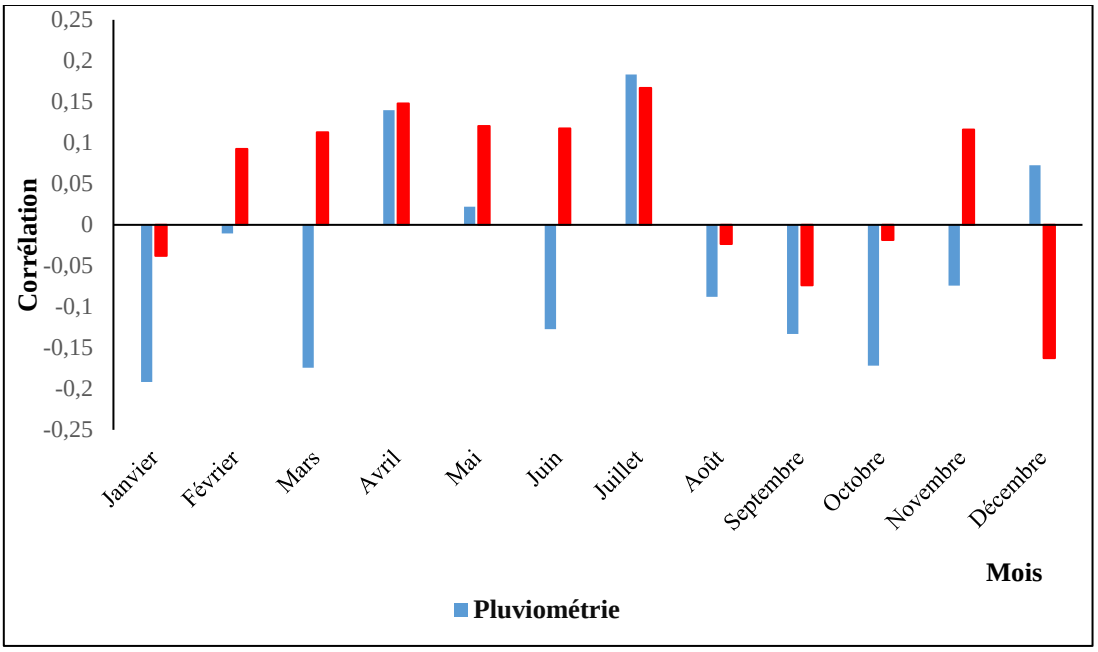



**Figure 40:** Relation entre l'indice de croissance du cacaoyer et la pluviométrie et température mensuelle de Guiglo.

Par ailleurs, la chronologie résiduelle et la pluviométrie annuelle ont été mises en relation afin de montrer l'année de forte croissance du cacaoyer (Figure 41). L'analyse de cette corrélation a indiqué que les années 1968, 1979 et 1996 ont enregistré une bonne croissance du cacaoyer. Par contre, la chronologie résiduelle des années 1970, 1983 et 1993 présente la formation des cernes étroits.

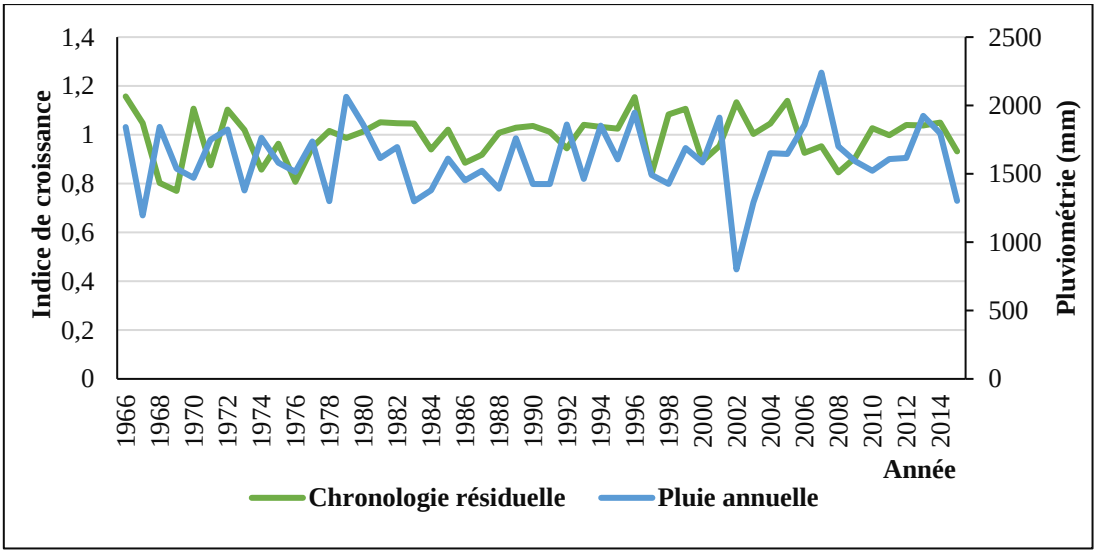



**Figure 41:** Corrélation entre la chronologie maîtresse résiduelle et la pluviométrie annuelle de Guiglo.

## IV.4 Dynamique spatiale de la réponse du cacaoyer aux pluviométries et températures

### IV.4.1 Analyse spatiale de la réponse du cacaoyer aux pluviométries annuelles

L'analyse spatiale de la réponse du cacaoyer aux pluviométries annuelles de 1960 à 1980 comparée à celle de 1981 à 2015 a révélé une importante variabilité spatio-temporelle. Au cours de la période 1960 à 1980, la pluviométrie annuelle influence positivement la croissance du cacaoyer sur la quasi-totalité des sites de production. Cependant à Aboisso et à Guiglo, l'influence de la pluviométrie est plus forte (Figure 42). Sur la période de 1981 à 2015, la pluviométrie enregistrée a eu une influence positive sur la croissance du cacaoyer des zones d'Aboisso, Vavoua, et Guiglo. Toutefois, pour les régions de l'est (Abengourou) et du centre-est (Daoukro, Bocanda, Dimbokro), l'influence de la pluviométrie est négative (Figure 43).

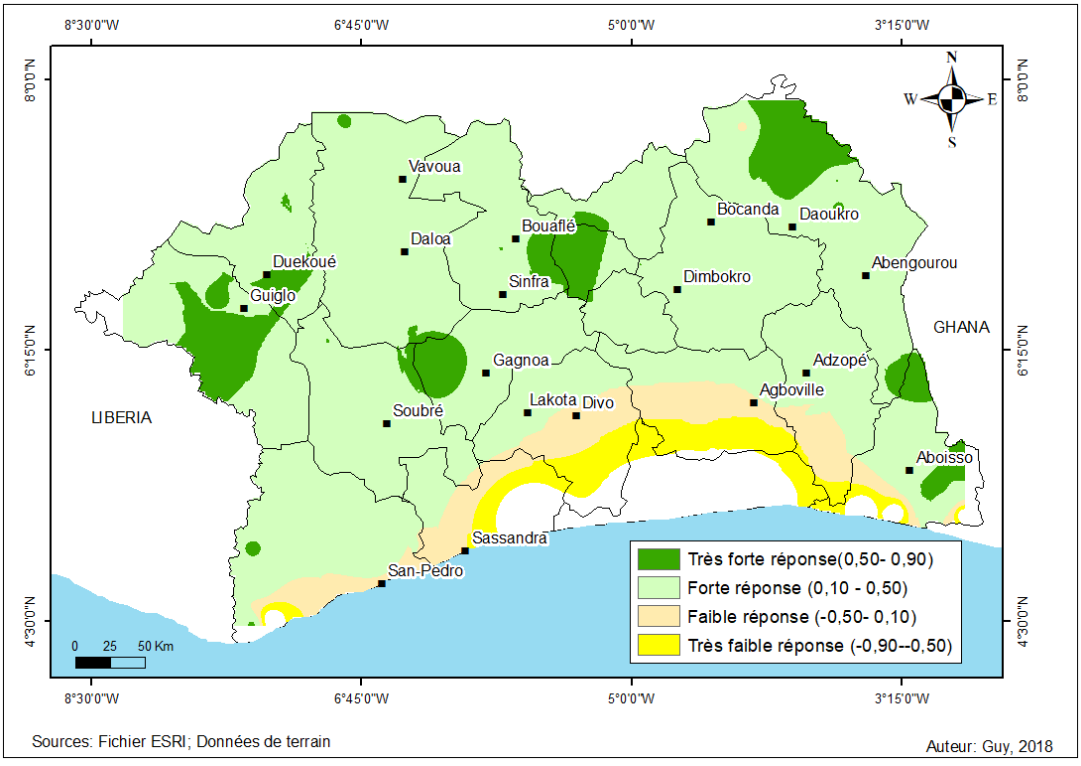



**Figure 42:** Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux pluviométries de 1960 à 1980

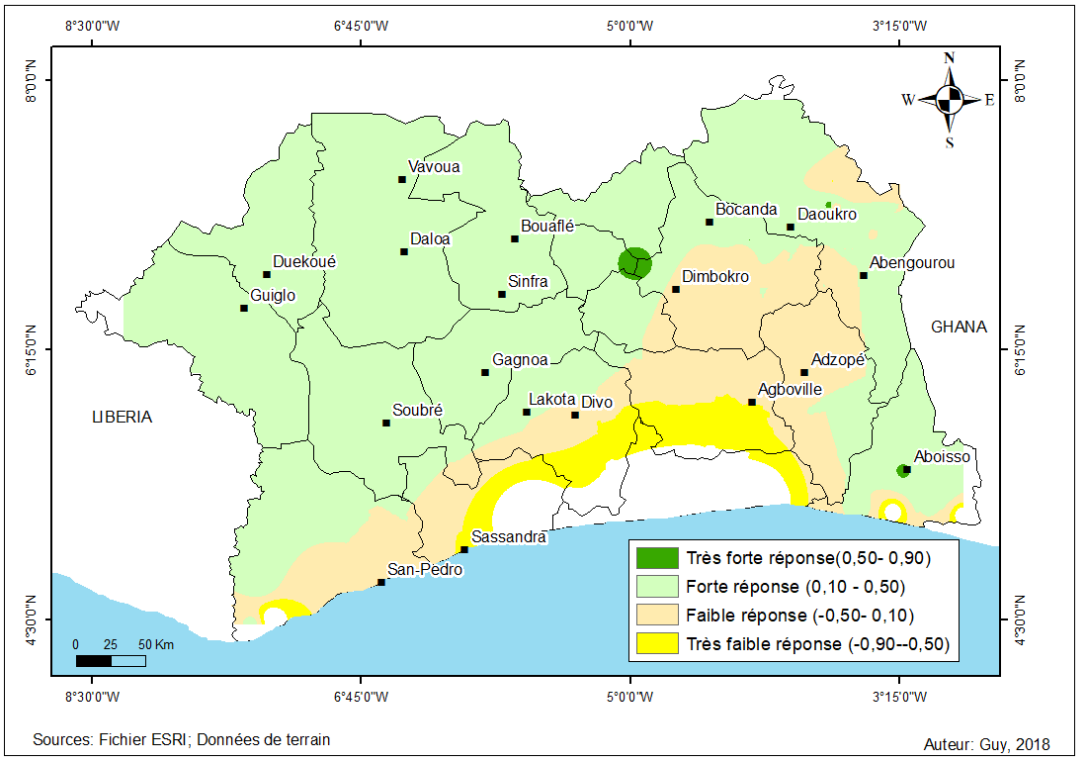



**Figure 43:** Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux pluviométries de 1981 à 2015

### IV.4.2 Réponse de la croissance du cacaoyer suivant les saisons climatiques

#### IV.4.2.1 Réponse du cacaoyer aux pluviométries de la saison pluvieuse

La cartographie de la réponse spatialisée donne une idée de la croissance radiale du cacaoyer suivant les différentes saisons de pluies (grande et petite saison pluvieuse). Au cours de la grande saison pluvieuse sur la période de 1960 à 1980, la pluviométrie annuelle indique une influence positive sur la croissance du cacaoyer de l'ensemble des zones de production (Figure 44), alors que de 1981 à 2015, l'influence de la pluviométrie sur la croissance du cacaoyer est plus forte pour toutes les zones de production (Figure 45).

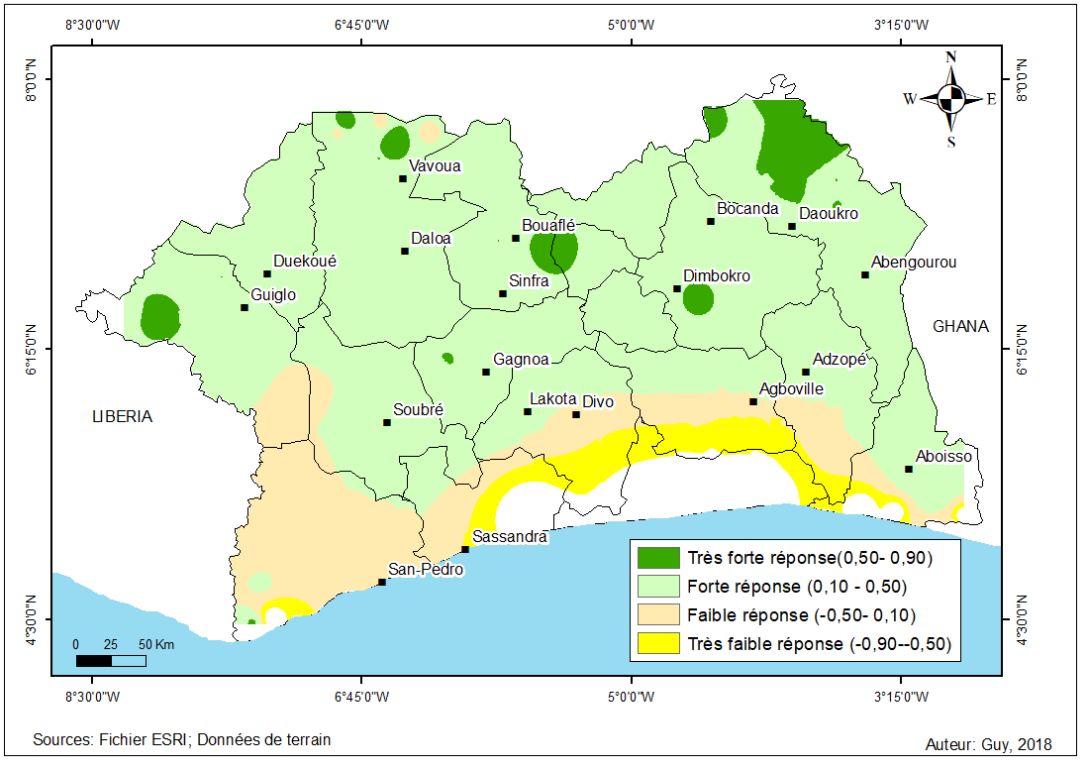



**Figure 44:** Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux pluviométries de la grande saison des pluies de 1960 à 1980

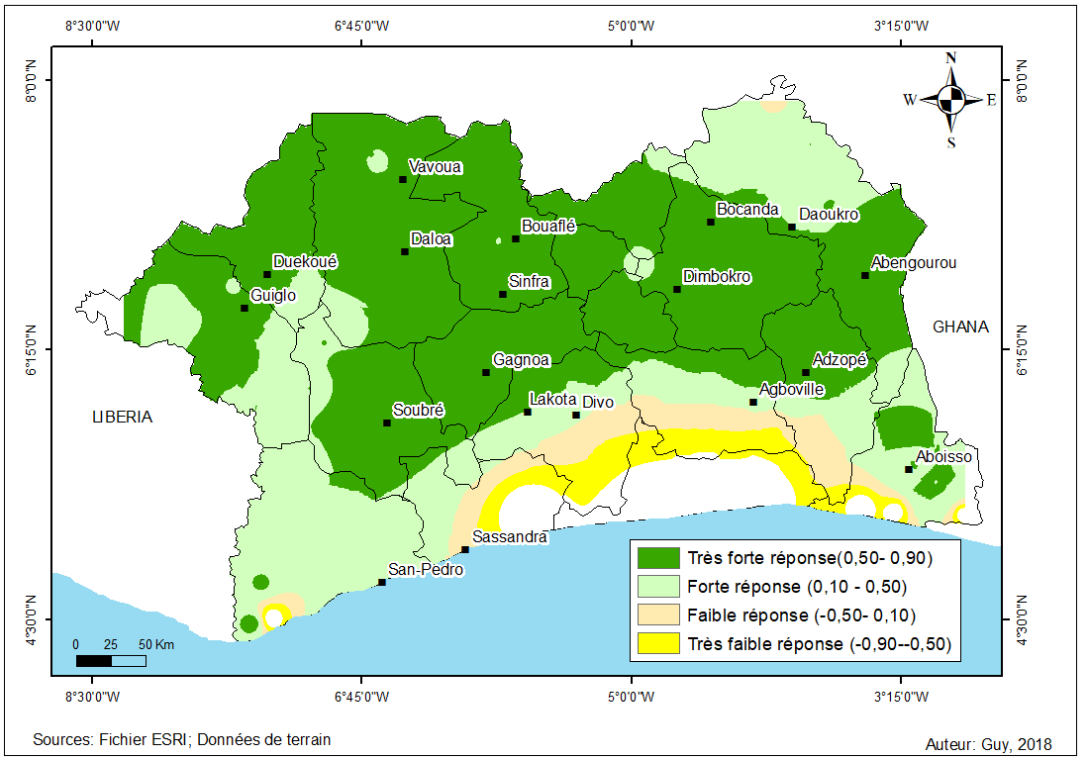



**Figure 45:** Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux pluviométries de la grande saison des pluies de 1981 à 2015

Pendant la petite saison des pluies de 1960 à 1980, les cacaoyers de Dimbokro, Bocanda et de Daoukro sont négativement influencés par la pluviométrie. Pour les régions d'Aboisso, Abengourou, Guiglo et Vavoua, l'influence de la pluviométrie est positive. Sur la période de 1981 à 2015, la pluviométrie enregistrée a eu une influence positive sur la croissance du cacaoyer de l'ensemble des zones de production. Cependant à Aboisso, Guiglo et à Vavoua, l'influence de la pluviométrie est de plus en plus forte (Figures 46 et 47).

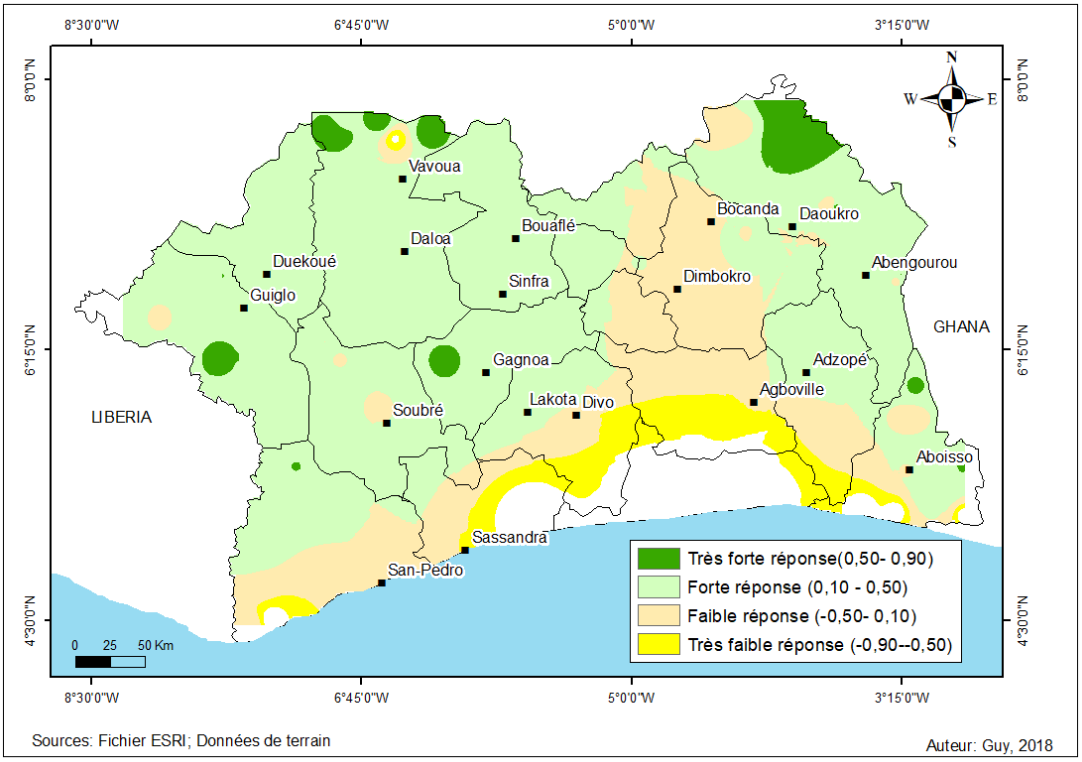



**Figure 46:** Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux pluviométries de la petite saison des pluies de 1960 à 1980

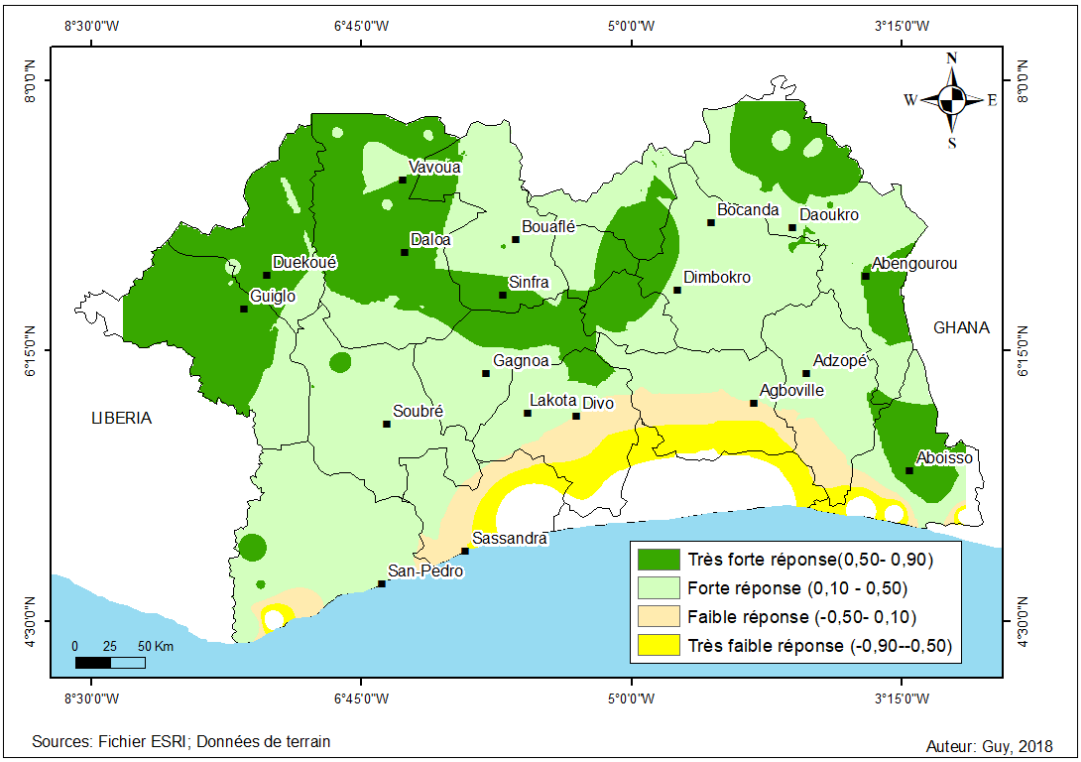



**Figure 47:** Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux pluviométries de la petite saison des pluies de 1981 à 2015

### IV.4.2.2 Réponse du cacaoyer aux pluviométries de la saison sèche

La variabilité spatiale de la réponse du cacaoyer aux pluviométries de la grande saison sèche a révélé au cours de 1960 à 1980, une influence négative sur la croissance du cacaoyer des différentes zones de production (Figure 48). Les cacaoyers d'Abengourou à l'exception des autres sites ont eu une réponse positive. Au cours de la période de 1981 à 2015, les cacaoyers de la quasi-totalité des sites de productions sont négativement influencés par la pluviométrie (Figure 49).

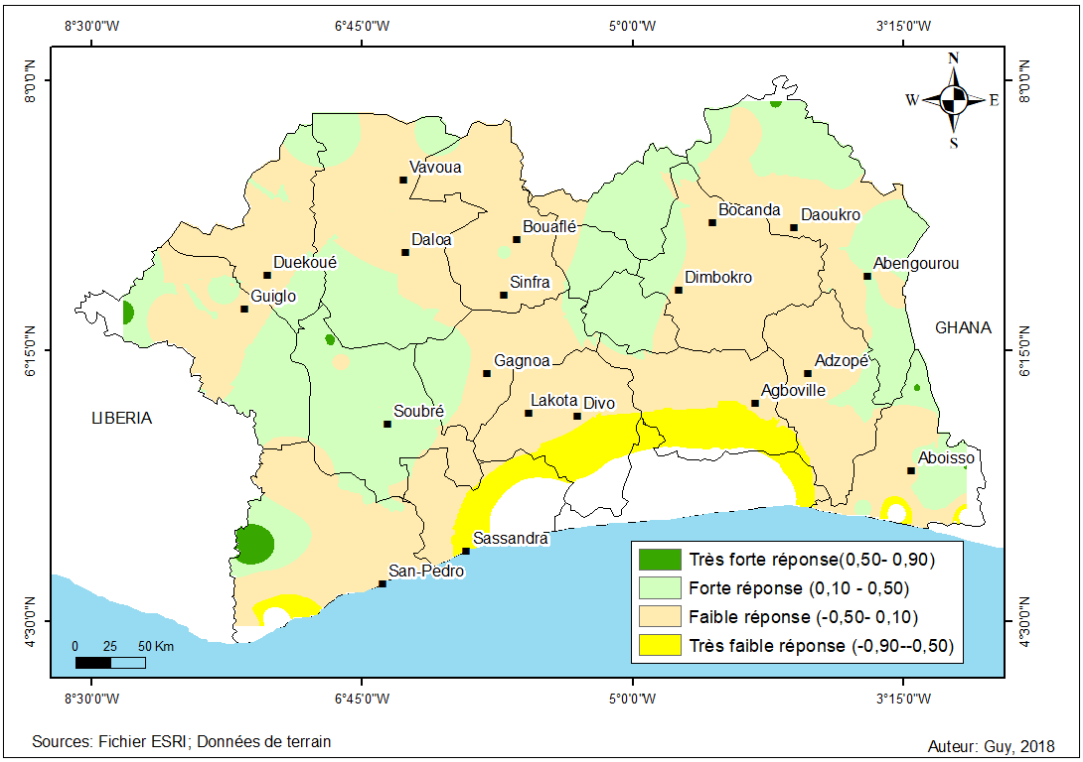



**Figure 48:** Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux pluviométries annuelles de la grande saison sèche de 1960 à 1980

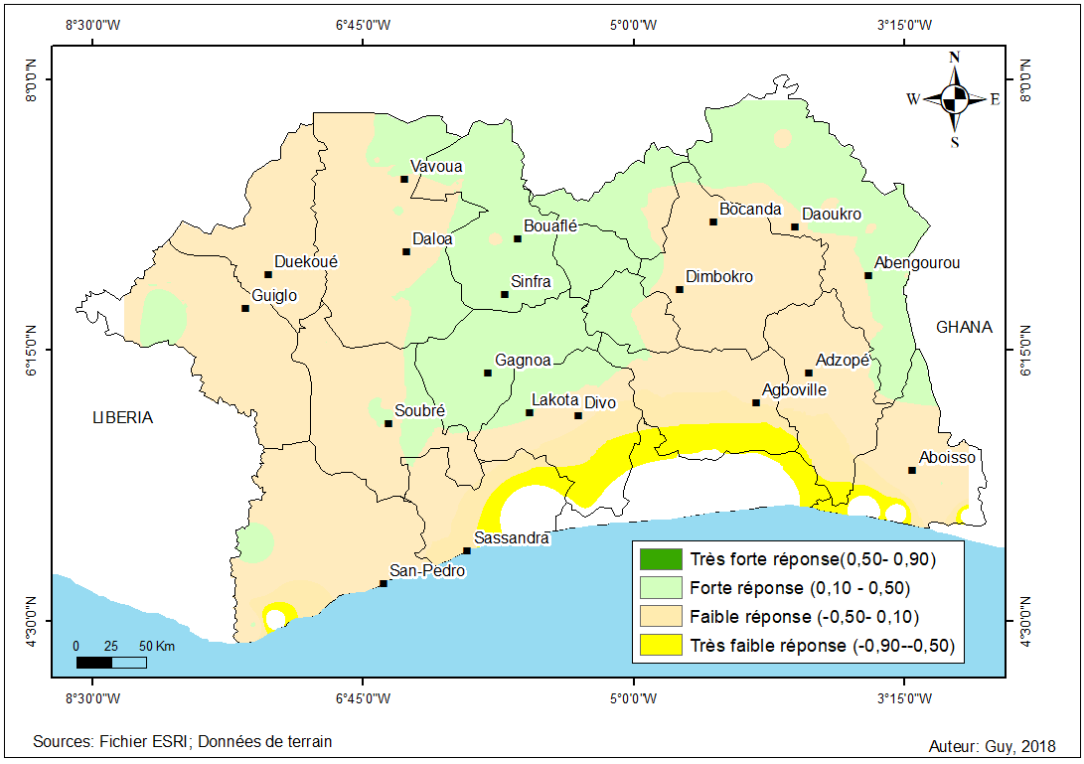



**Figure 49:** Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux pluviométries de la grande saison sèche de 1981 à 2015

La pluviométrie de la petite saison sèche pendant la période de 1960 à 1980 révèle une influence positive sur la croissance du cacaoyer des zones de production de l'ouest et du centre-ouest. Par contre, pour les régions de l'est et du centre-est, l'influence de la pluviométrie est négative (Figure 50). Au cours de la période 1981 à 2015, la pluviométrie enregistrée a eu une influence positive sur la croissance du cacaoyer des zones de production de l'ouest et de l'est. Cependant, les cacaoyers du sud-est (Aboisso) et du centre-est (Dimbokro et Bocanda) sont influencés négativement (Figure 51).

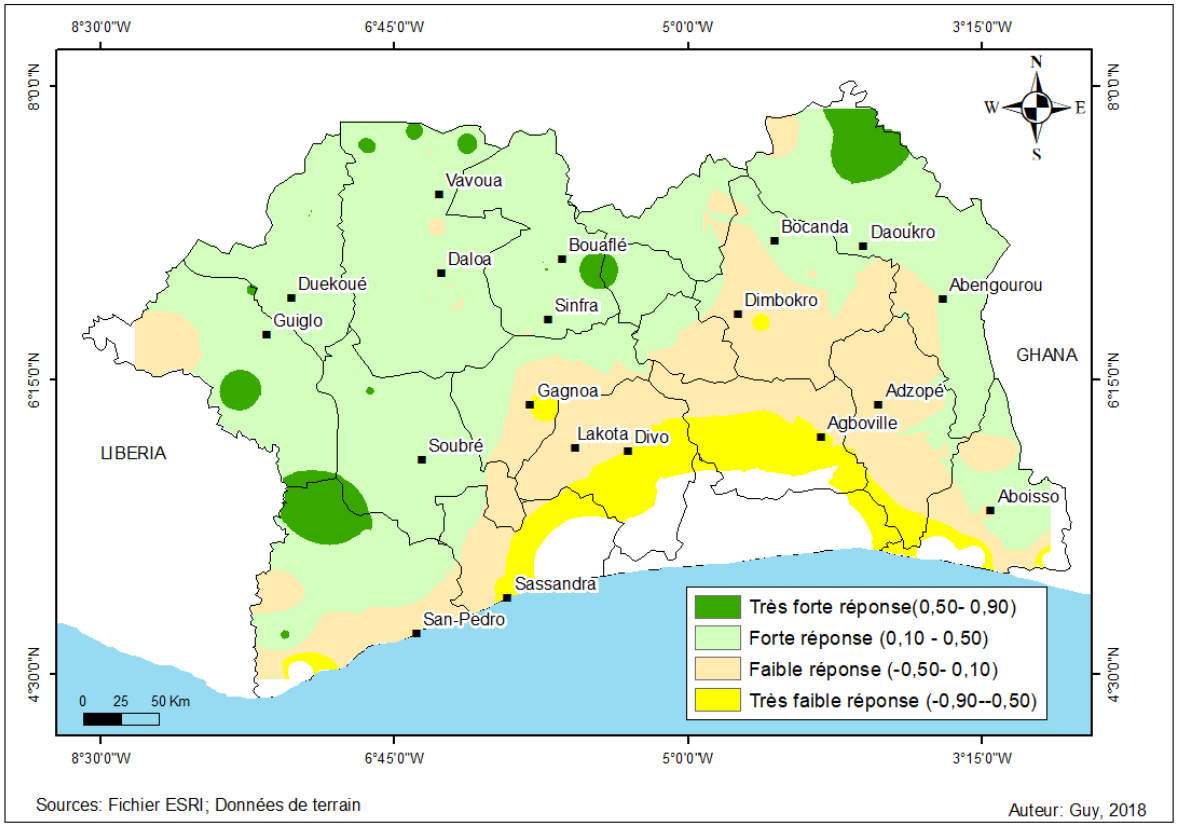



**Figure 50:** Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux pluviométries de la petite saison sèche de 1960 à 1980

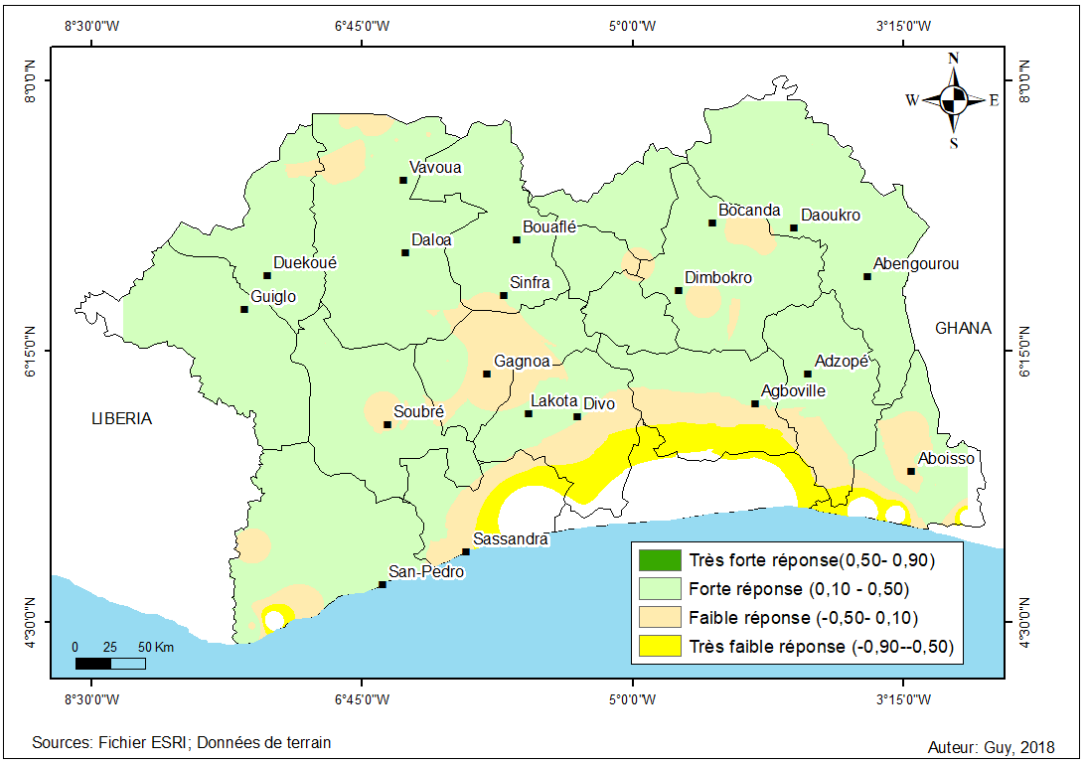



**Figure 51 :** Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux pluviométries de la petite saison sèche de 1981 à 2015

### IV.4.3 Analyse spatiale de la réponse du cacaoyer aux températures moyennes annuelles

L'analyse spatiale de la réponse du cacaoyer aux températures moyennes annuelles de 1960 à 1980 comparée à celle de 1981 à 2015 a révélé une variation de la croissance des cacaoyers. Au cours de la période 1960 à 1980, les températures moyennes annuelles indiquent une influence positive sur la croissance du cacaoyer de l'ensemble des zones de production. Cependant à Aboisso, l'influence de la température a été négative (Figure 52). Pendant la période de 1981 à 2015, les températures enregistrées ont eu une influence positive sur la croissance du cacaoyer de la quasi-totalité des sites de production. L'influence des températures de la zone de Dimbokro en revanche est de plus en plus forte (Figure 53).

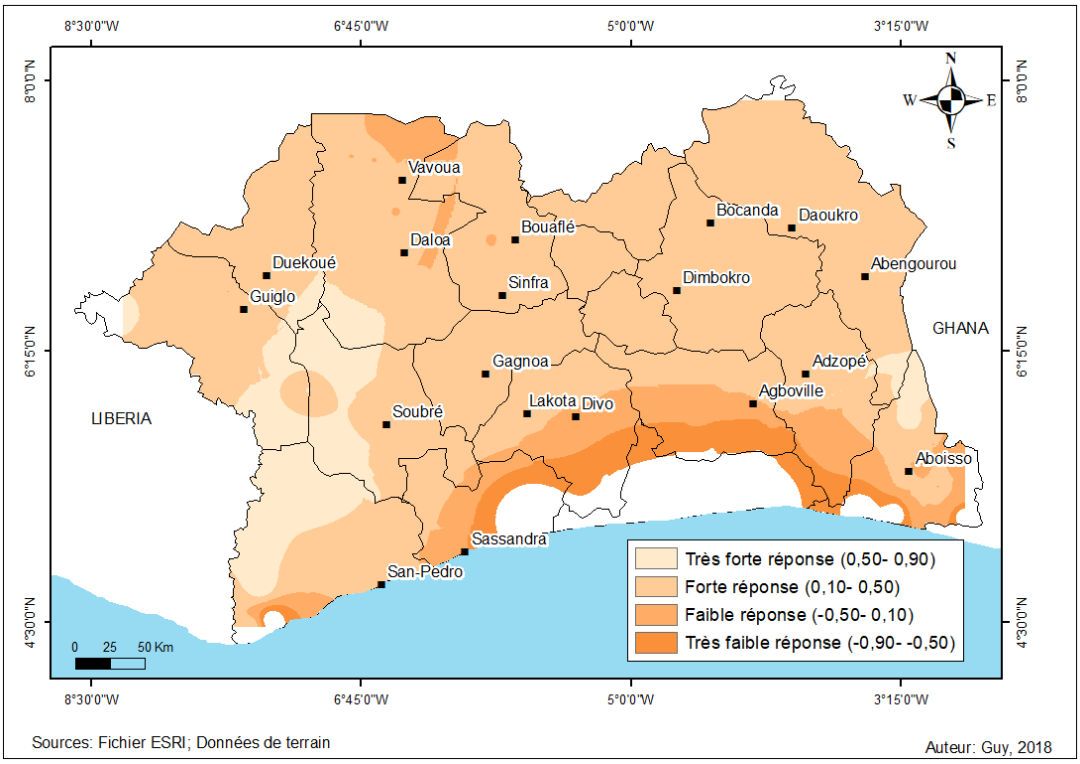



**Figure 52:** Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux températures moyennes de 1960 à 1980

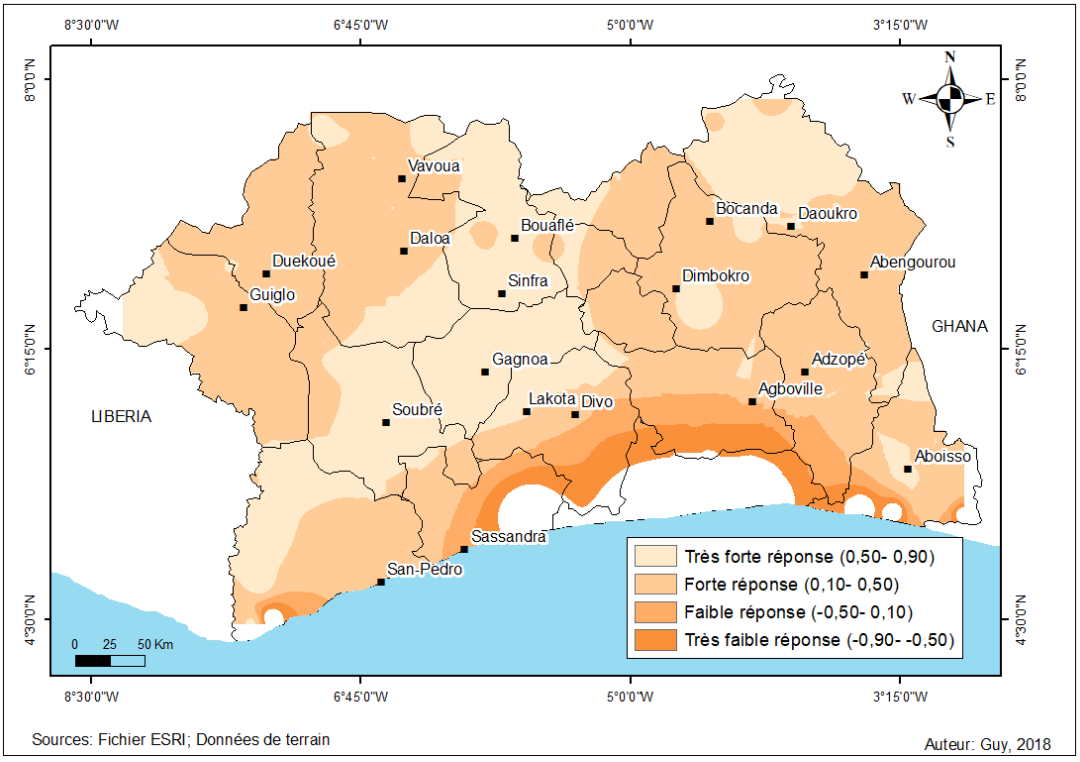



**Figure 53:** Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux températures moyennes de 1981 à 2015

### IV.4.4 Réponse de la croissance du cacaoyer suivant les saisons climatiques

#### IV.4.4.1 Réponse du cacaoyer aux températures moyennes de la saison des pluies

La réponse du cacaoyer aux températures moyennes annuelles de la grande saison pluvieuse indique une variabilité spatiale de la croissance du cacaoyer. Au cours de la grande saison pluvieuse de 1960 à 1980, les températures moyennes annuelles révèlent une influence négative sur la croissance du cacaoyer de l'ensemble des zones de production (Figure 54). Cependant, de 1981 à 2015 les températures moyennes influencent positivement la croissance du cacaoyer des différentes zones de production (Figure 55).

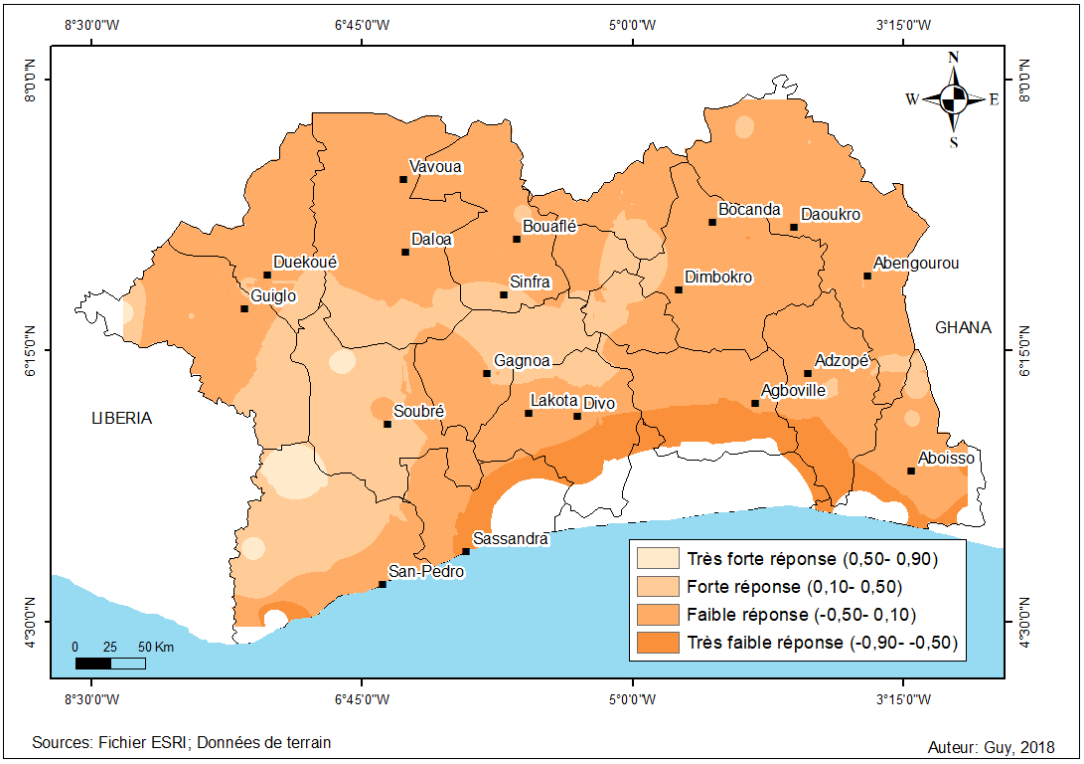



**Figure 54:** Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux températures moyennes de la grande saison des pluies de 1960 à 1980

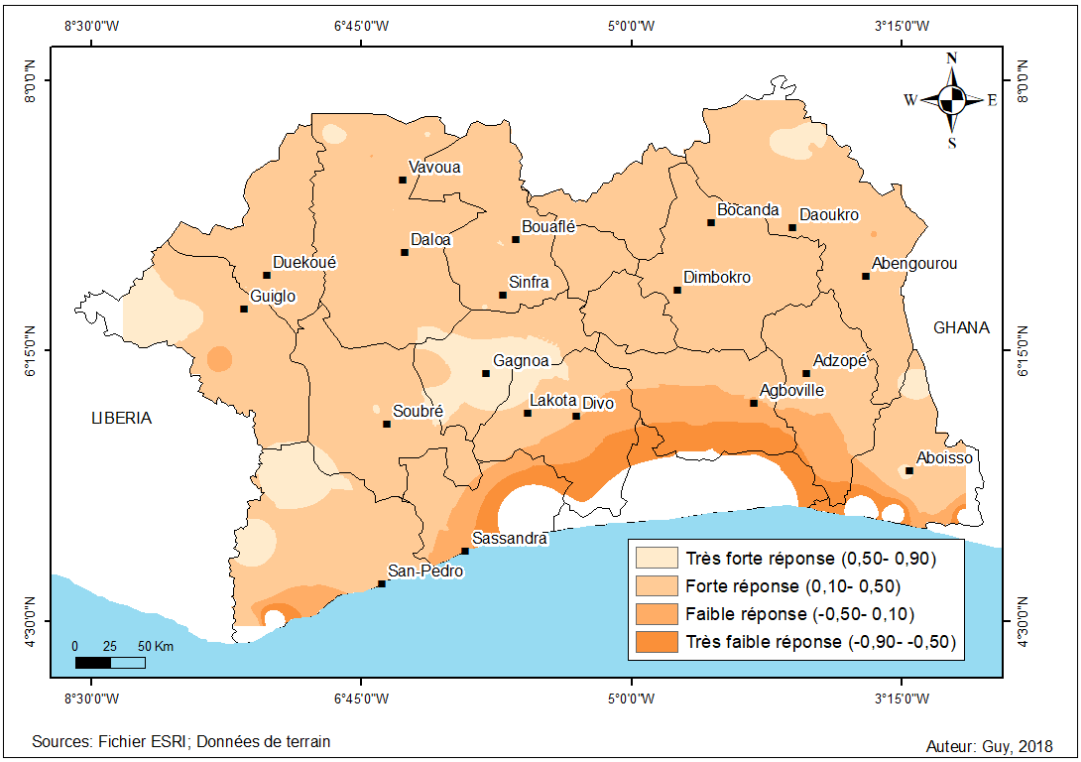



**Figure 55:** Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux températures moyennes de la grande saison des pluies de 1981 à 2015

Pendant la petite saison des pluies de 1960 à 1980, les cacaoyers des régions d'Aboisso et de Vavoua sont négativement influencés par les températures moyennes. Cependant, pour les sites de production d'Abengourou, Guiglo, Dimbokro, Bocanda et de Daoukro, l'influence des températures moyennes est positive sur la croissance du cacaoyer (Figure 56). Sur la période de 1981 à 2015, les températures moyennes enregistrées ont eu une influence positive sur la croissance du cacaoyer de l'ensemble des zones de production. Toutefois à Aboisso et à Dimbokro, l'influence de la température est plus forte (Figure 57).

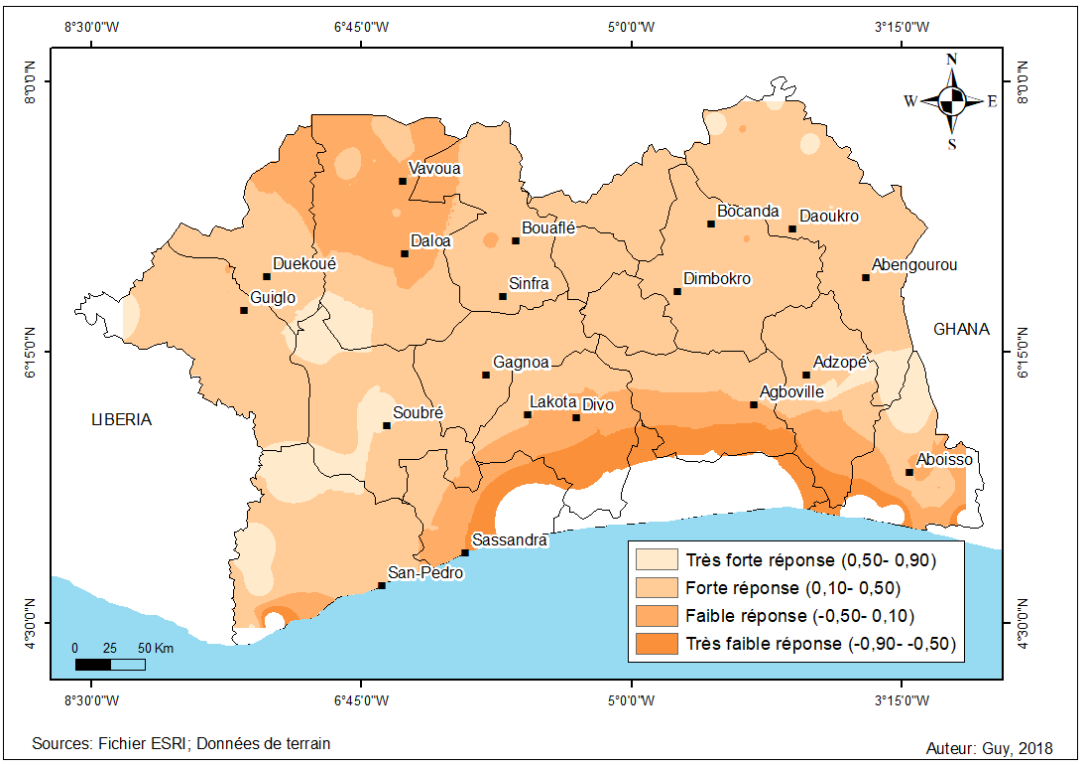



**Figure 56:** Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux températures moyennes de la petite saison des pluies 1960 à 1980

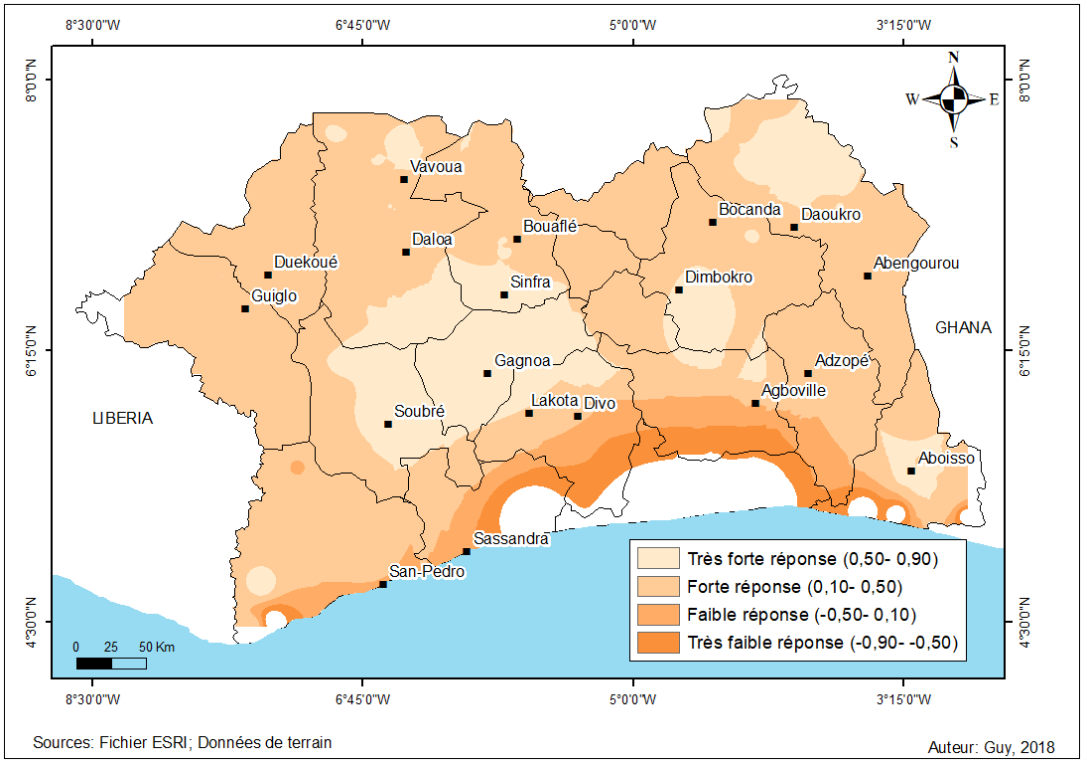



**Figure 57:** Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux températures moyennes de la petite saison des pluies de 1981 à 2015

### IV.4.4.2 Réponse du cacaoyer aux températures moyennes annuelles de la saison sèche

La variabilité spatiale de la réponse du cacaoyer aux températures moyennes de la grande saison sèche a révélé au cours de 1960 à 1980, une influence positive des températures moyennes sur la croissance du cacaoyer des différentes zones de production (Figure 58). Les cacaoyers d'Aboisso à l'exception des autres sites ont eu une réponse négative. Sur la période de 1981 à 2015, les cacaoyers de la quasi-totalité des sites de production sont positivement influencés par les températures moyennes (Figure 59).

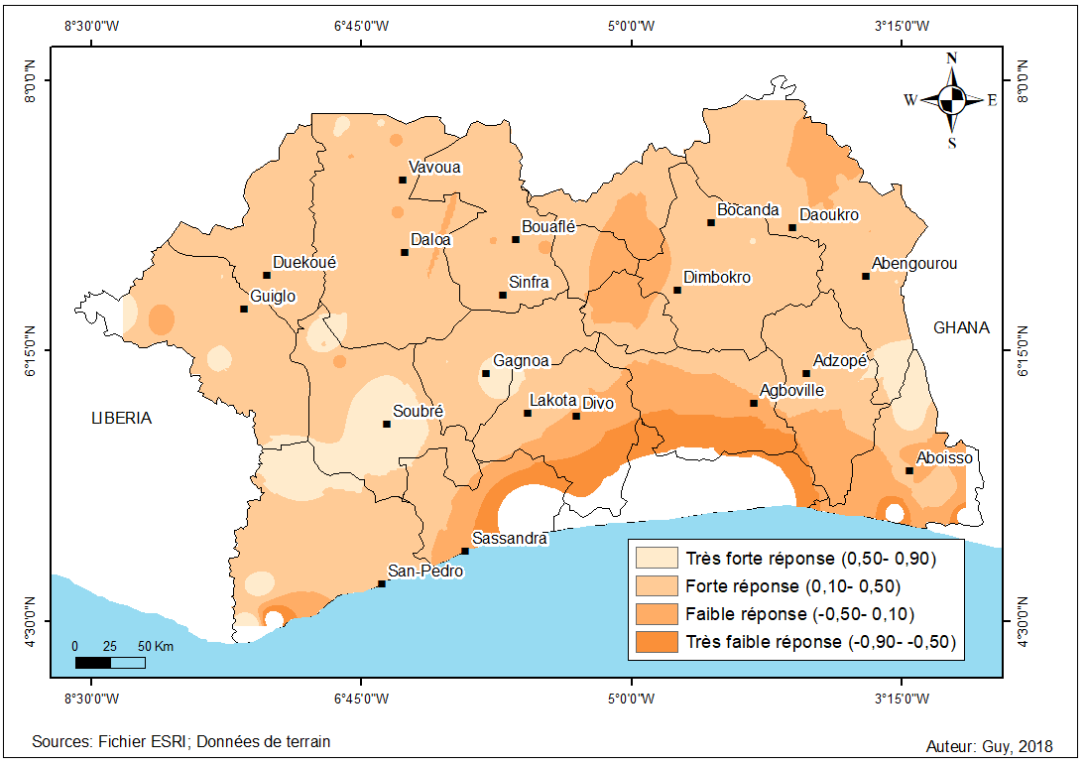



**Figure 58:** Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux températures moyennes de la grande saison sèche de 1960 à 1980

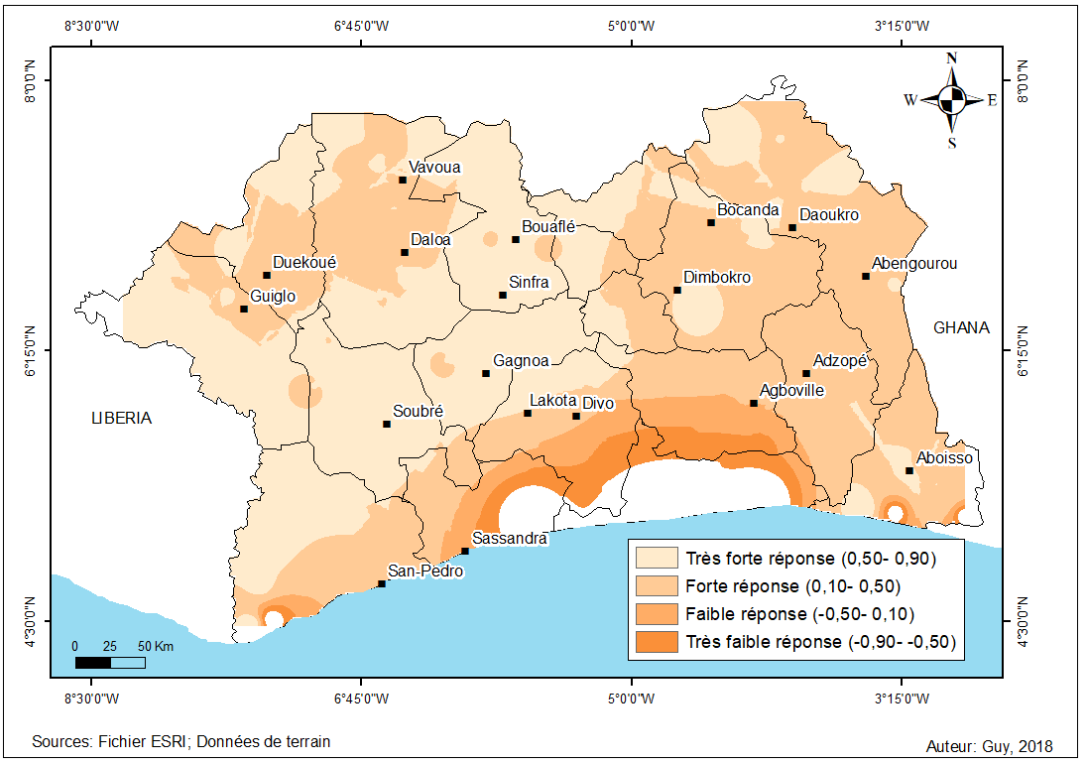



**Figure 59:** Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux températures moyennes de la grande saison sèche de 1981 à 2015

Les températures moyennes de la petite saison sèche au cours de la période de 1960 à 1980 révèlent une influence négative sur la croissance du cacaoyer de l'ensemble des zones de production (Figure 60). Cependant, au cours de la période 1981 à 2015, les températures moyennes enregistrées ont eu une influence positive sur la croissance du cacaoyer de la quasi-totalité des zones de production (Figure 61).

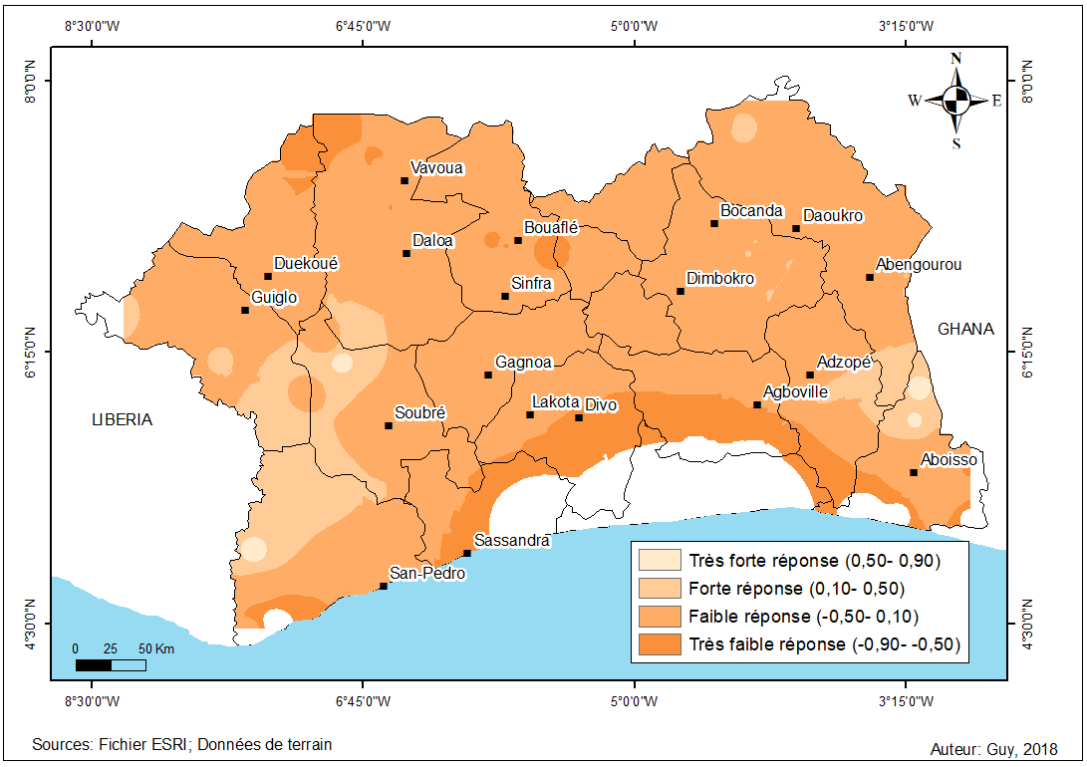



**Figure 60:** Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux températures moyennes de la petite saison sèche 1960 à 1980

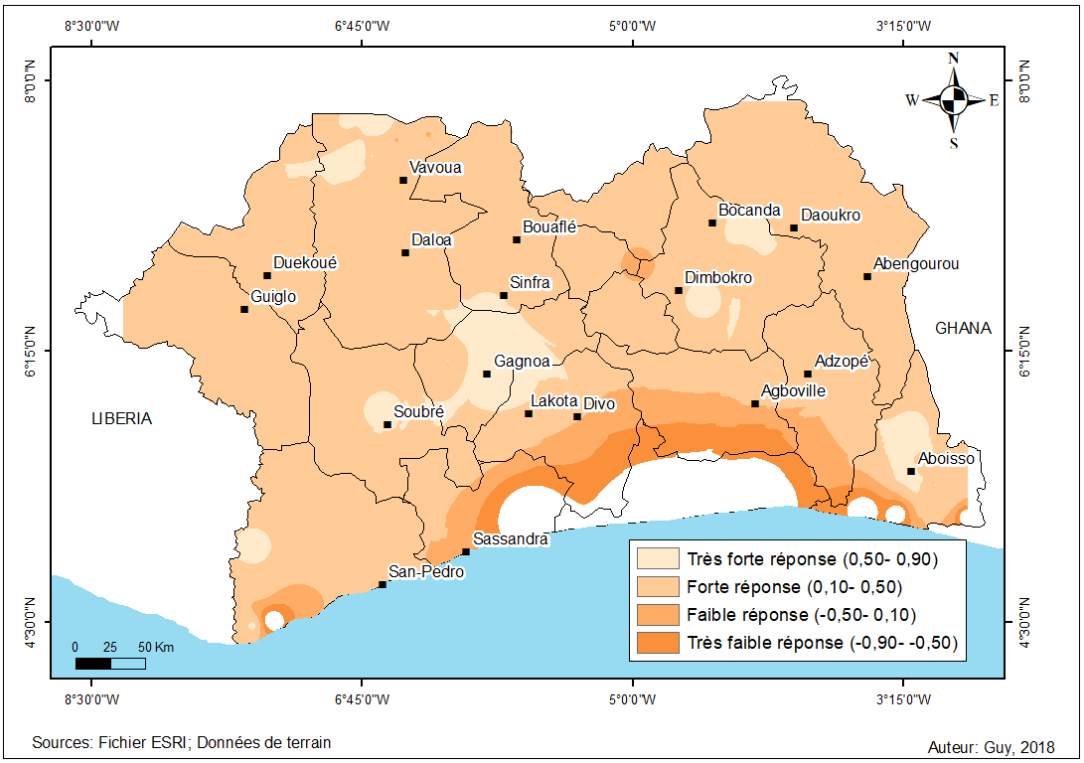



**Figure 61:** Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux températures moyennes de la petite saison sèche 1981 à 2015

# CHAPITRE V : DISCUSSION

La discussion porte successivement sur la variabilité climatique en Côte d'Ivoire, les statistiques dendrochronologiques des cernes de cacao et la relation croissance du cacao-climat.

## V.1 Variabilité climatique en Côte d'Ivoire

La réponse du cacaoyer à la variabilité du climat a été étudiée à travers des méthodes dendroclimatologiques. D'abord, l'analyse des séries pluviométriques annuelles à partir des indices centrés réduits et du test de Pettitt (Pettitt, 1979 :130) a montré une alternance de périodes humides et sèches dans les quatre zones agro-écologiques de la cacaoculture comme l'indiquent les conclusions des travaux antérieurs (Kanohin *et al*., 2012 :214 ; Brou , 2005 :72 ; Savané et *al*., 2001 :234 ). L'alternance des périodes sèches et humides au cours de cette étude, s'est manifestée par une baisse importante de la pluviométrie moyenne annuelle. La décennie 1970-1980 constitue la période très représentative de l'importante chute de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest généralement et en Côte d'Ivoire particulièrement (Kanohin et *al*., 2009, 2012 :112, 214 ; Amani et *al*., 2008 :208 ; Paturel, 1998 :945). Les résultats de la présente étude attestent que toutes les ruptures pluviométriques observées ont lieu au cours de cette même période. En outre, ces résultats révèlent une augmentation de la température moyenne annuelle dans l'espace d'étude, confirmant ceux de Brou (2005 :68) et Djè (2014 :14). Les plus fortes températures ont été enregistrées dans les régions de Dimbokro, Daoukro et Bocanda avec des valeurs supérieures à 27 °C. Les régions d'Aboisso et de Guiglo situées respectivement sur le littoral et à l'ouest enregistrent les plus faibles températures au cours de cette étude.

## V.2 Statistiques dendrochronologiques des cernes

Lors de la construction de la chronologie maîtresse, certaines séries individuelles ont été rejetées par COFECHA et ont été retirées de la construction. Cette situation s'explique par le fait que certaines rondelles de cacaoyers étaient cassées et d'autres présentaient des cernes de croissances illisibles. Toutes ces raisons ont pu entrainer des erreurs de mesures et de datations. Cependant, 70 % des séries chronologiques ont pu être interdatées.

Les résultats de cette interdatation laissent supposer que les valeurs de Rbar (corrélations interséries) étaient essentiellement faibles dans l'espace d'étude. En outre, les résultats montrent que les valeurs de la Sensibilité Moyenne (MS ≥ 0,30) des différentes chronologies présentent de bonne variation annuelle (Ftitts, 1976 : 236). En effet, les indices de MS peuvent varier de 0,65 pour des arbres très sensibles à la sécheresse à 0,15 pour des arbres peu sensibles en zones tempérés (Fritts, 1976 : 242). Les valeurs de MS obtenues dans la présente étude varient entre 0,30 et 0,39. Cela permet de conclure que les cacaoyers de l'espace d'étude ont été très sensibles à la sécheresse.

La comparaison des MS du cacaoyer à d'autres arbres de la sous-région permet de noter des valeurs identiques à celles du *Vitellaria paradoxa* (0,30 et 0,33) du sud du Mali (Sanogo et *al*., 2016 :30), de l'*Acacia Seyal* (0,30) dans le delta du Niger (Nicolini *et al.*, 2010 :357) et du *Boswellia neglecta* (0,34 et 0,39) dans la corne de l'Afrique (Mokria et *al*., 2017 :21). Toutefois, ces valeurs de MS sont plus élevées que celles du *Picea likiangensis* (0,16) (Bi et *al*., 2015 :50) et le *Rhododendron* (0,13 et 0,14) (Bi et *al*., 2016 :3927) qui sont des espèces étudiées respectivement au sud-est et au sud-ouest de la Chine. Il en est de même pour le *Terminalia superba* (0,16) (De Ridder *et al.*, 2013 :421).

L'autocorrélation (AC1) obtenue pour le cacaoyer était plus ou moins élevée pour toutes les chronologies des différents sites. Cela assure une bonne datation-croisée et la présence d'un fort facteur commun influençant la croissance des cernes des cacaoyers de l'espace d'étude. Les valeurs des AC1 des différents

sites d'étude étaient similaires à celles obtenues sur le *Vitellaria paradoxa* à Koutiala, au Mali (Sanogo et *al*., 2016 :30). Elles sont toutefois plus élevées que celles de *Boswellia neglecta (*Mokria et *al*., 2017 :22) et plus faibles que celles du *Picea likiangensis* (Bi et *al*., 2015 : 50), du *Rhododendron* (Bi et *al*., 2016 :3925) et du *Terminalia superba* (De Ridder *et al.,* 2013 :421).

Les valeurs d'EPS dans l'espace d'étude sont inférieures au seuil recommandé de 0,85 (Fritts, 1976 : 245; Lebourgeois, 2000 :160 ; Bi et *al*., 2015, 2016:50, 3925 ; Wang et *al*., 2017 :19). Cette situation peut s'expliquer par le fait que la collecte des données sur le cacaoyer s'est déroulée sur une courte période avec un nombre limité d'échantillons. La conséquence du nombre réduit d'échantillons se traduit par une diminution exponentielle des valeurs d'EPS et l'augmentation de la fiabilité de la chronologie de référence, aboutissant à une relation croissance-climat moins évidente (Lebourgeois et Mérian, 2012 :12). Ces résultats suggèrent la nécessité d'échantillonner un plus grand nombre d'individus par espèce afin de distinguer le signal de croissance commun entre les arbres (Fritts, 1976 : 246).

### V.3 Relation croissance-climat

Les résultats de cette étude révèlent que la croissance des cernes du cacaoyer ont été sensibles à la pluviométrie et la température moyenne. La réponse positive entre l'indice de croissance du cacaoyer et les pluies des mois de mai et de juillet (saison pluvieuse) renforce l'importance du régime pluviométrique par rapport à la croissance du cacaoyer. La pluviométrie est ainsi considérée comme l'un des principaux indicateurs de la croissance du cacaoyer (Mossu, 1990 :20). Des résultats similaires menés par Bi et *al*., (2016 :3928) dans le sud-ouest de la Chine ont également montré que la corrélation positive entre certaines plantes ligneuses telles que le *rhododendro* et la pluviométrie consolide la bonne croissance de ces plantes. Les résultats de la présente étude sont

également confirmés par les travaux de Lebourgeois (2000 :162 ) et Latte et *al*. (2012 :15) respectivement menés sur le *pin sylverstris* et le *sylvatica*.

Par ailleurs, les résultats de la présente étude, attestent que les températures moyennes ont une action négative sur la croissance des cernes. La relation négative entre les différentes croissances du cacaoyer et les températures mensuelles indiquent une augmentation de l'évapotranspiration avec la hausse de la température (Whang *et al.*, 2017 :18).

## CONCLUSION GENERALE

Cette étude a mis en exergue l'influence du climat sur le cacaoyer à travers le rétrécissement de ses cernes. Par la méthode des statistiques climatiques, l'analyse de la variabilité climatique révèle une alternance entre les périodes humides et les périodes sèches qui s'est manifestée par un déficit pluviométrique, variant de 5 % (Daoukro, de 1979 à 2015) à 17 % (Vavoua, de 1976 à 2015), et une hausse des températures moyennes allant de 0,30 °C (Vavoua) à 0,70 °C (Aboisso, Dimbokro, Bocanda, Daoukro et Guiglo).

En outre, la caractérisation chronologique des différents sites a permis de mettre en évidence les variations climatiques multi-décennales et interannuelles. Dans l'ensemble, les MS des zones de production des cacaoyers ont été supérieures à la valeur seuil de 0,20. Cela atteste que les cacaoyers des différentes zones de production en Côte d'Ivoire ont été très sensibles à la sécheresse. Dans les détails, les zones de Guiglo et Daoukro (MS = 0,38) ont été plus affectés par les changements des facteurs environnementaux.

L'analyse de la relation croissance-climat révèle que la croissance du cacaoyer est sensible à la pluviométrie et aux températures moyennes. En plus, les cacaoyers de l'ouest sont plus sensibles aux variables climatiques que ceux des autres régions du pays. Les années 1979 et 1996 s'inscrivent dans l'ensemble des années favorables à la croissance du cacaoyer par contre les années 1981 et 1997 ont été très défavorables.

De par ces résultats, l'étude atteste des risques liés à l'impact de la variabilité climatique sur la cacaoculture, notamment la réduction des cernes de croissance du cacaoyer, contribuant fortement à la fluctuation de la production cacaoyère observée en Côte d'Ivoire. Tenant compte des prévisions qui soutiennent l'exacerbation des variations climatiques dans les prochaines années, il est louable de prendre des dispositions utiles, dans le temps, afin de garantir la stabilité de la production cacaoyère. Cela permettra de maintenir la Côte d'Ivoire au rang du meilleur producteur mondial.

## REMERCIEMENTS

Ce Travail a été réalisé grâce aux financements accordés par le projet « Reconstruction de l'historique du climat et son impact sur le cacao en Côte d'Ivoire : réponse au changement climatique » au Word Agroforestry Center Côte d'Ivoire (ICRAF).

La réalisation finale de ce mémoire a été possible grâce à la disponibilité et la contribution scientifique de plusieurs personnes ressources, à savoir le Dr Kouamé Christophe**,** Directeur régional d'ICRAF qui m'a permis d'effectuer un stage dans sa structure ; le Dr Tia Lazare, Maître de conférences, à l'Institut de Géographie Tropicale, Directeur Scientifique de ce mémoire, pour son encadrement attentif et surtout pour ses conseils et sa grande disponibilité. Je tiens particulièrement à dire un grand merci à Dr M'bo Kacou qui, malgré ses nombreuses occupations, a toujours réussi à trouver le temps nécessaire pour me faire bénéficier de ses riches expériences en matière de dendrochronologie et d'écophysiologie du cacaoyer. Les quelques mois passés à ses côtés ont été très enrichissants sur les plans professionnel et humain. Je remercie également Dr Dibi Kangah Pauline, Maître de conférences, à l'Institut de Géographie Tropicale, pour avoir accepté d'examiner ce document et pour ses remarques et suggestions constructives.

J'adresse mes remerciements à tous mes responsables académiques, particulièrement Pr Koffie-Bikpo Céline Yolande et Dr Touré Mamoutou (Maître de Conférences), respectivement Directeur et Chef de Département de l'Institut de Géographie Tropicale de l'Université Félix Houphouët-Boigny.

J'exprime ma très vive reconnaissance à l'endroit des responsables de l'Agence Nationale d'Appui au Développement Rural (ANADER) pour tous les efforts consentis lors des différentes phases d'échantillonnage effectué sur le terrain.

Mes remerciements vont également à l'endroit de Mme Soro Mélaine, responsable des ressources humaines à l'ICRAF qui est comme une « mère » pour tous les stagiaires, et à tout le personnel de l'ICRAF pour leur encouragement, leur disponibilité et leurs conseils avisés. Il s'agit entre autres de Dr Diby Lucien, MM. Loba Jean Noël, Fiacre Allah, Ahui Eric, Dosso Seydou, Abou Traoré et Mmes Ahui Colombe et Yao Carole.

Je remercie sincèrement tous les stagiaires de l'ICRAF particulièrement MM. Litché Darius et Kouadio Roméo**,** avec qui j'ai partagé des moments inoubliables. Je n'oublierai pas mes amis qui m'ont encouragé et soutenu pendant ce stage, à savoir Mlle Blandine Anet et MM. Brou Jérôme, Evrard Koffi, Yao Denis, Christophe Koffi et Jonas Kouamé.

Enfin, je voudrais dire infiniment merci à mes frères et sœurs, à mes cousins et cousines, à mon père Kablan Landry et à ma mère Kouakou Ahou Jeannette pour leur confiance, leurs conseils et appuis moral et financier. J'étends ma reconnaissance à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail. Que la Grâce de DIEU soit sur toutes ces personnes et leur famille respective.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AFFOU Yapi et TANO Kouadio, 1991, « La boucle du cacao en Côte d'Ivoire : une situation migratoire inversée », *In* : QUESNEL André et VIMARD Patrice (Ed.), *Migrations, changements sociaux et développement*, Paris, ORSTOM, pp.307-315.

AMANI Kouassi, KOFFI Kouamé, BI TIE N'guessan, LASM Théophile, PATUREL Jean, 2008, « Influence de la variabilité climatique et de la modification de l'occupation du sol sur la relation pluie-débit à partir d'une modélisation globale du bassin versant du N'zi (Bandama) Côte d'Ivoire », *Science technologie*, vol.11, pp.207-209.

BI Yingfeng, GUO Liang, GEBREKIRSTOS Aster, XU Jianchu., YANG Xuefei, 2015, « Assessing drought variability since 1650 AD from tree-rings on the Jade Dragon Snow Mountain, southwest China », *International journal of climatology*, vol.10, n°35, pp.45-56.

BI Yingfeng, XU Jianchu, GEBREKIRSTOS Aster, LIANG Eryuan, XUEFEI Yang, 2016, « Ring-widths of the above tree-line shrub Rhododendron reveal the change of minimum winter temperature over the past 211 years in southwestern China», *Clim Dyn*, vol.4, n°10, pp.3919-3933.

BRAUDEAU Jean (Ed.), 1969, *Le cacaoyer : Techniques agricoles et productions tropicales*, Paris, Maisonneuse et Larose, 304 p.

BROU Yao Télesphore, AKINDÈS Francis, BIGOT Sylvain, 2005, « La variabilité climatique en Côte d'Ivoire: entre perceptions sociales et réponses agricoles », *Cahiers Agricultures*, vol.14, n° 6, pp.533-540.

BROU Yao Télesphore, 2005, *Climat, mutation socio-économique et paysages en Côte d'Ivoire*, Mémoire de synthèse des activités scientifiques présenté en vue de l'obtention de l'habilitation à diriger des recherches, Lille, université des sciences et techniques de Lille, 226 p.

BROU Yao Télesphore, 2010, « Variabilité climatique, déforestation et dynamique agro-démographique en Côte d'Ivoire », *Sécheresse*, vol.21, 6 p.

CILSS (Comité Inter-Etat de Lutte contre la Sécheresse au Sahel), 2011, « Evaluation du changement climatique en Afrique de l'Ouest », [En ligne] URL http //: www.cilss.inter/changement-climatique-afrique/, consulté le 27 novembre 2017

DABIN Bernard, LENEUF Noël, RIOU Gerrard, 1960, *Carte pédologique de la Côte d'Ivoire*, Abidjan, ORSTOM, 39p

DE RIDDER, VAN den Jan, VAN Acker, BEECKMAN Hans, 2013, « Tree-ring analysis of an African long-lived pioneer species as a tool for sustainable forest management », *Forest Ecology and Management*, vol.304, n°12, pp.417–426.

DIBI KANGAH Agoh Pauline., 2004, *Rainfall and Agriculture in Central West Africa since 1930*, Norman-Oklahoma, Université d'Oklahoma, Thèse de Doctorat, 271p.

DJE Kouakou Bernard, 2014, *Programme national changement climatique*, Abidjan, Rapport de stratégie programme, MIEDD, 80p.

FAO, (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation), 2017, « Déforestation et Changement climatique en Afrique », [En ligne] URL http //: www.fao.org/côte d'ivoire/dégradation-secteur-forestier/, consulté le 12 Mars 2017

FRITTS Harold, 1976, *Tree-ring and climate*. New-York, Academic press, 567p.

GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat), 2007, *Bilan 2007 des changements climatiques*, Quatrième rapport d'évaluation, Genève, Suisse, 103p.

GIEC, (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat), 2014, *Bilan 2014 des changements climatiques*, Cinquième rapport d'évaluation, Genève, Suisse, 100p.

HOLOBACA Lulian Horia, POP Olimpiu, PETREA Danut, 2015, « Dendroclimatic reconstruction of summer temperature in Irik valley, Mount Elbrus (Greater caucasus) », *International journal of remote sensing*, vol.24, n°23, pp.1-6.

ICCO (International Cocoa Organization), 2017, *Annual report 2016-2017*, Rapport final, Londres, 42p.

KANOHIN Fulvie, BACHIR Saley, SAVANE Issiaka, 2009, « Impacts de la variabilité climatique sur les ressources en eau et les activités humaines en zone tropicale humide : cas de la région de Daoukro (Côte d'Ivoire) », *European journal of scientific*, vol.26, n°2, pp.209-222.

KANOHIN Fulvie, BACHIR Saley, AKE Gabriel, SAVANE Issiaka, DJE Kouakou, 2012, « Variabilité climatique et productions de café et de cacao en zone tropicale humide : cas de la région de Daoukro », *International journal of innovation and applied studies*, vol.1, n°2, pp.194-215.

LATTE Nicolas, DEBRUXELLE Jérôme, SOHIER Catherine, Degré Aurore, CLAESSENS Huges, 2012, « La dendroécologie : un outil pour affiner nos connaissances sur l'autoécologie des sciences forestières », *Forêt wallonne*, vol.116, n°40, pp.3-17.

LEBOURGEOIS François et MERIAN Pierre, 2012, *Principes et méthodes de la dendrochronologie*, Nancy, LERFOB, 88p.

LEBOURGEOIS François, 2000, « Climatic signals in earlywood, latewood and total ring with of corsican pine from western Fance », *Annal of forest science*, vol.57, n°2, pp.155-164.

MARTIN Jean Pierre, 1970, *Le cacaoyer*, Abidjan, ORSTOM, 82p.

MINEF (Ministère de l'Economie et des Finances), 2017, *Rapport économique et financier 2017*, Abidjan, Direction de la documentation et de l'informatique, 68p.

MOKRIA Mulugeta, TOLERA Motuma, STERCK Frank, GEBREKIRSTOS Aster, BONGERS Frans, DUCUYPER Mathieu, KLASSEN Ute Sass, 2017, « The frankincense tree Boswellia neglecta revals high potential for restoration of woodlands in the horn of Africa », *Forest Ecology and Management*, vol.385, n°1, pp.16-24.

MOSSU Guy, 1990, *Le cacaoyer*, Paris, Le technicien d'agriculture tropicale, 159p.

NICHOLSON Sharon, 1988, «The nature of rainfall fluctuation in subtropical West Africa», *Monthly weather Revue*, vol.108, pp.473-487

NICOLINI Giacomo, TARCHIANI Vinc, SAURER Maz, 2010, «Wood-growth zones in Acacia seyal Delile in the Keita Valley, Niger: is there any climatic signal», *Journal of Arid Environments,* vol.74**,** n°1**,** pp.355–359

PATUREL Jean Emmanuel, SERVAT Eric, DELATTRE Marie Odile, 1998, « Analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique », *Journal des Sciences Hydrologiques*, vol. 43, n° 6, pp.937-945.

PETTITT Anthony, 1979, « A non-parametric approach to the change-point problem », *Appli. Statist* vol.28, n°2, pp.126-135.

SANOGO Kapoury, GEBREKIRSTOS Aster, BAYALA Jules, VILLAMOR Grace, KALINGANIRE Antoine, SORO Dodiomon, 2016, « Potential of dendrochronology in assessing carbon sequestration rates of Vitillaria paradoxa in southern Mali, West Africa », *Dendrochronologia,* vol.40, n°1, pp.26-35

SAVANE Issiaka, COULIBALY Kapo Martin, GION Paul, 2001, «Variabilité climatique et ressources en eaux souterraines dans la région semi montagneuse de Man », *Sécheresse*, vol. 12, n° 4, pp.231-237.

SCHWEINGRUBER Fritz Hans, 1988, *Tree Rings, Basic and applications of dendrochronology.* Reidel D. publishing company, 276p.

TESSIER Lucien, 1984, *Dendroclimatologie et écologie de Pinus silvestris L et Quercus pubescens willd dans le sud-est de la France*, Marseille, Université Aix Marseille III, Thèse de doctorat, 238p.

VINCENT Jean Jacques, 1969, *Défense de culture*, Paris, ORSTOM, 65p.

WANG Hui-Qin, CHEN Feng, ERMENBAEV Bakytbek, SATYLKANOV Rysbek, 2017, «Comparison of drought-sensitive tree-ring records from the Tien Shan of Kyrgystan and Xinjiang (China) during the last six centuries», *Adances in climate change Research*, vol.8, pp.8-25

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Situation géographique de la zone d'étude ..... 21
Figure 2: Echantillon de rondelle de cacaoyer avant (A) et après (B) traitement ..... 23
Figure 3: Indices des hauteurs de pluies annuelles de 1960 à 2015 à Aboisso... 31
Figure 4: Indices centrés réduits des températures moyennes de 1961 à 2015 à Adiaké (Aboisso)..... 32
Figure 5: Evolution de la variabilité des températures moyennes de 1961 à 2015 à Adiaké (Aboisso)..... 32
Figure 6: Indices des hauteurs de pluies annuelles de 1960 à 2015 à Abengourou ..... 33
Figure 7: Indices centrés réduits des températures moyennes de 1980 à 2015 à Abengourou ..... 34
Figure 8: Indices des hauteurs de pluies annuelles de 1960 à 2015 à Dimbokro 35
Figure 9: Evolution de la variabilité des pluies annuelles de 1960 à 2015 à Dimbokro..... 35
Figure 10: Indices des hauteurs de pluies annuelles de 1960 à 2015 à Daoukro 36
Figure 11: Indices des hauteurs de pluies annuelles de 1960 à 2015 à Bocanda 37
Figure 12: Indices centrés réduits des températures moyennes de 1960 à 2015 à Dimbokro (Daoukro et Bocanda)..... 38
Figure 13: Evolution de la variabilité des températures moyennes de 1960 à 2015 à Dimbokro (Daoukro et Bocanda) ..... 38
Figure 14: Indices des hauteurs de pluies annuelles de 1960 à 2015 à Vavoua . 39
Figure 15: Evolution de la variabilité des pluies annuelles de 1960 à 2015 à Vavoua..... 40
Figure 16: Indices centrés réduits des températures moyennes de 1967 à 2015 à Daloa (Vavoua) ..... 41
Figure 17: Evolution de la variabilité des températures moyennes de 1967 à 2015 à Daloa (Vavoua)..... 41

Figure 18: Indices des hauteurs de pluies annuelles de 1960 à 2015 à Guiglo... 42
Figure 19: Indices centrés réduits des températures moyennes de 1961 à 2015 à Man (Guiglo) ..... 43
Figure 20: Evolution de la variabilité des températures moyennes de 1961 à 2015 à Man (Guiglo) ..... 43
Figure 21: Indices de croissance de la chronologie d'Aboisso de 1970 à 2017.. 47
Figure 22: Indices de croissance de la chronologie d'Abengourou de 1963 à 2017 ..... 48
Figure 23: Indices de croissance de la chronologie de Daoukro de 1966 à 2017 ..... 49
Figure 24: Indices de croissance de la chronologie de Bocanda de 1969 à 2017 ..... 50
Figure 25: Indices de croissance de la chronologie de Dimbokro de 1976 à 2017 ..... 51
Figure 26: Indices de croissance de la chronologie de Vavoua de 1955 à 2017 51
Figure 27: Indices de croissance de la chronologie de Guiglo de 1966 à 2017.. 52
Figure 28: Relation entre l'indice de croissance du cacaoyer et la pluviométrie et température mensuelle d'Aboisso ..... 53
Figure 29: Corrélation entre la chronologie maîtresse résiduelle et la pluviométrie annuelle d'Aboisso ..... 54
Figure 30: Relation entre l'indice de croissance du cacaoyer et la pluviométrie et température mensuelle d'Abengourou ..... 55
Figure 31: Corrélation entre la chronologie maîtresse résiduelle et la pluviométrie annuelle d'Abengourou ..... 55
Figure 32: Relation entre l'indice de croissance du cacaoyer et la pluviométrie et température mensuelle de Daoukro ..... 57
Figure 33: Corrélation entre la chronologie maîtresse résiduelle et la pluviométrie annuelle de Daoukro ..... 57

Figure 34: Relation entre l'indice de croissance du cacaoyer et la pluviométrie et température mensuelle de Bocanda ..... 58
Figure 35: Corrélation entre la chronologie maîtresse résiduelle et la pluviométrie annuelle de Bocanda ..... 59
Figure 36: Relation entre l'indice de croissance du cacaoyer et la pluviométrie et température mensuelle de Dimbokro ..... 60
Figure 37: Corrélation entre la chronologie maîtresse résiduelle et la pluviométrie annuelle de Dimbokro ..... 60
Figure 38: Relation entre l'indice de croissance du cacaoyer et la pluviométrie et température mensuelle de Vavoua ..... 61
Figure 39: Corrélation entre la chronologie maîtresse résiduelle et la pluviométrie annuelle de Vavoua ..... 62
Figure 40: Relation entre l'indice de croissance du cacaoyer et la pluviométrie et température mensuelle de Guiglo. ..... 63
Figure 41: Corrélation entre la chronologie maîtresse résiduelle et la pluviométrie annuelle de Guiglo. ..... 63
Figure 42: Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux pluviométries de 1960 à 1980 ..... 64
Figure 43: Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux pluviométries de 1981 à 2015 ..... 65
Figure 44: Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux pluviométries de la grande saison des pluies de 1960 à 1980 ..... 66
Figure 45: Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux pluviométries de la grande saison des pluies de 1981 à 2015 ..... 66
Figure 46: Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux pluviométries de la petite saison des pluies de 1960 à 1980 ..... 67
Figure 47: Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux pluviométries de la petite saison des pluies de 1981 à 2015 ..... 68

Figure 48: Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux pluviométries annuelles de la grande saison sèche de 1960 à 1980 ..... 69
Figure 49: Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux pluviométries de la grande saison sèche de 1981 à 2015 ..... 69
Figure 50: Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux pluviométries de la petite saison sèche de 1960 à 1980 ..... 70
Figure 51 : Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux pluviométries de la petite saison sèche de 1981 à 2015 ..... 71
Figure 52: Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux températures moyennes de 1960 à 1980 ..... 72
Figure 53: Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux températures moyennes de 1981 à 2015 ..... 72
Figure 54: Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux températures moyennes de la grande saison des pluies de 1960 à 1980 ..... 73
Figure 55: Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux températures moyennes de la grande saison des pluies de 1981 à 2015 ..... 74
Figure 56: Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux températures moyennes de la petite saison des pluies 1960 à 1980 ..... 75
Figure 57: Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux températures moyennes de la petite saison des pluies de 1981 à 2015 ..... 75
Figure 58: Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux températures moyennes de la grande saison sèche de 1960 à 1980 ..... 76
Figure 59: Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux températures moyennes de la grande saison sèche de 1981 à 2015 ..... 77
Figure 60: Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux températures moyennes de la petite saison sèche 1960 à 1980 ..... 78
Figure 61: Répartition spatiale de la réponse du cacaoyer aux températures moyennes de la petite saison sèche 1981 à 2015 ..... 78

**LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1: Matériels techniques utilisés ..... 24

Tableau 2: Caractéristiques dendrochronologiques de la chronologie des cernes du cacaoyer ..... 46

**LISTE DES ANNEXES**

Annexe 1: Ponçage des échantillons avec du papier grain abrasif 40 et 80 ..... 96

Annexe 2: Equipement LINTAB pour la lecture des cernes et les différents croissements statistiques ..... 96

Annexe 3: Structure anatomique du cacaoyer Nb : les flèches vertes indiquent les limites des cernes ..... 97

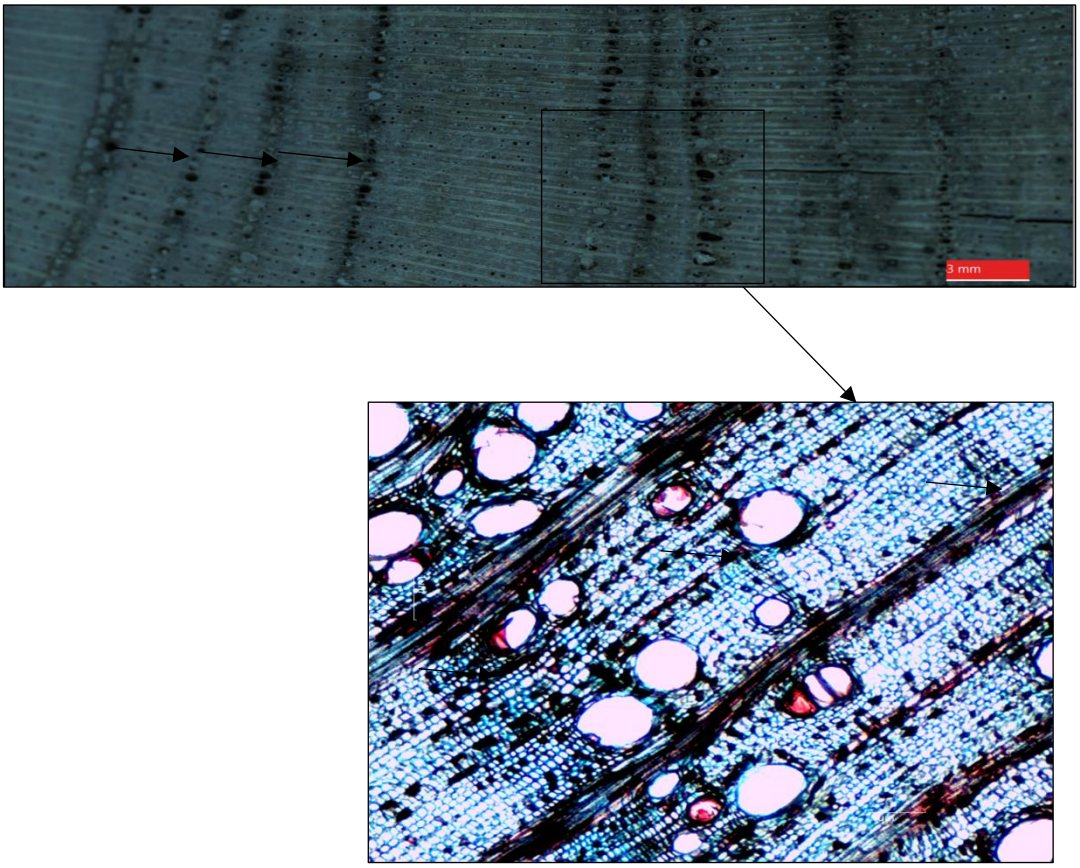
Annexe 4: Coordonnées géographique des sites de prospection ..... 98

Annexe 5: Prélèvement d'échantillons en dendrochronologie : A- par abattage de l'arbre ; B-par carottage à l'aide d'une tarière de Presler ..... 98

# ANNEXES

**Annexe 1:** Ponçage des échantillons avec du papier grain abrasif 40 et 80 (Cliché : Guy, 2017)

**Annexe 2:** Equipement LINTAB pour la lecture des cernes et les différents croisements statistiques (Cliché : M'bo, 2018)




**Annexe 3:** Structure anatomique du cacaoyer **Nb** : les flèches vertes indiquent les limites des cernes (Cliché, M'bo, 2018).

**Annexe 4:** Coordonnées géographique des sites de prospection

| ZAE | Localité | Site | Données géographiques (GPS) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Latitude (N) | Longitude (E) | Altitude (m) |
| **ZAE I** | **Aboisso** | Ninguê | 03° 04' 50.27" | 05° 18' 06.48" | 31 |
| | | Ayamé | 03° 12' 43.92" | 05° 30' 36.00" | 126 |
| | | Bianoua | 03° 11' 39.84" | 05° 17' 43.44" | 116 |
| | | Maféré | 03° 08' 27.96" | 05° 21' 52.20" | 112 |
| **ZAE II** | **Abengourou** | Aniassué | 03$^{O}$ 43' 56,0" | 06$^{O}$ 38' 48,4" | 138 |
| | | Niablé | 03$^{O}$ 16' 34,9" | 06$^{O}$ 41' 15,7" | 173 |
| | | Yakassé feyassé | 03$^{O}$ 26' 30,1" | 07$^{O}$ 01' 05,4" | 295 |
| | | Abengourou | 03$^{O}$ 28' 55,9" | 06$^{O}$ 41' 53,3" | 175 |
| | **Dimbokro** | Yaokouassiblékro | 04$^{O}$ 33' 51,5" | 06$^{O}$ 35' 35,9" | 121 |
| | | Wawrénou | 04$^{O}$ 33' 51,1" | 06$^{O}$ 34' 42,5" | 120 |
| | | Dimbokro | 04$^{O}$ 56' 42,3" | 06$^{O}$ 48' 00,6" | 80 |
| **ZAE III** | **Daoukro** | Siakakro | 03$^{O}$ 40' 36,2" | 07$^{O}$ 20' 38,6" | 195 |
| | | Assacomoékro | 03$^{O}$ 40' 39,2" | 07$^{O}$ 10' 37,6" | 165 |
| | **Bocanda** | Kouadioblékro | 04$^{O}$ 15' 15,7" | 06$^{O}$ 53' 32,4" | 119 |
| | | Abianou | 04$^{O}$ 13' 23,4" | 06$^{O}$ 57' 46,3" | 110 |
| | **Vavoua** | Vaafla | 06° 48' 41" | 07° 24' 36" | 281 |
| | | Bonoufla | 06° 33' 56" | 07° 10' 35" | 248 |
| **ZAE IV** | **Guiglo** | Troya 2 | 07° 05' 18" | 06° 28' 13" | 252 |
| | | Saada | 07° 39' 21" | 06° 43' 52" | 236 |
| | | Acien zouan | 07° 35' 38" | 06° 40' 44" | 214 |
| | | Gbapleu | 07° 29' 51" | 06° 39' 40" | 240 |

**Annexe 5:** Prélèvement d'échantillons en dendrochronologie : A- par abattage de l'arbre ; B- par carottage à l'aide d'une tarière de Presler (Cliché: Guy, 2017

# Parutions dans les Collections GéoRESBIO

**(CEB, CSN, CHS et CJE)**

———————————————

CEB n° 1 : Matières résiduelles et pollution de la baie lagunaire de Marcory-Treichville à Abidjan (Côte d' Ivoire), Séka A.G.P. et Tia L.

CEB n° 2 : Gestion durable des risques d'inondation dans le district d'Abidjan (Côte d' Ivoire), Kouakou J.M. et Tia L.

CEB n° 3 : Exploitation minière et dégradation de l'environnement dans la sous-préfecture de Hiré (Ouest de la Côte d'Ivoire), Ouattara O et Kambiré B.

CEB n° 4 : Occupation des espaces verts et qualité du cadre de vie dans la commune de Yopougon, Kouakou N.F.A. et N'dahoulé Y.R.

CEB n° 5 : Activités socio-économiques et dégradation de la Forêt Classée de Monogaga à San-Pédro (Côte d' Ivoire), Kpeula D.A. et Tia L.

CHS n° 1 : Variabilité climatique et sécurité alimentaire dans les pays du Golfe de Guinée : apport des données géospatiales, Oria M. et Tia L.

CHS n° 2 : Plantations industrielles et sécurité alimentaire dans la sous-préfecture d'Azaguié (Cote d' Ivoire), Kouamé K.R. et Tia L.

CHS n° 3 : Les stratégies territoriales de distribution des opérateurs de téléphonie mobile à Adjamé, Assémien K.B.N.E. et Touré M.

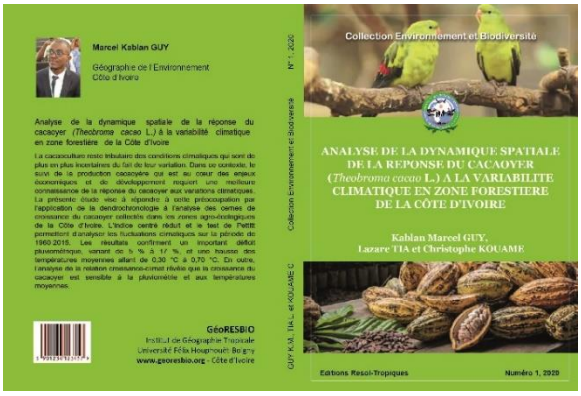
CSN n° 1 : Analyse de la dynamique spatiale de la réponse du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) à la variabilité climatique en zone forestière de la Côte d' Ivoire, Guy M.K et Tia L.

CSN n° 2 : Mutations spatiales et prolifération des moustiques dans la sous-préfecture de Chiépo (Côte d' Ivoire), Ogbapo P.C. et Tia L.

CSN n° 3 : Etude des pathologies en milieu urbain : cas du paludisme dans la commune d'Abobo (Côte d' Ivoire), Tanon M.J.A. et Tia L

# Collections GéoRESBIO

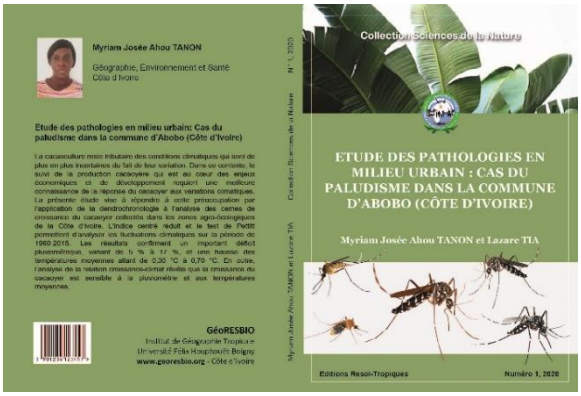
**Les Editions RESOL-TROPIQUES publient les Mémoires de Master et les Thèses de Doctorat dans les Collections GéoRESBIO ci-dessous :**




## Collection Environnement et Biodiversité (CEB)

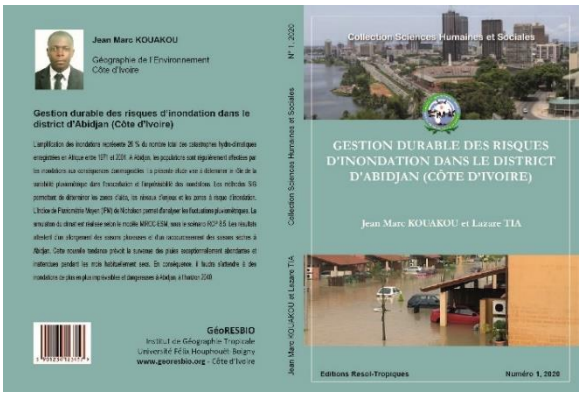
Cette collection publie les meilleurs Mémoires de Master et Thèses de Doctorat soutenus dans les domaines de l'Environnement et de la Biodiversité.

Elle est complémentaire des collections CSN, CHS et CJE.



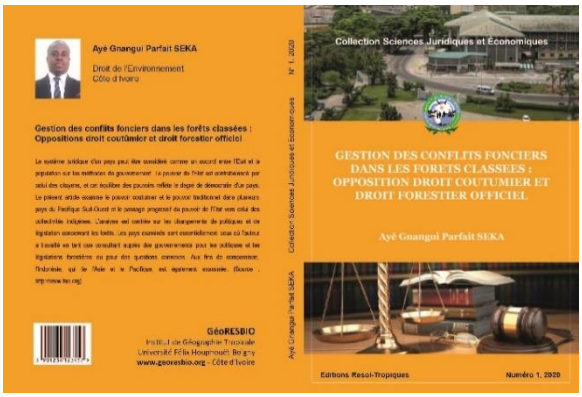

## Collection Sciences de la Nature (CSN)

Agroécologie, Anthropologie, Biologie, Botanique, Écologie, Écophysiologie, Entomologie, Médecine, Ornithologie, Pharmacologie, Physiologie, Systématique, Zoologie, Chimie, Climatologie, Géographie Physique, Géologie, Géophysique, Hydrogéologie, Hydrologie, Télédétection, SIG, GPS, Drone, Cartographie…




## Collection Sciences Humaines et Sociales (CHS)

Psychologie, Sociologie, Anthropologie, Science de l'Éducation, Démographie, Géographie, Communication, Télédétection, Système d'Information Géographique (SIG), GPS, Drone à capteur multispectral, Cartographie…




## Collection Sciences Juridiques et Economiques (CJE)

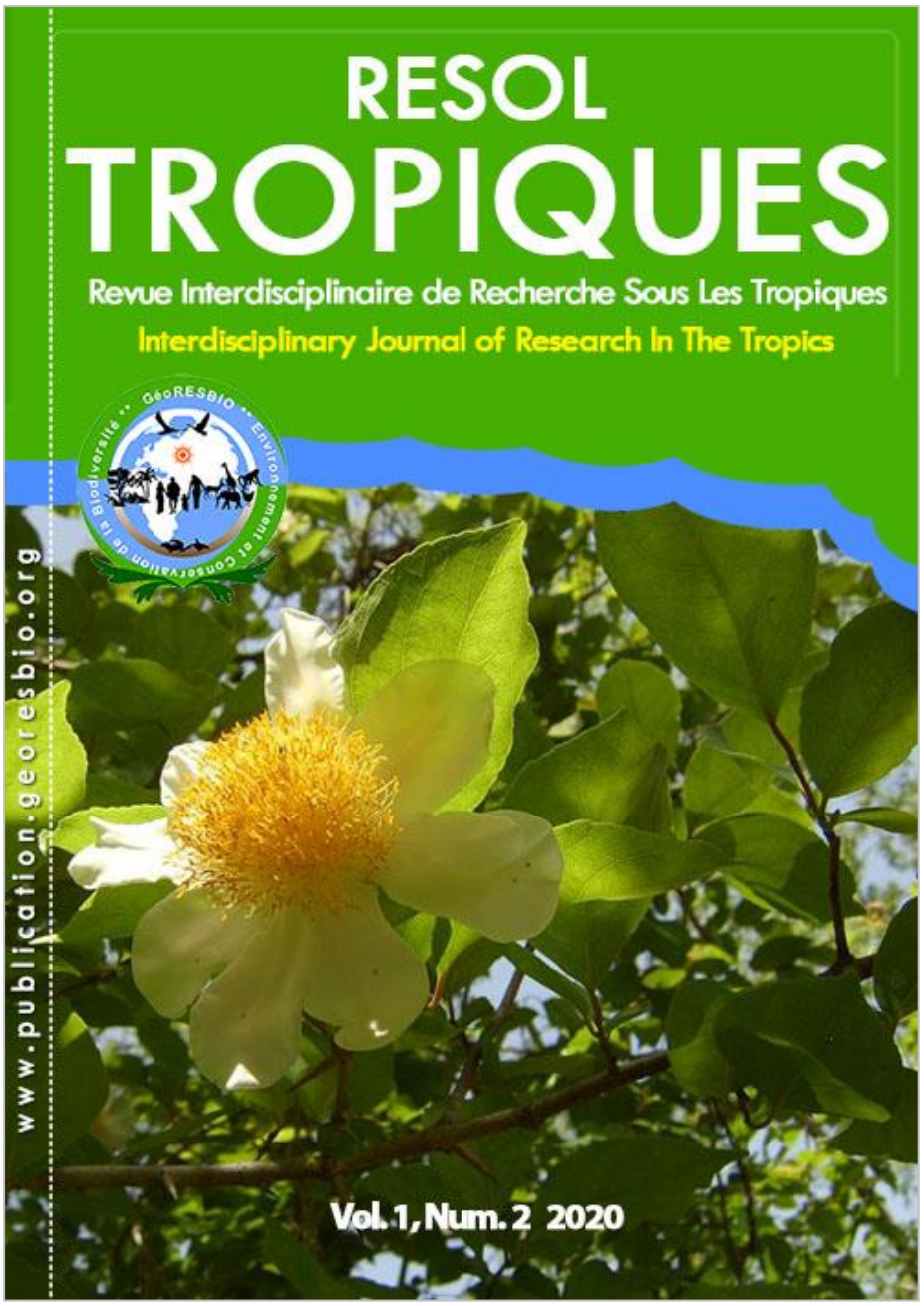
Droit de l'environnement, Économie de l'environnement et toutes autres sciences portant sur le droit, la loi, les interactions économiques entre les sociétés et l'environnement…

**Pour soumettre un mémoire, une thèse…, rendez-vous sur**

**www.publication.georesbio.org**

**info@georesbio.org**

**La Revue RESOL-TROPIQUES**
**publie en ligne, en accès libre, trois numéros par an**




**Pour soumettre un article scientifique, rendez-vous sur**

**www.publication.georesbio.org**

**GéoRESBIO (Equipe Interdisciplinaire de Recherche en Environnement et Conservation de la Biodiversité)**
**Institut de Géographie Tropicale (IGT)**
**Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan - Côte d'Ivoire**
**www.georesbio.org - info@georesbio.org**