



UNIVERSITE
JEAN LOROUGNON GUEDE
UFR ENVIRONNEMENT

REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail
.....

ANNEE : 2022-2023

N°D'ORDRE :

CANDIDAT

Nom : TIMITE

Prénom : Nakouana

THESE

**Pour l'obtention du grade de Docteur de
l'Université Jean LOROUGNON GUEDE**

Mention : Ecologie, Biodiversité et Evolution

Spécialité : Ecologie Végétale

**Dynamique des parcs agroforestiers,
des plantations d'anacardiens et
stratégies d'adaptation des exploitants
agricoles à la variabilité climatique dans
la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire**

JURY

Président : Monsieur KOUASSI Kouakou Lazare, Professeur Titulaire,
Université Jean Lorougnon Guédé

Directeur : Monsieur BARIMA Yao Sadaïou Sabas, Professeur Titulaire,
Université Jean Lorougnon Guédé

Rapporteur : Monsieur MANGARA Ali, Maître de Recherche, Université
Nangui Abrogoua

Examineur 1 : Monsieur COULIBALY Siendou, Maître de Conférences,
Université Jean Lorougnon Guédé

Examineur 2 : Monsieur KOUADIO Zilé Alex, Maître de Conférences,
Université Jean Lorougnon Guédé

Soutenue publiquement
le 23 novembre 2023

TABLE DES MATIERES

| | Page |
|--|------|
| TABLE DES MATIERES | i |
| DEDICACES | viii |
| AVANT-PROPOS..... | ix |
| REMERCIEMENTS | x |
| LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS | xii |
| LISTE DES TABLEAUX | xv |
| LISTES DES FIGURES | xvii |
| LISTE DES ANNEXES | xx |
| INTRODUCTION..... | 1 |
| PARTIE I : GENERALITES | 5 |
| Chapitre 1 : Présentation de la zone phytogéographique soudanienne | 6 |
| 1.1 Zone soudanienne d’Afrique de l’Ouest..... | 6 |
| 1.2 Zone soudanienne de la Côte d’Ivoire..... | 6 |
| 1.2.1 Situation géographique..... | 6 |
| 1.2.2 Climat | 7 |
| 1.2.3 Hydrographie et hydrologie..... | 10 |
| 1.2.4 Relief | 10 |
| 1.2.5 Sols..... | 11 |
| 1.2.6 Végétation et flore..... | 12 |
| 1.2.7 Faune | 12 |
| 1.2.8 Aspects démographiques | 13 |
| 1.2.9 Activités socio-économiques des populations | 13 |
| 1.2.9.1 Agriculture | 13 |
| 1.2.9.2 Elevage..... | 14 |
| 1.2.9.3 Commerce | 15 |
| 1.2.9.4 Orpaillage..... | 15 |
| 1.2.9.5 Autres activités | 16 |

| | |
|---|-----------|
| Chapitre 2 : Systèmes agroforestiers en zone tropicale | 17 |
| 2.1 Définition de l'agroforesterie..... | 17 |
| 2.2 Classification des systèmes agroforestiers..... | 18 |
| 2.3 Parcs agroforestiers soudaniens | 20 |
| 2.3.1 Définition..... | 20 |
| 2.3.2 Classification des parcs agroforestiers soudaniens | 21 |
| 2.3.3 Importance socio-économique des parcs agroforestiers soudaniens..... | 23 |
| 2.3.4 Importance écologique des parcs agroforestiers soudaniens | 23 |
| 2.3.5 Importance agronomique des parcs agroforestiers soudaniens..... | 24 |
| 2.3.6 Facteurs de pression sur les parcs agroforestiers dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire..... | 24 |
| 2.3.6.1 Culture de l'anacardier et évolution spatio-temporelle..... | 24 |
| 2.3.6.2 Pratiques culturelles de l'anacardier | 26 |
| Chapitre 3 : Notions de télédétection et de variabilité climatique | 28 |
| 3.1 Télédétection..... | 28 |
| 3.1.1 Définition et principe de la télédétection..... | 28 |
| 3.1.2 Processus de la télédétection..... | 29 |
| 3.1.3 Caractéristiques des images satellitaires Landsat | 31 |
| 3.1.4 Contribution de la télédétection à l'étude de la dynamique des changements d'occupation et d'utilisation des terres en zone soudanienne | 33 |
| 3.2 Variabilité climatique | 34 |
| 3.2.1 Définition de la variabilité climatique..... | 34 |
| 3.2.2 Impacts de la variabilité climatique en agriculture | 34 |
| 3.2.3 Adaptation des agriculteurs à la variabilité climatique | 35 |
| PARTIE II : MATERIEL ET METHODES | 38 |
| Chapitre 4 : Matériel d'étude | 39 |
| 4.1 Matériel biologique | 39 |
| 4.2 Matériel technique..... | 39 |
| 4.2.1 Matériel d'inventaire floristique et d'enquête socio-agronomique..... | 39 |
| 4.2.2 Données spatiales et cartographiques..... | 39 |
| 4.2.3 Données climatiques..... | 40 |
| 4.2.4 Logiciels de traitement des données..... | 41 |

| | |
|--|----|
| Chapitre 5 : Méthodes d'étude | 42 |
| 5.1 Justification du choix des sites d'étude | 42 |
| 5.2 Détermination des dynamiques spatio-temporelles de la végétation des localités d'étude de 1990 à 2020..... | 42 |
| 5.2.1 Acquisition des images satellitaires | 42 |
| 5.2.2 Extraction de la zone d'étude..... | 43 |
| 5.2.3 Composition colorée des images..... | 43 |
| 5.2.4 Choix des parcelles d'entraînement et visites de terrain | 44 |
| 5.2.5 Classification des images..... | 45 |
| 5.2.6 Evaluation et validation de la classification | 46 |
| 5.2.7 Détection des changements au niveau des types d'occupation des sols..... | 47 |
| 5.2.8 Matrice de transition..... | 47 |
| 5.2.9 Elaboration des cartes de changement..... | 48 |
| 5.3 Evaluation des impacts des plantations d'anacardiens et des parcs agroforestiers sur la diversité floristique et la structure diamétrique de la végétation arborescente dans les trois localités de la zone d'étude..... | 48 |
| 5.3.1 Inventaire floristique et mesures dendrométriques | 49 |
| 5.3.1.1 Relevés floristiques et mesures dans les parcs agroforestiers et les plantations d'anacardiens | 49 |
| 5.3.1.2 Relevés floristiques et mesures dans les savanes | 51 |
| 5.3.2 Analyse des données de relevés floristiques..... | 51 |
| 5.3.2.1 Détermination de la richesse spécifique..... | 51 |
| 5.3.2.2 Evaluation de la composition floristique | 51 |
| 5.3.2.3 Evaluation de la diversité Floristique | 52 |
| 5.3.2.4 Evaluation de la ressemblance floristique entre les types d'occupation du sol | 54 |
| 5.3.2.5 Evaluation de la diversité structurale..... | 54 |
| 5.3.2.6 Calcul de la surface terrière..... | 55 |
| 5.3.2.7 Evaluation de la structure diamétrique | 55 |
| 5.3.3 Traitements statistiques des données..... | 55 |
| 5.3.3.1 Tests de comparaison des moyennes | 55 |

| | | |
|---|--|----|
| 5.3.3.2 | Analyses statistiques multidimensionnelles | 56 |
| 5.4 | Analyse de la variabilité climatique et des stratégies d'adaptation des exploitants agricoles dans les localités d'étude | 57 |
| 5.4.1 | Analyse de la variabilité climatique | 57 |
| 5.4.1.1 | Analyse de l'évolution interannuelle des variables climatiques de 1990 à 2020 | 57 |
| 5.4.1.2 | Analyse de l'évolution interannuelle de la durée de la saison culturale, du nombre de jours de pluie et des épisodes de sécheresse | 57 |
| 5.4.1.3 | Analyse statistique des données climatiques | 57 |
| 5.4.2 | Détermination des perceptions de la variabilité climatique et des stratégies d'adaptation des exploitants agricoles | 60 |
| PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSION..... | | 62 |
| Chapitre 6. Dynamiques spatiotemporelles de la végétation dans les localités d'étude | | 63 |
| 6.1 | Précision des cartes des types d'occupation du sol | 63 |
| 6.2 | Cartographie et proportion des types d'occupation du sol des localités d'étude ... | 68 |
| 6.2.1 | Cartographie et proportion des types d'occupation du sol à Tengréla | 68 |
| 6.2.2 | Cartographie et proportion des types d'occupation du sol à Ouangolodougou | 70 |
| 6.2.3 | Cartographie et proportion des types d'occupation du sol à Tienko | 72 |
| 6.2.4 | Taux de changement des types d'occupation du sol dans les localités d'étude de 1990 à 2020 | 74 |
| 6.2.5 | Transitions décennales des types d'occupation du sol dans les localités d'étude de 1990 à 2020 | 76 |
| 6.2.6 | Cartographie de la dynamique des parcs agroforestiers de 1990 à 2020 dans les localités de la zone d'étude..... | 80 |
| 6.3 | Discussion | 81 |
| 6.3.1 | Augmentation des surfaces de culture d'anacardiens dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire..... | 81 |
| 6.3.2 | Régression des parcs agroforestiers traditionnels dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire..... | 83 |
| Conclusion partielle | | 84 |
| Chapitre 7 : Impacts des types d'occupation du sol sur la diversité floristique et la structure diamétrique de la végétation arborescente dans les trois localités de la zone d'étude | | 86 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 7.1 | Diversité floristique des types d'occupation du sol inventoriées dans les localités d'étude | 86 |
| 7.1.1 | Composition floristique | 86 |
| 7.1.1.1 | Richesse floristique..... | 86 |
| 7.1.1.2 | Affinités chorologiques des espèces recensées dans les trois types d'occupation du sol inventoriés..... | 88 |
| 7.1.1.3 | Types biologiques des espèces recensées dans les trois types d'occupations du sol inventoriés | 89 |
| 7.1.2 | Indices de diversité floristique dans les trois types d'occupation du sol..... | 90 |
| 7.1.2.1 | Indice de diversité de Shannon-Weaver..... | 90 |
| 7.1.2.2 | Indice d'équitabilité de Pielou..... | 91 |
| 7.1.2.3 | Indice de diversité de Simpson..... | 92 |
| 7.2 | Diversités structurales des trois types d'occupation du sol considérés dans les localités d'étude | 93 |
| 7.2.1 | Surface terrière globale..... | 93 |
| 7.2.2 | Surface terrière de <i>Vitellaria paradoxa</i> C. F. Gaertn. | 94 |
| 7.2.3 | Surface terrière de <i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) R. Br. ex G. Don | 95 |
| 7.2.4 | Densité globale des ligneux | 96 |
| 7.2.5 | Densité de <i>Vitellaria paradoxa</i> C. F. Gaertn. | 97 |
| 7.2.6 | Densité de <i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) R. Br. ex G. Don | 98 |
| 7.3 | Distribution des individus ligneux en classes de diamètres..... | 99 |
| 7.4 | Ressemblances floristiques entre les trois types d'occupation du sol..... | 100 |
| 7.5 | Relations entre les différents indices de biodiversité et les trois types d'occupation du sol étudiés..... | 101 |
| 7.6 | Typologie des parcs agroforestiers dans les localités de la zone d'étude..... | 103 |
| 7.7 | Typologie des plantations d'anacardiens dans les localités d'étude..... | 107 |
| 7.8 | Discussion..... | 111 |
| 7.8.1 | Implication des plantations d'anacardiens à la dégradation de la biodiversité dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire | 111 |
| 7.8.2 | Nouvelle structuration des systèmes agroforestiers existants dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire | 112 |
| | Conclusion partielle | 113 |

| | |
|---|-----|
| Chapitre 8. Variabilité climatique de 1990 à 2020 dans les localités d'étude et stratégies d'adaptation des agriculteurs | 114 |
| 8.1 Variabilité climatique de 1990 à 2020 dans les localités d'étude | 114 |
| 8.1.1 Variabilité interannuelle des précipitations annuelles de 1990 à 2020 | 114 |
| 8.1.2 Variabilité interannuelle de la durée de la saison culturale de 1990 à 2020..... | 116 |
| 8.1.3 Variabilité interannuelle du nombre de jours pluvieux de 1990 à 2020 | 117 |
| 8.1.4 Occurrence des séquences sèches entre les jours pluvieux de 1990 à 2020..... | 118 |
| 8.1.5 Variabilité interannuelle de la température maximale et minimale annuelle de 1990 à 2020 | 119 |
| 8.1.5.1 Variabilité interannuelle des températures maximales et minimales annuelles à Ouangolodougou | 119 |
| 8.1.5.2 Variabilité interannuelle des températures maximales et minimales annuelles à Tengréla de 1990 à 2020..... | 120 |
| 8.1.5.3 Variabilité interannuelle des températures maximales et minimales annuelles à Tienko de 1990 à 2020 | 121 |
| 8.2 Stratégies d'adaptation des agriculteurs à la variabilité climatique dans les localités d'étude de 1990 à 2020..... | 123 |
| 8.2.1 Profil des chefs d'exploitations agricoles..... | 123 |
| 8.2.2 Caractéristiques des exploitations agricoles | 123 |
| 8.2.3 Perception de la variabilité climatique par les chefs d'exploitations agricoles ... | 126 |
| 8.2.4 Causes de la variabilité climatique selon les chefs d'exploitations agricoles | 127 |
| 8.2.5 Impacts de la variabilité climatique sur l'agriculture dans la zone d'étude | 128 |
| 8.2.6 Pratiques agricoles adoptées par les agriculteurs pour faire face à la variabilité climatique dans les localités d'étude..... | 129 |
| 8.3 Discussion..... | 132 |
| 8.3.1 Tendances climatiques dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire..... | 132 |
| 8.3.2 Perception de la variabilité climatique par les agriculteurs de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire | 133 |
| 8.3.3 Résilience des agriculteurs face à la variabilité climatique dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire | 135 |
| Conclusion partielle | 137 |
| CONCLUSION GENERALE, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES..... | 139 |

| | |
|-------------------|-----|
| REFERENCES..... | 142 |
| ANNEXES..... | i |
| PUBLICATIONS..... | A |

DEDICACES

Je dédie ce mémoire de thèse de Doctorat unique à :

- *Mon père, feu TIMITE Mabé qui fut subitement arraché à mon affection le 20 janvier 2020. Merci papa pour le réconfort et le soutien sans faille. Que ce travail soit à ton honneur car j'ai hérité de toi cet amour pour le travail ;*
- *Ma mère SOUMAHORO Djomo Nasséné, pour ses prières et ses efforts inlassables ;*
- *Mon aîné TIMITE Adama, qui m'a toujours guidée, soutenue et encouragée dans la poursuite de mes études ;*
- *Mon époux DIABY Biamy et mes adorables filles DEMBELE Assita Yasmine et DIABY Fatoumata Zara, pour leur patience et leurs prières.*

AVANT-PROPOS

Le projet « Diversité des systèmes agroforestiers et la résilience des populations pratiquant l'agriculture familiale en Côte d'Ivoire (SAF-Soudaniens) » a été initié en septembre 2018, par le Professeur Barima Yao Sadaïou Sabas, Responsable du Groupe de Recherche Interdisciplinaire en Ecologie du Paysage et Environnement (GRIEPE), conjointement avec l'AGRAF (Systèmes agroforestiers en AFrique de l'Ouest). Ce projet est parti du constat que la partie soudanienne de la Côte d'Ivoire est actuellement sous l'emprise des vergers d'anacardiens dont l'extension a atteint 500% entre 2000 à 2018, au détriment des SAFs traditionnels. Face à ce changement rapide, les questions telles que i) le droit à la terre, ii) le rôle de la femme, iii) les services écosystémiques fournis par les SAFs traditionnels et les SAFs à anacardiens et iv) leurs services d'approvisionnement, notamment les cultures vivrières associées, surgissent.

Le projet comportait plusieurs volets dont celui dédié à la formation dans lequel s'inscrit la présente thèse. La problématique abordée est celle de la dynamique des types d'occupation du sol et de la variabilité climatique.

Ce travail a bénéficié de l'appui financier de l'Union Economique et Monétaire Ouest Africaine (UEMOA), à travers une bourse d'excellence octroyée au cours de la troisième année.

REMERCIEMENTS

La réalisation de cette thèse de Doctorat unique a été possible grâce au concours de plusieurs personnes physiques et morales. C'est donc un devoir pour moi de remercier toutes les personnes qui ont contribué à l'accomplissement de ce travail.

Je voudrais remercier l'équipe dirigeante de l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG) notamment la Présidente, Madame ADOHI Krou épouse Adjo Viviane, Professeur Titulaire, pour avoir accepté mon inscription dans cette institution.

J'exprime ma reconnaissance à Monsieur SORO Dogniméton, Professeur Titulaire, Vice-Président chargé de la Pédagogie, de la Recherche, de la Vie universitaire et de l'Innovation Technologique de l'UJLoG et à Monsieur KONE Issiaka, Professeur Titulaire, Vice-Président chargé de la Planification, de la Programmation et des Relations Extérieures de l'UJLoG pour avoir répondu favorablement à mes demandes, toutes les fois que je les ai sollicités.

Je dis sincèrement et respectueusement merci à Monsieur KOUASSI Kouakou Lazare, Professeur Titulaire, Directeur de l'Unité de Formation et de Recherche (UFR) en Environnement, pour tous les efforts qu'il ne cesse de fournir en vue de la bonne formation des étudiants. Je voudrais avoir l'honneur d'exprimer toute mon admiration pour l'esprit sympathique avec lequel bien que Directeur d'UFR, et malgré ses nombreuses charges administratives, il m'a toujours reçu.

Je suis reconnaissante envers Monsieur Béné Jean-Claude KOFFI, Professeur Titulaire, Responsable du laboratoire de Biodiversité et Ecologie Tropicale (BioEcoTrop), pour m'avoir accepté dans ce laboratoire.

Je remercie sincèrement Monsieur BARIMA Yao Sadaïou Sabas, Professeur Titulaire, Directeur de cette thèse, pour la confiance placée en moi et pour avoir financé les travaux de terrain. Homme de sciences, pétri d'une rigueur scientifique et d'une générosité légendaire, il fascine tout le monde scientifique en général et les passionnés de l'écologie végétale en particulier. J'ai appris dans « son école » des "modules" tels que la rigueur, le travail bien fait, l'humanisme, la passion de la transmission du savoir, l'excellence scientifique. Il reste pour moi un modèle.

Je voudrais réserver une mention spéciale et une sincère gratitude à Monsieur AKAFFOU Doffou Sélastique, Professeur Titulaire de Génétique, Anciennement Vice-Président chargé de la Planification, de la Programmation et des Relations Extérieures de l'UJLoG, pour sa rigueur,

sa compétence et sa totale disponibilité. Ses encouragements incessants ont été pour moi une source de motivation.

Je tiens à exprimer ma gratitude aux rapporteurs et examinateurs de cette thèse, pour leur contribution à l'amélioration de la qualité scientifique du document.

Je remercie Monsieur KOUADIO Zilé Alex, Maitres de conférences pour avoir mis à ma disposition les données climatiques des différentes zones d'étude.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude aux Docteurs BAMBA Issouf, SANGNE Yao Charles et KPANGUI Kouassi Bruno, N'GOURAN Kobenan Pierre, KOFFI N'Guessan Achille et KOUAKOU Akoua Tamia Madeleine épouse AT SIN, KOUAKOU Kouassi Apollinaire, ZANH Golou Gizèle, ASSALE Adjo Annie Yvette, KOUA Kadio Attey Noel et KOUMAN Kouame Jean-Marc, tous membres du Groupe de Recherche Interdisciplinaire en Ecologie du Paysage et Environnement (GRIEPE), pour leurs soutiens moral et financier ainsi que leurs conseils et critiques qui ont permis d'améliorer ce mémoire.

Je dis également merci à tous mes camarades doctorants du GRIEPE pour la bonne collaboration et le climat de convivialité toujours entretenu. Sans être exhaustif, KONAN Danmo Gislain et KONATE N'Golo trouvent ici l'expression de ma reconnaissance.

Je remercie vivement toutes les populations de Ouangolodougou, Tengréla et Tienko où se sont déroulés les travaux de cette étude. Elles m'ont témoigné leur confiance et m'ont consacré une partie de leur temps ; ce qui a permis le bon déroulement des travaux.

J'exprime ma profonde gratitude et ma reconnaissance à Monsieur KANATE Kassim et Monsieur DOSSO Mefa, pour leur soutien moral et financier tout au long de cette thèse.

Je suis reconnaissante envers mes frères et sœurs TIMITE, en particulier Yacou, Adama, Abou, Inza, Namory et Madjouma pour tous leurs soutiens et leurs encouragements reçus durant ce travail.

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

A - Botanique

Affinités chorologiques

GC : Taxon de la région Guinéo-congolaise (forêt dense humide)

GC-SZ : Taxon de la zone de transition entre les régions Guinéo-congolaise et Soudano -
Zambézienne

i : Taxon introduit ou cultivé

SZ : Taxon de la région Soudano-Zambézienne

Indices et coefficients de diversité

CS : Coefficient de Sørensen

D : Indice de diversité de Simpson

DBH : diameter at breast height (diamètre à hauteur de poitrine)

E : Indice d'équitabilité de Piélou

H' : Indice de diversité de Shannon

Types biologiques

MP : Mégaphanérophyte (taxon dont la hauteur est supérieure à 30 m)

mP : Mésophanérophyte (taxon dont la hauteur est comprise entre 8 et 30 m)

mp : Microphanérophyte (taxon dont la hauteur est comprise entre 2 et 8 m)

np : Nanophanérophyte (taxon dont la hauteur est comprise entre 0,25 et 2 m)

Th : Thérophyte

B - Télédétection et Système d'Information Géographique

ETM + : Enhanced Thematic Mapper Plus (Appareil de cartographie thématique amélioré)

GPS : Global Positioning System (Système Mondiale de Positionnement)

MIR : Moyen InfraRouge

OLI-TIRS : Operational Land Imager and Thermal Infrared Sensor (Imageur de terrain
opérationnel et capteur infrarouge thermique)

PIR : Proche InfraRouge

ROI : Region of interest (Region d'intérêt)

SIG : Systèmes d'Information Géographique

TM : Thematic Mapper (Appareil de cartographie thématique)

C - Méthode d'analyses statistiques

ACM : Analyse en Composantes Multiples

ACP : Analyse en Composantes Principales

AFM : Analyse Factorielle Multiple

ANOVA : Analysis of variance (Analyse de Variance)

CAH : Classification Ascendante Hiérarchique

D – Institutions et autres

2PAI-Nord CI : Pôle Agro-Industriel dans la région Nord de la Côte d'Ivoire

ANADER : Agence Nationale d'Appui au Développement Rural

ANAFE : Réseau Africain pour l'Education de l'Agriculture, l'Agroforesterie et la gestion des
Ressources Naturelles

ARECA : Autorité de Régulation du Coton et de l'Anacarde

BNETD : Bureau National d'Etudes Techniques et de Développement

CCA : Conseil du Coton et de l'Anacarde

CCI-CI : Chambre de Commerce et d'Industrie de Côte d'Ivoire

CCNUCC : Commission Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques

CECAF : Cabinet d'Etudes, Conseils d'Assistance et de Formation

CGES : Cadre de Gestion Environnementale et Sociale

CIRES : Centre Ivoirien de Recherches Economiques et Sociales

CRDI : Centre de Recherches pour le Développement International

EIES : Etude d'Impact Environnemental et Social

FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations

GES : Gaz à effet de serre

GIEC : Groupe d'Expert Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

GIZ : Coopération Technique Allemande (Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit)

ICRAF : International Centre for Research in Agroforestry (Centre International de Recherche
en Agroforesterie.

INS : Institut National de la Statistique (Côte d'Ivoire)

MINEDD : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable

OMM : Organisation Mondiale de la Météorologie

PAPSE : Projet d'Amélioration de la Prestation des Services dans l'Education

PNCC : Programme National Changement Climatique

PPCA : Promotion de la Compétitivité de la Chaîne de valeur de l'Anacarde

RAFT : Forum Régional Agricole pour l'Education

RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitat

SATMACI : Société d'Assistance Technique et de Modernisation de l'Agriculture

SECO : Société d'Exploitation COtonnière

Liste des sigles et abréviations

SODEFEL : Société pour le Développement des Fruits et Légumes

SODEFOR : Société de développement des forêts

SODEXAM : Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire Aéronautique et
Météorologique

SOVANORD : Société pour la Valorisation de l'Anacarde dans le Nord

LISTE DES TABLEAUX

| | Page |
|--|------|
| Tableau I : Caractéristiques des images Landsat utilisées | 40 |
| Tableau II : Indices d'évaluation de la qualité des images satellitaires classifiées | 63 |
| Tableau III : Matrice de confusions des images satellitaires classifiées de Tengréla | 65 |
| Tableau IV : Matrice de confusion des images satellitaires classifiées de Ouangolodougou .. | 66 |
| Tableau V : Matrice de confusion des images satellitaires classifiées de Tienko | 67 |
| Tableau VI : Superficies et taux de changement des types d'occupation du sol du département de Tengréla, Ouangolodougou et Tienko | 75 |
| Tableau VII : Matrice de transition des différents types d'occupation du sol du département de Tengréla sur les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2020..... | 77 |
| Tableau VIII : Matrice de transition des différents types d'occupation du sol du département de Ouangolodougou sur les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2020..... | 78 |
| Tableau IX : Matrice de transition des différents types d'occupation du sol de Tienko sur les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2020 | 79 |
| Tableau X : Changements opérés au sein des parcs agroforestiers au cours de la période 1990-2020 dans les localités de la zone d'étude. | 80 |
| Tableau XI : Richesse floristique des différents types d'occupation du sol..... | 86 |
| Tableau XII : Matrice de similarités floristiques de Jaccard entre les types d'occupation du sol | 100 |
| Tableau XIII : Valeurs propres des variables descriptives des types d'occupations du sol selon les axes de l'ACP | 103 |
| Tableau XIV : Corrélation des variables utilisées avec les principaux axes de l'ACP..... | 103 |
| Tableau XV : Caractéristiques floristiques des trois types de parcs agroforestiers issus de la Classification Hiérarchique Ascendante..... | 107 |
| Tableau XVI : Caractéristiques floristiques des trois types de plantations d'anacardiens issus de la Classification Hiérarchique Ascendante | 110 |
| Tableau XVII : Tests appliqués aux indices de pluie et de température à Ouangolodougou . | 115 |
| Tableau XVIII : Tests appliqués aux indices de pluie et de température à Tengréla..... | 116 |
| Tableau XIX : Tests appliqués aux indices de pluie et de température à Tienko | 116 |
| Tableau XX : Caractéristiques sociodémographiques des chefs d'exploitation agricoles dans les trois localités étudiées..... | 124 |

Liste des tableaux

| | |
|--|-----|
| Tableau XXI : Caractéristiques des exploitations agricoles dans les localités de la zone d'étude | 125 |
| Tableau XXII : Stratégies d'adaptation des agriculteurs à la variabilité climatique dans les localités de la zone d'étude..... | 132 |

LISTES DES FIGURES

| | Page |
|--|------|
| Figure 1 : Présentation des trois zones d'étude | 7 |
| Figure 2 : Diagrammes ombrothermiques des différentes localités d'études de 1990 à 2020 ... | 9 |
| Figure 3 : Systèmes agroforestiers et leurs fonctionnements | 19 |
| Figure 4 : Vue d'un parc agroforestier à <i>Vitellaria paradoxa</i> dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire | 21 |
| Figure 5 : Principe général de la télédétection | 29 |
| Figure 6 : Différentes étapes de la télédétection. | 31 |
| Figure 7 : Types d'adaptation des agriculteurs en fonction du niveau du changement climatique | 37 |
| Figure 8 : Extraction de la zone de Tengréla et identification des différents types d'occupation sur l'image de 2020 | 45 |
| Figure 9 : Installation d'une placette dans une plantation d'anacardiens à Tienko | 50 |
| Figure 10 : Mesure de la circonférence d'un arbre de <i>Parkia biglobosa</i> dans un parc agroforestier à Ouangolodougou..... | 50 |
| Figure 11 : Séance du questionnaire auprès des chefs d'exploitations agricoles..... | 61 |
| Figure 12 : Cartes d'occupation du sol du département de Tengréla de 1990 à 2020 | 69 |
| Figure 13 : Evolution des superficies des types d'occupation du sol de 1990 à 2020 dans le département de Tengréla..... | 70 |
| Figure 14 : Cartes des types d'occupation du sol de Ouangolodougou de 1990 à 2020 | 71 |
| Figure 15 : Evolution des superficies des types d'occupation du sol de 1990 à 2020 dans le département de Ouangolodougou..... | 72 |
| Figure 16 : Cartes des types d'occupation du sol de Tienko de 1990 à 2020..... | 73 |
| Figure 17 : Evolution des superficies des différents types d'occupations du sol de 1990 à 2020 dans le département de Tienko..... | 74 |
| Figure 18 : Cartes des changements des parcs agroforestiers et des plantations d'anacardiens de 1990 à 2020 à Tengréla, Ouangolodougou et Tienko | 81 |
| Figure 19 : Répartitions par famille botanique des individus ligneux des types d'occupation du sol inventoriés | 87 |
| Figure 20 : Comparaison de la richesse spécifique entre les trois types d'occupation du sol considérés dans les localités étudiées | 88 |

| | |
|---|-----|
| Figure 21 : Répartition des affinités chorologiques des espèces recensées en fonction des types d'occupation du sol..... | 89 |
| Figure 22 : Répartition des types biologiques en fonction des types d'occupation du sol..... | 90 |
| Figure 23 : Indices de diversité de Shannon dans les trois types d'occupation du sol inventoriés | 91 |
| Figure 24 : Comparaison des indices de l'équitabilité de Pielou entre les types d'occupation du sol considérés dans les localités d'étude..... | 92 |
| Figure 25 : Comparaison des indices de diversités de Simpson entre les trois types d'occupation du sol considérés dans les localités d'étude..... | 93 |
| Figure 26 : Surface terrière des ligneux dans les trois types d'occupation du sol inventoriés . | 94 |
| Figure 27 : Surface terrière de <i>Vitellaria paradoxa</i> dans les trois types d'occupation du sol inventoriés..... | 95 |
| Figure 28 : Surface terrière de <i>Parkia biglobosa</i> dans les trois types d'occupation du sol | 96 |
| Figure 29 : Densité des ligneux dans les trois types d'occupation du sol inventoriés | 97 |
| Figure 30 : Densité du <i>Vitellaria paradoxa</i> dans les trois types d'occupation du sol investigués | 98 |
| Figure 31 : Densité du <i>Parkia biglobosa</i> dans les trois types d'occupation du sol investigués | 99 |
| Figure 32 : Diagramme de distribution des individus ligneux en classes de diamètres selon le type d'occupation du sol..... | 100 |
| Figure 33 : Plan 1 et 2 de l'ACP réalisée sur les 241 placettes en fonction des indices de diversité floristique et structurale. | 102 |
| Figure 34 : Distribution dans les plans 1 et 2 de l'AFM des placettes de parcs agroforestiers et des espèces associées..... | 104 |
| Figure 35 : Classification Ascendante Hiérarchique des placettes de parcs agroforestiers.... | 105 |
| Figure 36 : Vue d'un parc agroforestier à <i>Vitellaria paradoxa</i> (karité) à Tengréla..... | 106 |
| Figure 37 : Vue d'un parc agroforestier à <i>Parkia biglobosa</i> (nééré) à Tengréla..... | 106 |
| Figure 38 : Distribution dans les plans 1 et 2 de l'AFM des placettes de plantations d'anacardiens et des espèces associées | 108 |
| Figure 39 : Classification Ascendante Hiérarchique des placettes de plantations d'anacardiens | 109 |
| Figure 40 : Vue d'un système agroforestier à anacardiens et Néré dans le département de Ouangolodougou | 110 |

| | |
|--|-----|
| Figure 41 : Evolution des hauteurs pluviométriques annuelles dans les trois localités étudiées de 1990 à 2020 | 115 |
| Figure 42 : Evolution de la durée de la saison culturale dans les trois localités étudiées de 1990 à 2020 | 117 |
| Figure 43 : Evolution du nombre de jours pluvieux dans les localités de la zone d'étude de 1990 à 2020 | 118 |
| Figure 44 : Evolution des séquences sèches dans les trois localités étudiées de 1990 à 2020 | 119 |
| Figure 45 : Evolution des températures maximales et minimales dans le département de Ouangolodougou de 1990 à 2020..... | 120 |
| Figure 46 : Evolution des températures maximales et minimales dans le département de Tengréla de 1990 à 2020..... | 121 |
| Figure 47 : Evolution de la température maximale et minimale à Tienko de 1990 à 2020.... | 122 |
| Figure 48 : Histogramme de la perception des manifestations de la variabilité climatique par les agriculteurs de la zone d'étude..... | 126 |
| Figure 49 : Histogramme du nombre d'années de la perception de la variabilité climatique par les agriculteurs de la zone d'étude | 127 |
| Figure 50 : Histogramme des causes de la variabilité climatique citées par les agriculteurs de la zone d'étude | 128 |
| Figure 51 : Impacts de la variabilité climatique dans les localités de la zone d'étude..... | 129 |
| Figure 52 : Vue d'un champ de maïs asséché à Tienko | 129 |
| Figure 53 : Aperçus de quelques stratégies d'adaptation des exploitants agricoles dans les trois localités étudiées | 131 |

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Modèle de la fiche de questionnaire des chefs d'exploitations agricoles

Annexe 2 : Modèle de fiche de relevés floristiques

Annexe 3 : Types d'occupation du sol discriminés

Annexe 4 : Liste des espèces inventoriées dans les différents types d'occupation du sol

INTRODUCTION

Les écosystèmes savanicoles revêtent une importance cruciale pour les populations rurales africaines pratiquant l'agriculture et l'élevage (Ouattara *et al.*, 2016 ; Ganamé, 2021). Ils fournissent des produits forestiers ligneux et non ligneux à des fins multiples (Nacoulma *et al.*, 2011). Cependant, les savanes connaissent des processus rapides de transformation des paysages ruraux et une dégradation des ressources naturelles. Plusieurs espèces à usages multiples sont surexploitées et par conséquent menacées d'extinction (Larwamou *et al.*, 2005 ; Mama *et al.*, 2013 ; Soulama *et al.*, 2015). De toutes les menaces, le changement dans le mode d'utilisation des terres est l'un des processus qui provoque une perte importante de la diversité et qui prend actuellement, une large place dans les savanes soudaniennes d'Afrique (Nacoulma *et al.*, 2011). Les conséquences sur la biodiversité et l'environnement de ces écosystèmes sont entre autres, la fragmentation du couvert végétal, une conversion du paysage forestier en monocultures de rente, l'accentuation des effets des changements climatiques et la diminution des ressources ligneuses et services écosystémiques (Davranche & Taïbi, 2015).

A l'image des autres régions de savanes soudaniennes d'Afrique, la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire, située à l'extrême Nord du pays, est dominée par des parcs agroforestiers. Ces parcs essentiellement constitués par le karité (*Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn.) et le néré (*Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don), sont très utiles pour les communautés rurales notamment les femmes vivant en milieu rural (Diarrassouba *et al.*, 2009). Les espèces d'arbres et d'arbustes conservées par les paysans fournissent des produits ligneux et non ligneux, dont les ménages tirent une part essentielle pour leur alimentation (Schroth *et al.*, 2000 ; Fifanou *et al.*, 2011 ; Barmo *et al.*, 2019). En outre, les parcs agroforestiers maintiennent la connectivité entre les différents habitats et constituent d'excellents refuges pour la biodiversité animale et végétale (Bhagwat *et al.*, 2008). Par ailleurs, plusieurs études ont montré que ces formations séquestrent le carbone selon leur niveau de complexité et contribuent ainsi à l'atténuation des effets du réchauffement climatique. L'importance des parcs agroforestiers pour la durabilité des moyens de subsistance, en particulier ceux des groupes vulnérables de la société, est ainsi de plus en plus reconnue par les décideurs politiques et la communauté scientifique (Faye *et al.*, 2010 ; Mapongmetsem *et al.*, 2011 ; Boffa, 2015 ; Seghieri & Harmand, 2019). Malgré leur grande importance écologique, sociale et économique depuis plusieurs générations, les parcs agroforestiers et les espèces essentielles qui les constituent sont en voie de dégradation, voire de disparition (Abegg *et al.*, 2006 ; Bayala *et al.*, 2011 ; Dan Guimbo *et al.*, 2011). Cette dégradation revêt un caractère complexe où se mêlent diverses influences, notamment celles d'ordre anthropique et climatique (Bengali, 2018). En effet, le changement des pratiques culturelles et l'occupation des espaces traditionnellement réservés aux parcs agroforestiers par

des monocultures de rente participent à la dégradation des ressources naturelles de ceux-ci (Louppe & Faidutti, 2000).

En effet, introduite en Côte d'Ivoire dans les années 1960 par l'Etat ivoirien dans le cadre du plan de reboisement de la zone savanicole et de lutte contre l'érosion (Rey, 1998), la culture de l'anacardier s'est considérablement développée ces dernières années dans le pays, principalement dans l'extrême nord du pays. Les surfaces cultivées, qui étaient de 8 000 ha dans les années 1960, sont passées à 400 000 ha en 2005 et à plus de 2 000 000 ha depuis 2020 (FAOSTAT, 2021). Actuellement, les plantations d'anacardiers sont omniprésentes dans la zone soudanienne ivoirienne et continuent à s'étendre à un rythme accéléré (Douffi *et al.*, 2020). La dynamique de ces plantations pourrait occasionner des conséquences diverses, notamment la conversion progressive des écosystèmes naturels dédiés à la conservation de la biodiversité locale vers des plantations de rentes monospécifiques (Diarrassouba *et al.*, 2009 ; Koulibaly *et al.*, 2016). Ce phénomène, d'un grand enjeu politique et économique, semble passer inaperçu aux yeux des autorités mais aussi des chercheurs qui ont peu étudié l'impact de la dynamique des plantations d'anacardiers sur les parcs agroforestiers de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire. En outre, le contexte climatique local est marqué par des incertitudes pluviométriques dans une zone où l'agriculture est, pour l'essentielle, pluviale. La préservation de la biodiversité et l'adaptation aux phénomènes des changements climatiques constituent donc un enjeu crucial pour les communautés locales.

Les questions qui émanent de ce constat sont (1) Comment évoluent les superficies des parcs agroforestiers et des plantations d'anacardiers dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire ? (2) les pratiques culturelles dans les plantations d'anacardiers entraîneraient-elles une diminution de la diversité floristique et la densité des espèces ligneuses de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire ? (3) comment évoluent les variables climatiques dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire ? (4) la mise en culture de l'anacardiers constituerait-elle une stratégie d'adaptation des exploitants agricoles de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire face aux impacts de la variabilité climatique ?

Dans ce contexte, les hypothèses qui sous-tendent la présente étude stipulent que (1) l'expansion des plantations d'anacardiers dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire a entraîné la régression des superficies des parcs agroforestiers. (2) les pratiques culturelles dans les plantations d'anacardiers ont occasionné une dégradation de la diversité floristique et de la structure diamétrique des espèces ligneuses de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire. (3) la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire est confrontée à une forte variation pluviométrique et

thermique. (4) les exploitants agricoles ont adopté la culture d'anacardiers afin de s'adapter aux impacts des variables climatiques.

L'objectif général de la présente étude vise à améliorer la contribution des parcs agroforestiers dans la préservation de la biodiversité et le renforcement de la qualité de vie des populations locales de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire. Comme objectifs spécifiques définis, il s'est agi de :

- déterminer les dynamiques spatiotemporelles des types d'occupations du sol de 1990 à 2020 dans trois localités de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire;
- évaluer les impacts des plantations d'anacardiers et des parcs agroforestiers sur la diversité floristique et la structure diamétrique de la végétation arborescente dans les trois localités de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire;
- déterminer la dynamique des variables climatiques de 1990 à 2020 dans les trois localités de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire;
- identifier les stratégies d'adaptation des exploitants agricoles à la variabilité climatique dans les trois localités de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire.

Le présent manuscrit est organisé en trois parties. La première partie, intitulée généralités, présente la zone d'étude, les grands traits physiques de la zone d'étude et définit des concepts clés abordés par l'étude. La deuxième partie expose le matériel utilisé et les méthodes de collecte et de traitement des données. La troisième partie présente les résultats obtenus suivis de leur discussion. Le document se termine par une conclusion suivie de perspectives et de recommandations.

PARTIE I : GENERALITES

Chapitre 1 : Présentation de la zone phytogéographique soudanienne

1.1 Zone soudanienne d’Afrique de l’Ouest

La zone soudanienne d’Afrique de l’Ouest s’étend sur le Nord de la Côte d’Ivoire, le Centre-Sud du Sénégal, le sud du Burkina Faso, le Togo, le Sud du Mali, le Sud du Niger, Le Nord du Bénin, de la Gambie, du Ghana, de la Guinée et du Nigeria (Koïta, 1998 ; Hountoudji, 2008 ; Timite *et al.*, 2022 ; Tarama *et al.*, 2023). Elle couvre une superficie de 3,7 millions de km². Le climat est de type tropical à une saison sèche bien marquée et une saison pluvieuse. On constate une hausse de la pluviométrie annuelle du Nord au Sud (de 400 à 1 300 mm). Le climat dans cette zone est chaud et sec. Quant à la végétation, elle est représentée par les forêts denses sèches, les forêts claires à *Isobertinia doka* Craib & Stapf, *Terminalia avicennioides* Guill. & Perr., *Terminalia laxiflora* Engl. et *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn., les forêts claires indifférenciées, les savanes boisées à *Terminalia schimperiana* Hochst., *Terminalia macroptera* Guill. & Perr, *Borassus aethiopum* Mart., *Mitragyna inermis* (Willd.) Kuntze, les savanes arborées, les jachères à rejets de souche (*Combretum* spp.) et les savanes herbacées à *Hyperthelia dissoluta* (Nées ex Steud.) W.D. Clayton et *Brachiaria jubata* (Fig. & De Not.) Stapf. (Guillaumet & Adjanohoun, 1971). Plusieurs facteurs influencent la végétation dans la zone soudanienne : l’homme, les feux de brousse, la dispersion des poussières terrigènes et des cendres, l’harmattan (Monnier, 1981). Même s’il est d’origine anthropique, le passage annuel des feux de brousse peut être considéré comme un facteur essentiel conditionnant les processus écophysologiques dans cette zone. Les sols sont généralement de type ferrallitiques ou ferrugineux tropicaux (Duchaufour, 1970). Ce sont essentiellement des sols profonds, sablo-argileux, acides, pauvres en bases échangeables (Adjanohoun, 1964, Guillaumet & Adjanohoun, 1971).

1.2 Zone soudanienne de la Côte d’Ivoire

1.2.1 Situation géographique

La zone soudanienne de la Côte d’Ivoire est située à l’extrême Nord du pays entre 9°20’0” et 10°60’0” de latitude Nord et 2°5’0” et 7°30’0” de longitude Ouest (Figure 1). Elle occupe une superficie de 12 911 km² (Fra, 2010). Plusieurs départements se partagent cet espace phytogéographique. La présente étude s’est déroulée dans trois d’entre eux à savoir Tengréla (10°10’0”- 10°50’0” latitude Nord et 6°10’0”-6°40’0” longitude Ouest), Ouangolodougou

(09°40'0"- 10°20'0" latitude Nord et 5°0'0"-5°40'0" longitude Ouest) et Tienko (10°0'0"- 10°25'0" latitude Nord et 7°20'0"-7°40'0" longitude Ouest).

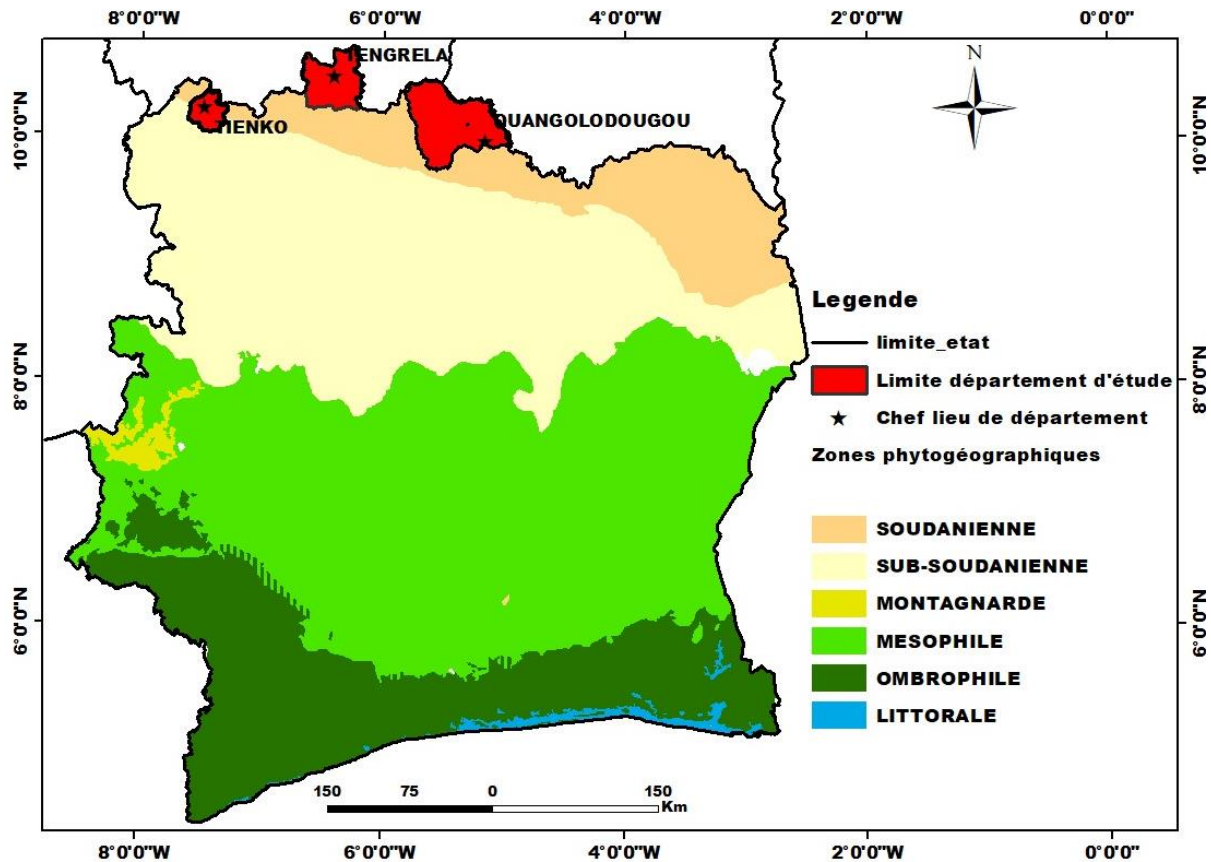


Figure 1 : Présentation des trois zones d'étude (Source : Map of Côte d'Ivoire modifié)

1.2.2 Climat

La zone soudanienne de la Côte d'Ivoire appartient à la zone tropicale sèche. Il s'agit de la partie la plus sèche de la Côte d'Ivoire (Le guen, 2004). Elle est dominée par un climat de type soudanien (semi-aride) qui, tout en s'étendant au Sud du Mali et du Burkina Faso, constitue la limite nord du climat sahélien (Eldin, 1971 ; Guinko, 1984 ; Yao *et al.*, 2021). Par ailleurs, elle subit l'influence continentale de l'harmattan, un vent chaud et sec en provenance du Sahara (Boko *et al.*, 2016) caractérisée par un déficit hydrique supérieur à 500 mm du fait d'une évapotranspiration plus élevée (MINESUDD, 2015). La pluviométrie annuelle dans cette zone est comprise entre 400 mm et 1200 mm par an. En ce qui concerne la température, la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire est soumise à une température moyenne variant de 22° C à 31 °C (MINEDD, 2020).

La figure 2 présente l'évolution mensuelle de la pluviométrie et de la température au cours des trois dernières décennies dans les trois localités d'étude. Cette période est caractérisée

par une unique saison pluvieuse qui s'étend d'avril à septembre à Ouangolodougou et d'avril à octobre à Tengréla et Tienko. Pour ce qui est de la saison sèche, elle part d'Octobre à mars à Ouangolodougou de novembre à mars à Tengréla et Tienko. Le mois d'août est le mois le plus pluvieux avec une pluviométrie moyenne mensuelle de 212,6 mm à Ouangolodougou, 302,5 mm à Tienko et 278,7 mm à Tengréla. Quant à la température, la plus élevée a été enregistrée au mois de mars avec une température de 30,1 °C à Ouangolodougou et 29,1 °C à Tienko. A Tengréla, la température la plus élevée est enregistrée pendant le mois de février avec 30,8 °C.

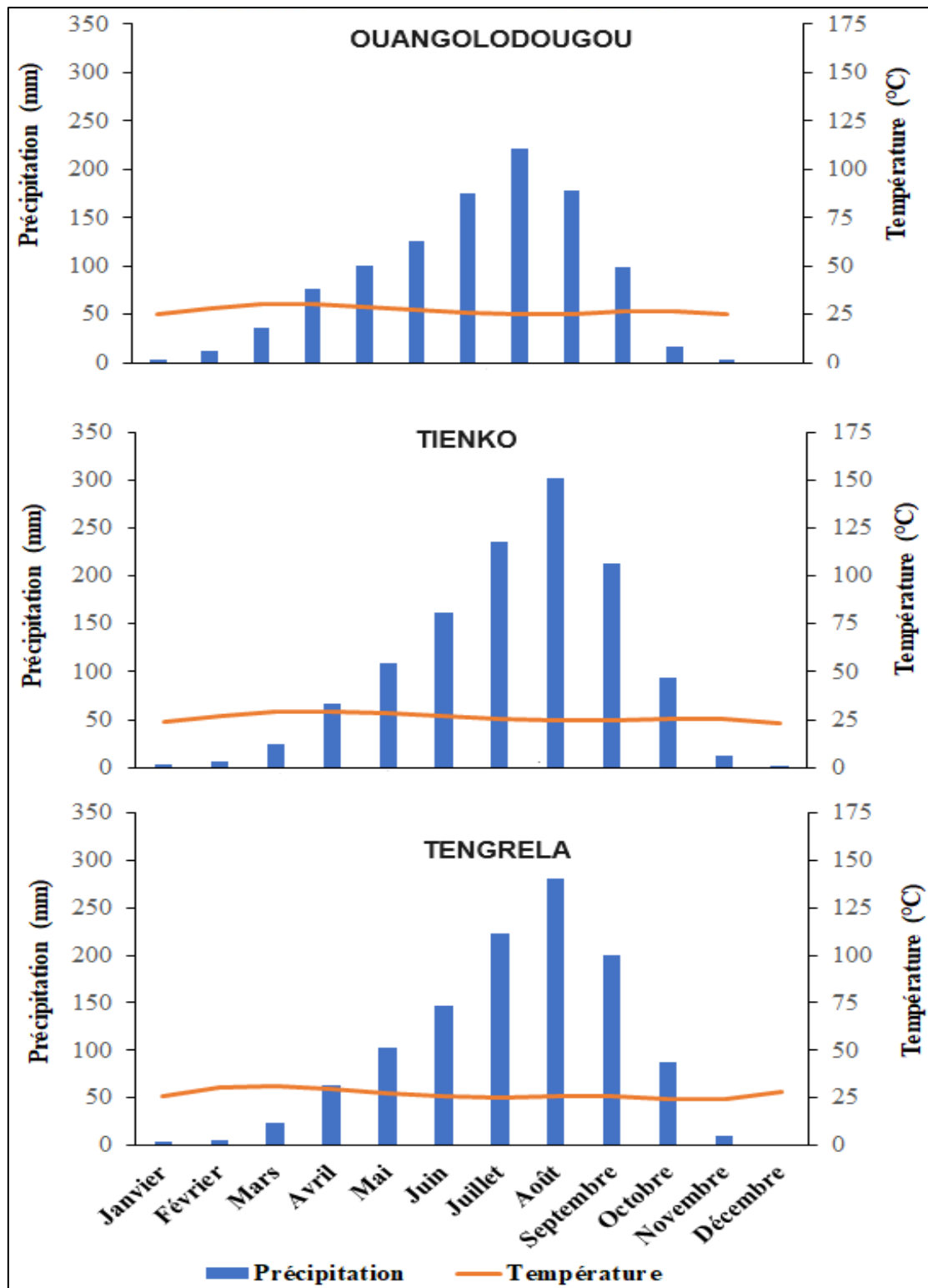


Figure 2 : Diagrammes ombrothermiques des différentes localités d'études de 1990 à 2020
 Source des données : SODEXAM et <http://power.larc.nasa.gov>

1.2.3 Hydrographie et hydrologie

Le réseau hydrographique de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire est essentiellement constitué des affluents des fleuves Niger et Comoé (SCN, 2010). Le département de Ouangolodougou est drainé par le fleuve Comoé et ses affluents (CGES, 2016). Dès 1960, dans le souci d'assurer l'alimentation en eau des populations, l'agriculture et l'élevage dans le Nord de la Côte d'Ivoire, le Gouvernement ivoirien a favorisé et financé l'implantation de quinze barrages agropastoraux dans les bas-fonds, notamment, à Ouangolodougou (Le Guen & de Morais, 2001). Hormis le fleuve Comoé, les autres cours d'eau sont intermittents et tarissent en saison sèche. Il existe aussi de nombreuses zones humides comme les mares et les marécages qui ne subsistent qu'en période pluvieuse (Yao *et al.*, 2021).

Le département de Tengréla est drainé par la rivière Bagoué, un sous-affluent du Niger (Miessan *et al.*, 2009). Elle est longue de 230 km en Côte d'Ivoire et se classe parmi les cours d'eau les mieux alimentés du pays. Son principal affluent est le Niangboué (Avenard *et al.*, 1971) et ses affluents secondaires sont le Labouoni, le Fintoue, le Fouahen et le Tchaloui. La Bagoué, de par son régime tropical de transition, sa pluviométrie assez élevée, son relief marqué et sa végétation de savane boisée, présente des crues aiguës (Avenard *et al.*, 1971). Elle comporte généralement une crue unique en août, septembre, octobre, suivie d'un tarissement rapide en novembre et décembre, puis d'une longue période de basses eaux de janvier à mai, pendant laquelle le débit tombe à une très faible valeur.

Le département de Tienko est drainé également par le fleuve Niger qui présente trois sous-bassins versants, à savoir le Kouroukélé, le Baoulé, le Mahandiabani. Ces cours d'eau ont de nombreux méandres sur une grande partie de leur cours. Cependant, ils connaissent de janvier à mai, un tarissement rapide à débit d'étiage faible ou nul pour les rivières principales et un tarissement total pour les rivières secondaires. Les plaines alluviales inondables sont abondantes le long de ces cours d'eau sinueux (EIES, 2016a).

1.2.4 Relief

Le relief de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire est dominé dans l'ensemble par des plateaux tabulaires inclinés allant de 300 à 500 m d'altitude (Avenard, 1971 ; CGES, 2016). La roche-mère est constituée de granites calco-alcalins du précambrien. L'élément dominant des plateaux est constitué par une cuirasse ferrugineuse visible en surface sous forme de dalles de teinte rouille, mais parfois voilées de sables, de gravillons ou de produits plus fins (SNC, 2010). De ces plateaux émergent également des collines qui se groupent en chaînons ou barres, buttes

souvent tabulaires coiffées de cuirasses ferrugineuses (Avenard, 1971 ; CGES, 2020). Hormis cet aspect général, chacun des trois départements a ses particularités. Ainsi, situé à une altitude moyenne de 300 m, le département de Ouangolodougou a un relief monotone interrompu par les inselbergs qui constituent soit des alignements de collines, soit des petites montagnes tabulaires. Il est également constitué de vallons larges en zones granitiques et plus étroits en zones schisteuses. Le mont Badiakourou avec 401 m d'altitude est le plus élevé du département de Ouangolodougou (Yao *et al.*, 2021). En ce qui concerne le département de Tengréla, il est situé sur un relief peu contrasté d'un ensemble de plateaux et de buttes cuirassées à leur sommet (Avenard, 1971 ; Yao *et al.*, 2021). Enfin, la zone de Tienko est majoritairement constituée de hauts plateaux de 500 à 700 mètres d'altitude. Ces hauts plateaux couvrent la quasi-totalité de la région du Folon à laquelle appartient Tienko et la partie Nord-Ouest et Est de la région du Kabadougou (EIES, 2016a).

1.2.5 Sols

La qualité des sols dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire est très importante pour la population qui est essentiellement paysanne. Ainsi, la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire se caractérise par des sols ferrallitiques moyennement désaturés, ferrugineux et hydromorphes (Perraud, 1971 ; Ouattara *et al.*, 2016 ; N'Guessan *et al.*, 2019). On note la prédominance des sols remaniés modaux issus de granites ou de schistes, des sols typiques modaux remaniés et appauvris issus de granites, des sols remaniés ou typiques rajeunis et enfin des sols bruns issus de roches basiques (Perraud, 1971). De par leur nature, les sols de cette zone sont favorables aux cultures vivrières, au coton et aux cultures pérennes comme l'anacardier et le manguier. Le principal facteur limitant est l'alimentation en eau des plantes car le point de flétrissement de ces sols est élevé (Perraud, 1971). A Tienko, les sols sont de types ferrallitiques (plus de 75 %) indurés, peu profonds et fortement désaturés. Les sols hydromorphes sont moins fréquents (8 à 10 %). On rencontre également les sols minéraux bruts et les sols peu évolués (EIES, 2016b). Dans cette localité, les sols remaniés modaux sont moyennement gravillonnaires, leurs propriétés physiques sont médiocres à moyennes. Les sols remaniés/colluvionnés sont assez fréquents. Bien que les propriétés chimiques soient plus faibles, le potentiel de fertilité reste moyen à médiocre. A Ouangolodougou et à Tengréla, les sols sont moyennement à faiblement désaturés (Dabin *et al.*, 1960 ; Perraud, 1971). Les sols remaniés/modaux issus de schistes sont très gravillonnaires, mais ont une teneur élevée en argile, le potentiel de fertilité est moyen à médiocre.

1.2.6 Végétation et flore

Les travaux de Guillaumet & Adjanohoun (1971) indiquent que la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire est composée de forêts claires, de forêts galeries et de savanes (boisée, arborée, arbustive et herbeuse). Les savanes arborées représentent la matrice du paysage de la zone, avec 60 % du paysage naturel. Elles sont suivies des savanes arbustives qui représentent environ 33 % du paysage. Les savanes herbeuses, boisées et les forêts sont minoritairement représentées dans le paysage naturel de la zone soudanienne. La végétation est riche en essences forestières avec une composition floristique variée. Les espèces les plus répandues sont *Isobertia doka* Craib & Stapf, *Uapaca togoensis* Pax, *Daniellia oliveri* (Rolfe) Hutch. & Dalzie, *Cussonia arborea* Hochst. Ex A. Rich., *Vitex doniana* Sweet, *Hymenocardia acida* Tul., *Combretum* sp et *Terminalia macroptera* Guill. & Perr. Pour la strate herbacée, on a *Andropogon tectorum* Schum. & Thonn. et *Hyparrhenia chrysargyrea* (Stapf) Stapf. Aujourd'hui, certaines espèces font l'objet d'une intense exploitation dont les plus répandus sont le karité (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn.), le Néré (*Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don) le Baobab (*Adansonia digitata* Linn), le Fromager (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.), le Tamarinier (*Tamarindus indica* Linn), le bois de vène (*Pterocarpus erinaceus* Poir), etc. (Boffa, 2000 ; Fandohan, 2011 ; Camara, 2018).

1.2.7 Faune

La faune de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire est riche et très diversifiée. La faune terrestre du département de Ouangolodougou se compose d'antilopes, d'éléphants, de buffles, de phacochères, de biches, de singes, de reptiles (vipère, mamba vert, python, varan) et de rongeurs tels que l'aulacode, l'écureuil, le rat palmiste, l'athérure, le porc-épic, la civette et la mangouste. Quant à la faune aérienne, elle est composée de diverses espèces d'oiseaux (Bellier *et al.*, 1968 ; Yao *et al.*, 2021). Dans le département de Tengréla, on trouve les cobs de buffon, les cobs de faussa, les cynocéphales, les panthères, les phacochères ainsi que l'hippopotame (Yao *et al.*, 2021). A Tienko, on rencontre de nombreux babouins, des phacochères, des perdrix ainsi que des antilopes (EIES, 2016a). Cependant, la plupart des espèces fauniques de l'ensemble de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire est menacée de disparition à cause des feux de brousse qui dévastent la végétation chaque année, sans oublier les activités de chasses non contrôlées des braconniers. L'effet destructeur du feu (direct ou indirect), surtout incontrôlé, est très important sur la faune, particulièrement sur les grands mammifères (Landrot & Dufour, 2015). Les mammifères les plus exposés à la chasse et au braconnage sont les

aulacodes, les pangolins, les athérures, les porcs-épics, les phacochères, les biches, les civettes, les mangoustes, les écureuils et les singes (RCI, 2014).

1.2.8 Aspects démographiques

La densité de la population est, en moyenne, assez faible dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire par rapport au reste du pays. La population est essentiellement rurale et composée d'autochtones (Sénoufo, Gbin et Malinké) qui cohabitent avec beaucoup d'autres communautés d'origines étrangères, composées essentiellement de maliens, de burkinabès, de mauritaniens et de nigériens (Yao *et al.*, 2021). Le département de Ouangolodougou abrite 82 801 habitants avec 54,2 habitants/km² (RGPH, 2021). En plus du peuple Sénoufo, on y trouve le peuple Gbin venus de la localité de Banfora dans le Sud du Burkina Faso. Ce dernier s'est installé au Nord de la sous-préfecture de Ouangolodougou en s'étalant progressivement vers les sous-préfectures de Diawala et Niellé. Les Gbins, à l'instar des Sénoufos, sont majoritairement animistes. Quant au département de Tengréla, il abrite 92 454 habitants avec en moyenne 40,3 habitants/km² (RGPH, 2021). La population est dominée par les autochtones Sénoufo en majorité animistes et les Malinkés musulmans. Ces populations sont majoritairement rurales et vivent de l'agriculture pluviale. Enfin, le département de Tienko est peuplé de 19 862 habitants avec en moyenne 13,22 habitants/km² (RGPH, 2021). On y trouve majoritairement le peuple Malinké musulmans.

1.2.9 Activités socio-économiques des populations

Les activités économiques de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire sont basées en priorité sur l'agriculture de type pluviale, pratiquée par la quasi-totalité des populations avec une large part accordée aux cultures vivrières et pérennes. L'élevage, surtout des bovins, se présente comme une activité secondaire. En dehors de ces deux activités, les populations de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire exercent dans le commerce et l'orpaillage qu'ils pratiquent de façon clandestine (Koné, 2017 ; Yao *et al.*, 2021).

1.2.9.1 Agriculture

1.2.9.1.1 Cultures de rente

L'économie de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire repose essentiellement sur l'agriculture (Nassa, 2005 ; Bassett, 2017). Elle porte principalement sur les cultures de rente : coton, anacarde et mangue (Ruf *et al.*, 2019). En effet, le coton est depuis des décennies la principale source de revenu pour les populations paysannes de la zone. Cette culture joue un

rôle particulièrement important dans le développement rural de cette région (Koné, 2017 ; Bassett, 2002). A la fin des années 1990, le coton représentait le poumon de l'économie de la région des savanes avec 10 % des exportations du pays (Kockmann, 2009). La culture du coton se fait en association avec les cultures vivrières comme le maïs, le mil, le sorgho, etc. Dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire, les planteurs de coton sont fortement organisés en coopérative et sont encadrés, par ailleurs, par des sociétés agronomiques spécialisées telles que la SECO-OLAM (Société d'Exploitation Cotonnière) ou la société Ivoire Coton (Durrieu *et al.*, 2015). À partir de 1994, la hausse du prix de la noix de cajou et la stagnation du prix du coton ont entraîné le développement de la culture de l'anacardier. Aujourd'hui, le secteur de l'anacarde est le plus dynamique dépassant la culture d'exportation traditionnelle qu'est le coton en termes de volumes de production et de recettes d'exportation (Koffi & Oura, 2019). Au cours de la campagne 2020/2021, la production nationale du coton était estimée à 558 000 tonnes (CCIC, 2021) et celle de l'anacarde à près de 800 000 tonnes (FAOSTAT, 2021). Quant au manguier, il constitue la troisième culture moderne pratiquée dans la zone. Sa culture concerne généralement des plantations individuelles ne couvrant que quelques hectares. En 2021, la production de mangue a été estimée à près de 180 000 tonnes (COLEACP, 2021 ; Yao *et al.*, 2021).

1.2.9.1.2 Cultures vivrières et maraichères

Les populations de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire s'intéressent beaucoup aux cultures vivrières représentées majoritairement par le riz et le maïs. Ces cultures sont produites par les femmes et sont destinées à l'autoconsommation puis assurent la sécurité alimentaire et nutritionnelle. Cependant, une quantité relativement importante est commercialisée (Koné *et al.*, 2018). Les cultures maraichères sont essentiellement pratiquées sur les périmètres irrigués via les retenues d'eau existantes et parfois dans les zones de bas-fond (Yao *et al.*, 2021). C'est une activité majoritairement exercée par les femmes de ces localités. (Dro *et al.*, 2013).

1.2.9.2 Elevage

L'activité pastorale est exercée comme une activité secondaire dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire et est essentiellement dominée par l'élevage de bovins (Ouattara, 2001). L'élevage est pratiqué de façon traditionnelle, particulièrement, par les allogènes peulhs venus du Mali et le Burkina Faso (Le Guen, 2004 ; Cecchi, 2007). Ainsi chaque année, de nombreux troupeaux effectuent la transhumance dans cette zone. La transhumance et les déplacements permanents des troupeaux de bœufs ont des conséquences néfastes sur la végétation ligneuse et

constituent une menace pour les cultures (Ouattara, 2001). Cela provoque régulièrement des tensions entre cultivateurs et éleveurs (Bernadet, 1986 ; Ancey, 1996 ; Yoman, 2016). Outre les allogènes, de plus en plus d'autochtones s'intéressent à l'élevage. Ils disposent de quelques têtes de bétails qu'ils confient à des bouviers. Ces bœufs sont surtout utilisés les cultures attelées. Les pratiques d'intégration de l'agriculture et de l'élevage se sont très vite développées dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire. Pour les agriculteurs locaux, les bœufs ont des effets bénéfiques sur l'environnement comme l'entretien de la fertilité des sols par la fumure et les labours (traction attelée), la valorisation de sous-produits agro-industriels qui seraient autrement brûlés ou simplement abandonnés dans des décharges (Avit *et al.*, 1999). En plus de son importance dans la production agricole, le bétail contribue également à satisfaire les besoins en protéine animale des populations locales.

1.2.9.3 Commerce

En raison de sa proximité avec les frontières maliennes et burkinabès, la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire joue un rôle important dans les échanges de marchandises entre la Côte d'Ivoire et ses pays voisins. Les hommes exercent la vente de produits agricoles, en particulier de rente et le détail des marchandises d'importation, ainsi que de certains produits agricoles comme l'igname. Les femmes, quant à elles, exercent dans la vente au détail des produits agricoles et de certaines marchandises de première nécessité. Les produits échangés sont composés de l'arachide, des maraîchers, des mangues, du riz, du maïs, du sorgho, du mil, de l'igname, des graines transformées de néré (moutarde de *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don) et de karité (beurre de *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn.) (Nassa, 2005 ; Yao *et al.*, 2021). Toutefois, en milieu rural, la plupart de ces produits agricoles sont d'abord destinés à l'autoconsommation ; seul le surplus est vendu.

1.2.9.4 Orpillage

Le sous-sol de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire renferme de l'or. En 2015, un site officiel d'extraction d'or a été ouvert à Sissingué (Tengréla) par les autorités ivoiriennes (EIES, 2016b ; Koné, 2017). Cependant, la majorité des exploitations d'or de cette zone se fait de façon artisanale faisant d'elle l'un des plus grands foyers d'extraction artisanale clandestine (CIRES, 2022). De nombreux migrants à la recherche de l'or sont enregistrés chaque année (Konan, 2019). L'orpillage clandestin est majoritairement exercé par les jeunes, motivés par le gain rapide d'argent (Koné, 2017). L'orpillage générerait, pour ceux qui s'y adonnent, d'importants gains financiers (20 000 FCFA/gramme d'or, soit 20 millions CFA/kg). Dans le

département de Tengréla, les activités d'orpaillage sont menées le long des cours d'eau, notamment la rivière Bagoué. Pourtant, l'orpaillage n'est pas sans incidence néfaste aussi bien sur les populations locales que sur l'environnement. On observe, par exemple, dans les villages environnants les sites d'orpaillage tels que Papara et Tiongoli, la destruction des parcelles dédiées aux cultures et à la végétation, la pollution des sols et de l'eau, l'insécurité, le trafic et la consommation de drogues ainsi que la propagation des maladies sexuellement transmissibles (EIES, 2016b ; CIREs, 2022).

1.2.9.5 Autres activités

En plus du commerce, l'orpaillage, l'agriculture et l'élevage, d'autres activités annexes sont pratiquées par les populations de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire. Les plus importantes sont la cueillette (de noix de karité, de gousses de néré, de tamariniers et de fruits de baobab), l'artisanat (qui regroupe la forge, le tissage, la poterie), le travail du bois et le transport (EIES, 2016b ; CIREs, 2022).

Chapitre 2 : Systèmes agroforestiers en zone tropicale

2.1 Définition de l'agroforesterie

L'agroforesterie est née de l'interface entre l'agriculture et la sylviculture afin de répondre aux besoins et conditions pédoclimatiques particulières. Il s'agit d'un amalgame de plusieurs disciplines, à savoir la foresterie, l'agronomie, l'écologie, la pédologie, l'élevage, l'aquaculture et les pêcheries, la gestion du territoire ainsi que l'économie et la sociologie (Alexandre, 2002). Cette multidisciplinarité de l'agroforesterie complique sa définition étant donné les différents points de vue possibles selon le domaine de recherche. Plusieurs définitions de l'agroforesterie existent (Alexandre, 2002 ; Torquebiau, 2002). Cependant, elles ont évolué au gré des enjeux socio-économiques et environnementaux. Le terme « agroforesterie » aurait été formulé pour la première fois en 1971 par Joseph H. Hulse, alors qu'il menait des études sur la foresterie sociale en Afrique pour le compte du Centre de recherches pour le développement international (CRDI). L'agroforesterie a ainsi été décrite comme étant un système contrôlé de la combinaison d'arbres avec d'autres cultures et élevages qui offre l'opportunité d'accroître l'approvisionnement alimentaire pour les humains et les animaux (Hulse & Pearson, 1979). Cependant, cette définition de l'agroforesterie demeure assez ambiguë, car elle ne permet pas de distinguer nettement l'agroforesterie des autres pratiques agricoles qui sont elles aussi des systèmes contrôlés ayant pour but d'assurer l'approvisionnement en nourriture.

La véritable entrée de l'agroforesterie dans le monde scientifique s'est faite avec la création de l'International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF) en 1977. Ainsi, Lundgren & Raintree (1982) définissent l'agroforesterie comme étant un terme collectif pour désigner des systèmes de cultures et des technologies où des ligneux pérennes (arbres, buissons, etc.) sont délibérément associés sur une même parcelle à des cultures et/ou de l'élevage dans un quelconque arrangement spatial ou temporel. Cette définition est relativement complète et met l'accent sur les interactions biologiques entre des composantes de l'environnement qui sont associées de façon judicieuse dans le temps et dans l'espace. Ces chercheurs emploient premièrement, l'indication « terme collectif » qui appuie la pluralité des formes agroforestières à travers le monde. Deuxièmement, l'agroforesterie semble permettre « un quelconque arrangement spatial ou temporel ». Troisièmement l'emploi du terme pérennité rappelle que, par nature, les ligneux connaissent une croissance longue (bien supérieure aux cultures végétales annuelles ou aux cycles d'élevage), mais aussi qu'un système agroforestier réclame

une présence prolongée des arbres (mise en place d'un écosystème, effets de résilience attendus). Enfin, l'agroforesterie est présentée comme « délibérée », elle est un choix d'agriculture. Cela sous-entend la multifonctionnalité des systèmes agroforestiers et leur diversité. Selon Nair (1993), l'agroforesterie consiste en l'association délibérée d'arbres à des cultures végétales et/ou à des élevages, sur une même parcelle ou sous toute autre forme d'arrangement spatial ou temporel, et dont les interactions (écologiques et/ou économiques) entre les composantes arborées et non arborées sont significatives. L'intégration peut être faite, soit selon une association spatiale (par exemple, les cultures agricoles avec les arbres forestiers), soit selon une séquence temporelle (par exemple, les jachères améliorées, les rotations). Cette définition paraît plus complète et s'insère mieux dans le cas de l'agroforesterie dans de nombreux pays tropicaux (Dupriez & de Leener, 1993). Dans ces pays, l'agroforesterie est, en effet, omniprésente et fait vivre près d'un milliard d'habitants. Les arbres qui se trouvent dans les systèmes de culture ont des usages multiples dont la fourniture de produits tels que : le bois, la nourriture, les médicaments, les fibres, le fourrage, la résine, le latex, le tannin, etc. On en utilise les feuilles, le tronc, les fruits, mais aussi les racines, les branches, les fleurs (Zanh *et al.*, 2019). Par ailleurs, les arbres protègent le sol de l'érosion, en améliorent la fertilité, procurent de l'ombre aux plantes qui ne supportent pas le plein soleil ainsi qu'aux hommes et animaux, diminuent les effets néfastes du vent, retiennent l'humidité. Ils sont aussi un symbole de statut social et permettent de visualiser les limites des champs ou de marquer la propriété d'un terrain (Vergara, 1987 ; Tassin, 1990 ; Bahri, 1992).

2.2 Classification des systèmes agroforestiers

Un système agroforestier est considéré comme un ensemble de composantes interdépendantes, ligneux, cultures annuelles, cultures pérennes, animaux, représentant un type courant d'utilisation des terres dans un espace donné (Mary & Besse, 1996). Il existe plusieurs classifications des systèmes agroforestiers dû à leur grande diversité allant des systèmes très simples qui reposent sur quelques espèces (cultures vivrières, avec conservation de quelques arbres seulement) ou extrêmement complexes, avec plusieurs dizaines d'espèces utiles, systèmes alternatifs intéressants pointés par de nombreux travaux. Les systèmes agroforestiers diffèrent par la nature des composantes associées aux plants forestiers, la manière de planter (combinaison simultanée ou séquentielle), la distribution spatiale et la densité des arbres (Torquebiau, 2002). Cependant, la classification la plus simple des systèmes agroforestiers se base sur la nature de leurs composantes. Les trois composantes principales retrouvées en

agroforesterie sont la strate arborée, les cultures agricoles et les animaux d'élevage. Ainsi, quatre principaux systèmes agroforestiers existent, selon le type d'association entre ces différentes composantes (Nair, 1985 ; Torquebieu, 2002 ; Alexandre, 2002) à savoir : l'agrosylviculture, le sylvopastoralisme, l'agrosylvopastoralisme et l'apisylviculture (Figure 3).

L'agrosylviculture désigne les systèmes qui favorisent la juxtaposition des arbres, selon différentes répartitions spatiales et temporelles, dans des cultures agricoles qui sont supportées par des terres arables. Ces systèmes visent surtout l'amélioration de la qualité des sols (matière organique et nutriments) et des conditions microclimatiques pour la maximisation des rendements agricoles.

Le sylvopastoralisme désigne les systèmes qui assurent la cohabitation des arbres et des animaux domestiques (élevage) dans des pâturages. Ces systèmes visent à maximiser autant la production du bois que du fourrage. Il assure aussi des conditions de croissance adéquates pour les animaux domestiques par les arbres. Dans certains cas, on utilise des espèces d'arbres qui peuvent produire directement du fourrage pour les animaux.

L'agrosylvopastoralisme désigne, comme son nom l'indique, les systèmes similaires à ceux du sylvopastoralisme, mais qui assurent en même temps une certaine culture agricole. C'est donc un type agroforestier qui se caractérise par une structure systémique assez complexe, sollicitant plusieurs interactions entre les différentes composantes.

Enfin, il existe d'autres systèmes tels que l'apisylviculture, mais aussi des systèmes plus simples comme les haies brise-vent utilisées pour réduire l'érosion et la vitesse du vent.

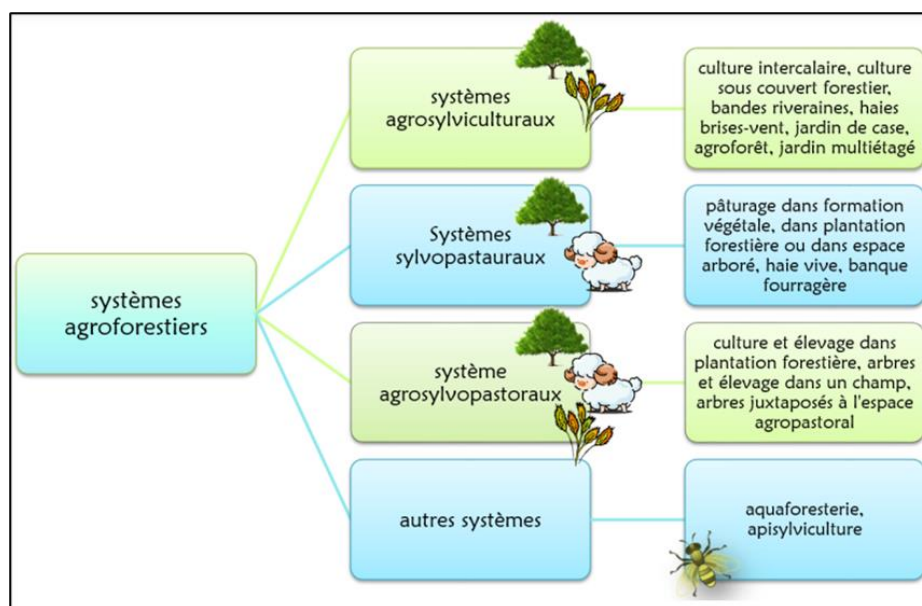


Figure 3 : Systèmes agroforestiers et leurs fonctionnements (Young, 1989)

Les différents systèmes agroforestiers à travers le monde offrent des avantages environnementaux importants. En Afrique subsaharienne, ils constituent une pratique très courante (Dupraz & Liagre, 2008). On retrouve ainsi de nombreux systèmes traditionnels dont l'on utilise fréquemment le nom des arbres dominants pour nommer. Ainsi, on rencontre les systèmes agroforestiers à base de cacaoyers dans le sud, l'ouest et le centre de la Côte d'Ivoire (Tano, 2012 ; Vroh *et al.*, 2015 ; Zanh *et al.*, 2019) et les parcs agroforestiers dans le nord qui sont l'objet de la présente étude.

2.3 Parcs agroforestiers soudaniens

2.3.1 Définition

Les parcs agroforestiers désignent un mode d'utilisation des terres dans lequel certains arbres, comme les karités ou les nérés, sont préservés des défrichements (Figure 4) pour leurs fonctions d'approvisionnement et intégrés dans un système de production associant le plus souvent d'autres cultures annuelles comme le maïs, le sorgho, le mil, le coton et l'igname (Diarrassouba *et al.*, 2009 ; Bidou *et al.*, 2019). Dans les régions soudaniennes d'Afrique de l'Ouest, les parcs agroforestiers existent depuis plusieurs siècles et ont été adaptés aux besoins des populations locales. Les parcs agroforestiers, de par leurs origines, sont le résultat d'activités anthropiques (Hall *et al.*, 1996 ; Boffa, 2000). Ils sont diversifiés pour plus de la moitié du peuplement, parfois avec une espèce principale ou prédominante, mais peuvent être aussi des parcs quasi-monospécifiques. Les espèces répondent à plusieurs besoins et exercent différentes fonctions allant de la production agricole à la production des produits forestiers ligneux et non ligneux (Boko *et al.*, 2007).

Généralement, les types de parcs agroforestiers sont nommés selon l'espèce dominante. Ainsi, il existe les parcs à karité (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn), à kadd (*Faidherbia albida* (Delile) A.Chev.), à néré (*Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don) et à baobab (*Adansonia digitata* Linn), ou encore à espèces mélangées (Sallé *et al.*, 1991 ; Serpantié *et al.*, 1996). Dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire, en se basant uniquement sur l'espèce dominante, on rencontre les parcs à *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn., à *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don, et à *Faidherbia albida* (Delile) A.Chev.) (Boffa, 2000 ; Ouattara, 2001 ; Diarrassouba *et al.*, 2009 ; Diarrassouba *et al.*, 2020). Les arbres conservés bénéficient de la protection des paysans en raison de l'intérêt socio-économique, écologique et agronomique qu'ils fournissent (Abegg *et al.*, 2006 ; Cuvilliez, 2015).



Figure 4 : Vue d'un parc agroforestier à *Vitellaria paradoxa* dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire

2.3.2 Classification des parcs agroforestiers soudanais

Plusieurs chercheurs ont tenté d'appréhender les variations régionales et locales de la structure et de la composition des parcs agroforestiers à travers divers types de classification (Sagna *et al.*, 2019). Celles-ci sont basées sur des facteurs tels que le niveau d'intervention humaine, les principaux usages fonctionnels des parcs, leur structure physique et la manière dont ils traduisent les systèmes de gestion des ressources naturelles des différents peuples qui les mettent en place.

Pelissier (1979) a formulé une classification des parcs agroforestiers en fonction du niveau d'élaboration. Ainsi, il existe, selon cette classification, quatre types de parcs agroforestiers : résiduel, sélectionné, construit et planté.

- Le parc résiduel est le moins élaboré et le plus éphémère. Les espèces ligneuses utiles ou trop difficiles à abattre sont laissées sur pied après le défrichage, mais leur densité ne reflète pas nécessairement l'importance de leur usage. Un parc résiduel est surtout caractérisé par la dominance des essences typiques de la savane. On y trouve presque toujours le Karité (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn), mais aussi *Lannea microcarpa* Engl. & K. Krause (le résinier) ou différentes espèces du genre *Terminalia*. En regardant la structure de ce parc, il semble que les arbres aient tous le même âge. En plus, on

trouve souvent des traces d'un défrichement récent (les troncs d'arbres coupés, etc.) (Sturm, 2000).

- Le parc sélectionné est composé d'arbres qui faisaient partie de la végétation initiale et que les agriculteurs ont délibérément protégés dans les champs pour bénéficier de leurs multiples avantages, notamment la production d'aliment, de fourrage et le maintien de la fertilité du sol. C'est le type de parc le plus rencontré en Basse Casamance (Sénégal). Dans un parc sélectionné, la structure des arbres est plus hétérogène. On y rencontre des jeunes pieds d'arbre ainsi que des individus géants. Il forme les paysages les plus connus de l'Afrique de l'Ouest avec le palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.), le Karité (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn), le Néré (*Parkia biglobosa* Jacq (Jacq.) R. Br. ex G. Don), le Baobab (*Adansonia digitata* Linn.) et le Figuier (*Ficus* ssp.) (Sturm, 2000).
- Le parc construit se compose d'espèces qui n'appartenaient pas nécessairement à la végétation d'origine, ou du moins, pas dans les densités observées après la sélection pratiquée par les agriculteurs. Ces parcs sont les plus élaborés car les arbres y sont non seulement protégés, mais également élagués et soignés en vue d'obtenir un port élancé et des houppiers développés. Le meilleur exemple est le parc à *Faidherbia albida* (Delile) A.Chev.) espèce buissonnante à l'état naturel mais qui se transforme en un arbre de haute taille lorsqu'elle est émondée dès le début de sa croissance.
- Le parc planté traduit le niveau le plus élevé de l'intervention humaine, on pourrait fort bien les appeler plus justement jardins-vergers. Tel est le cas par exemple, des vergers de manguiers associés à des cultures vivrières (Sagna, 2020).

Selon la classification fonctionnelle proposée par Seignobos (1988), il existe six (6) différents types de parcs agroforestiers :

- les parcs d'appoint alimentaire, avec les parcs à néré (*Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don) et à baobab (*Adansonia digitata* Linn.) ;
- les parcs oléifères, avec les espèces comme le *Balanites aegyptiaca* Delile. le palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.) et le karité (*Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn.) ;
- les parcs d'appui agronomique dont le modèle est évidemment le parc à *Faidherbia albida* (Delile) A.Chev.) ;
- les parcs vignobles où on retrouve le rônier (*Borassus aethiopum* Mart.) ou le palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.) ;
- les parcs à bois avec notamment *Anogeissus leiocarpus* (DC.) Guill. & Perr. ;
- les parcs vestimentaires à cailcedrat (*Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss.)

La dernière classification est celle définie par Raison (Raison, 1988). Selon cet auteur, il existe les parcs soudaniens et guinéens, les parcs complexes sans dominance d'espèce en fréquence ou en qualité et les parcs à dominante significative.

2.3.3 Importance socio-économique des parcs agroforestiers soudaniens

Pour les populations rurales, les arbres des parcs agroforestiers ont de multiples fonctions. Tout d'abord, ils leur servent à la fois d'épicerie, de pharmacie, d'alimentation pour le bétail, etc. (Lafleur, 2008). Ainsi, les populations rurales ont recours aux produits des arbres des parcs agroforestiers qui, selon la partie comestible (fruits, gousse, noix, feuilles, fleurs, racines), en plus de compléter les valeurs nutritionnelles des céréales de base, contribuent à diversifier les repas et à assurer l'équilibre alimentaire saisonnier par l'apport de lipides, de protéines, de vitamines et de sels minéraux (Boffa, 2000). En plus de l'alimentation humaine, les feuilles et les graines de certaines espèces ligneuses constituent, en période sèche, du fourrage riche en protéines pour les animaux (Nantoumé *et al.*, 2014). Par ailleurs, les arbres des parcs agroforestiers sont chargés de valeurs symboliques et culturelles, parfois religieuses (Bellefontaine *et al.*, 2001).

Sur le plan économique, les produits des parcs agroforestiers représentent une source de revenus supplémentaire pour les ménages (Bengali, 2018). En effet, les résidus d'émondage et les produits artisanaux fabriqués avec les produits forestiers non-ligneux peuvent être revendus sur le marché local et le marché international (Lafleur, 2008). L'exemple le plus commun est le beurre de karité qui fait l'objet d'une demande croissante, à l'échelle internationale, de la part de l'industrie cosmétique ces dernières années. La vente des produits procure des revenus additionnels qui permettent notamment aux femmes, d'assurer des dépenses courantes comme l'achat de vivres, la couverture des soins sanitaires, la scolarisation des enfants, les préparatifs des cérémonies traditionnelles et festives (Bernatchez, 2007).

2.3.4 Importance écologique des parcs agroforestiers soudaniens

Face aux nombreux défis posés par le changement climatique, les parcs agroforestiers contribuent à la régulation du cycle de l'eau et à une bonne régulation de la température. En outre, les parcs agroforestiers peuvent apporter des gains écologiques indirects tels que la séquestration du carbone et la restauration des écosystèmes fortement dégradés (Guinko, 1997 ; Nair *et al.*, 2009 ; Ba *et al.*, 2018). Ils peuvent également fournir des services d'ombrage, de refroidissement, de stockage et d'infiltration des eaux de pluies (Akpo & Grouzis, 1996). Enfin les parcs agroforestiers constituent des moyens de lutte contre la désertification.

2.3.5 Importance agronomique des parcs agroforestiers soudaniens

Une des fonctions importantes des parcs agroforestiers se situe au niveau de leurs effets sur l'amélioration de la fertilité des sols par la modification de leurs propriétés physico-chimiques, l'augmentation de l'humidité de l'horizon superficiel des sols, l'augmentation de la biomasse des cultures associées et l'amélioration de l'infiltration de la pluie dans le sol (Alexandre 2002 ; Togola *et al.*, 2005 ; Dupraz & Liagre, 2008, Lahmar *et al.*, 2012). Plusieurs études ont montré que les espèces des parcs protègent le sol contre l'érosion éolienne et pluviale et améliorent le microclimat local (Belem *et al.*, 1996 ; Massaoudou *et al.*, 2015 ; Ba *et al.*, 2018). Les cultures produites sous les parcs arborés profitent de l'ombrage fourni par ceux-ci. Aussi, ces arbres servent d'habitats aux pollinisateurs sauvages et aux prédateurs des ravageurs agricoles. Ils ont également une grande importance dans la destruction des croûtes car en libérant leurs feuilles tardivement après les feux par exemple, ils attirent les termites qui vont détruire la croûte (Alexandre 2002).

Sabiiti & Cobbina (1992) ont rapporté qu'au Nigéria, *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don accroît la production de biomasse herbacée sous son houppier de l'ordre de 2,5 t/ha à 3,8 t/ha. Selon Maïga (1990), *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don aurait un effet de concurrence très forte vis-à-vis des cultures. Cependant, les vieux arbres, qui ont déjà entamé leur phase de dépérissement, offrent des conditions favorables à la croissance de certaines cultures comme le taro et le piment. Il est aussi rapporté que le karité favorise une meilleure pénétration de la pluie dans le sol (Alexandre, 2002). De nombreux travaux ont également montré que pendant les poches de sécheresse, les cultures situées sous houppier de *Faidherbia albida* (Delile) A.Chev. flétrissaient moins vite que celles situées en dehors du houppier et que la production sous houppier était supérieure, pour certaines cultures, à celle hors houppier. Au Niger, l'azote et le phosphore disponibles sous les pieds de *Faidherbia albida* (Delile) A.Chev.) ont été estimés à 20 % et 30 % supérieurs à leurs teneurs dans l'espace ouvert, ce qui permet d'améliorer la production du mil de 26 % pour l'azote et 13 % pour le phosphore (Kho, 2000). Les autres sources des éléments fertilisants sont constituées par la décomposition des racines et le piégeage des particules dans la couronne (Bayala *et al.*, 2011).

2.3.6 Facteurs de pression sur les parcs agroforestiers dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire

2.3.6.1 Culture de l'anacardier et évolution spatio-temporelle

L'anacardier a été introduit dans les années 1960 comme plante de reboisement par la Société pour le Développement des Forêts (SODEFOR) et la Société d'Assistance Technique

pour la Modernisation de l'Agriculture en Côte d'Ivoire (SATMACI), en partenariat avec les villageois, dans les régions centre et nord de la Côte d'Ivoire (Kockmann, 2009). Cette action s'inscrivait dans le cadre d'un vaste projet gouvernemental de boisement de la zone de savane parcourue par d'immenses feux de végétation et sous-tendue par des zones pédologiques dégradées (Dedzoe *et al.*, 2001 ; Koné, 2001 ; Soro *et al.*, 2010). L'anacardier, alors considéré comme une espèce forestière fut préconisé pour ses vertus écologiques, sa rusticité et sa rapidité de croissance (ARECA, 2006 ; Konan & Ricau, 2010). Le projet a d'abord été exécuté à Korhogo, la plus grande ville du Nord de la Côte d'Ivoire située en zone sub-soudanienne. Ainsi, sur la période 1960 à 1970, 6 000 ha de plantations villageoises furent implantés avec le concours de la SATMACI et la SODEFOR, dont environ 2220 ha ont été plantés dans la localité de Korhogo (Goujon *et al.*, 1973 ; Koné *et al.*, 2020 ; Lebailly *et al.*, 2012). Dès 1972, la fonction économique de l'anacarde a commencé à prendre le dessus sur la fonction écologique. A partir de cette date, dans le cadre d'un programme de relance de la culture et de la commercialisation de la noix de cajou, l'État ivoirien crée alors la Société de Valorisation de l'Anacarde du Nord (SOVANORD). Au cours de la même période, les plantations de la SATMACI sont confiées à la SODEFEL (Société de Développement des Fruits et Légumes) pour en faire des plantations fruitières, destinées à la production et la vente des noix de cajou (Rey, 1998 ; Gouma, 2003). Par la suite, les plantations furent remises aux communautés villageoises qui, pendant longtemps ont trouvé peu d'intérêt à les entretenir.

L'engouement des populations pour l'anacardier en tant que culture de rente va s'accroître avec la chute des prix du coton, principal produit de rente du Nord, et la valorisation du prix bord-champ de la noix de cajou (Nugawela *et al.*, 2006). La grande majorité des vergers actuellement en production a été plantée à la fin des années 1990 sous l'impulsion de prix incitatifs et dans le cadre d'un commerce grandissant entre l'Afrique de l'Ouest et l'Asie (Rongead, 2013). Le véritable essor de l'anacarde s'est produit lorsque la production de noix de cajou a été promue par des commerçants indiens et libanais qui achetaient le produit à bon prix au port. Ceux-ci étaient principalement favorisés par un bon marché international. Cela a encouragé les agriculteurs à cultiver de plus en plus d'hectares d'anacardiers (CCIC, 2021). Dès les années 1990, beaucoup d'agriculteurs ont semé l'anacardier sur des parcelles de parcs agroforestiers dans lesquelles sont associés le coton ou des vivriers. Aujourd'hui, l'anacardier constitue la principale culture de rente dans les régions Nord, Nord-Ouest, Nord-Est et Centre de la Côte d'Ivoire (Akpa, 2015)

L'extension des vergers d'anacardiens a été massive et rapide. Les surfaces cultivées qui étaient de 8 000 ha dans les années 1960 sont passées à 400 000 ha en 2005 et ont atteint 1 100 000 ha en 2012 (Lebailly *et al.*, 2012). Depuis 2020, les superficies plantées en anacardiens ont dépassé les 2 000 000 ha (FAOSTAT, 2021). La taille des exploitations varie de 0,5 à 5 ha pour les petites exploitations (Soro *et al.*, 2010 ; Kouao, 2020) et de 150 à 200 ha pour les plus grandes exploitations (Soro *et al.*, 2010).

L'expansion rapide de la culture de l'anacardier et les pratiques agricoles de mise en place constituent une menace réelle pour les parcs agroforestiers à karité et néré de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire.

2.3.6.2 Pratiques culturelles de l'anacardier

La substitution des écosystèmes naturels par des monocultures a été reconnue comme l'une des principales menaces sur la biodiversité (Donoso & Otero, 2005, Koua, 2021). Dans de nombreuses régions de la Côte d'Ivoire, le développement des monocultures de rentes s'est fait au détriment de l'environnement, du fait des pratiques culturelles inappropriées et caractérisées par un système de production extensive (Oszwald, 2005). La culture de l'anacardier, principale culture pérenne du Nord de la Côte d'Ivoire, ne fait pas l'exception. Sa mise en culture se fait de façon extensive. Cette pratique agricole est toutefois dévoreuse d'espace et contribue fortement à la réduction des surfaces des parcs agroforestiers, dans lesquelles sont associées des cultures vivrières.

Avant l'introduction de l'anacardier, les systèmes de production étaient caractérisés par l'alternance des cultures annuelles associées aux parcs à karité et/ou à néré et la jachère. Depuis l'avènement de l'anacardier, les systèmes culturels traditionnels ont fortement changé. Les noix d'anacardier ou les plants d'anacardier sont cultivés en intercalaire les trois premières années dans les parcs agroforestiers avec les cultures vivrières telles que le riz pluvial, le mil, le sorgho, le maïs ou l'arachide. Ensuite, chaque année, une nouvelle parcelle de terre est préparée et semée d'anacarde. Les parcs à karité et à néré sont associés aux pieds d'anacardiens jusqu'au développement de leurs branches. Cette période peut durer de trois à quatre ans. Le développement de la plantation conduit, après quelques années, à une monoculture d'anacardier (Koffi, 2008 ; Akpa, 2015). Ainsi, l'anacardier évolue seul sur les parcelles, réduisant les espaces alloués aux parcs agroforestiers et à la production vivrière. L'entretien des plantations d'anacardiens consiste à les nettoyer tous les trois mois environ, dans la strate basse et à éliminer la plupart des espèces végétales autres que l'anacardier qui s'y développent, pour éviter la

compétition négative. Par conséquent, on assiste à la destruction des ressources ligneuses qui, pourtant, offrent des biens et services aux populations locales (Koulibaly *et al.*, 2016 ; Koné *et al.*, 2020

Chapitre 3 : Notions de télédétection et de variabilité climatique

3.1 Télédétection

3.1.1 Définition et principe de la télédétection

La télédétection est l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance sans un contact matériel avec ceux-ci (Bonn & Rochon, 1992). Selon Begni *et al.* (2005), la télédétection est une technique permettant l'observation du rayonnement diffusé ou émis par la surface de la Terre. La télédétection par satellite permet des observations régulières, répétitives, fidèles, de la quasi-totalité de la planète, à divers pas d'espace et de temps, dans plusieurs longueurs d'ondes. Ces observations traduisent la nature, l'état, la variation spatiale et temporelle des propriétés des objets présents à la surface terrestre. Elles permettent de définir un objet ou un groupe d'objets à la surface de la Terre à partir de leurs caractéristiques spécifiques, à savoir la signature spectrale (un ou plusieurs signaux électromagnétiques dans un ou plusieurs longueurs ondes plus ou moins étroits du spectre électromagnétique), la variation temporelle de cette signature spectrale, la répartition spatiale spécifique de l'objet et les relations dites de voisinage de cet objet avec les autres objets qui l'entourent (Begni *et al.*, 2005). L'objet peut être tout élément situé à la surface de la Terre et interagissant avec un rayonnement électromagnétique, à savoir la végétation, les sols, les rivières, les surfaces en eau, les bâtiments, etc. (Begni *et al.*, 2005).

Les systèmes de télédétection, en particulier ceux qui sont situés sur des satellites, offrent une vision répétitive et synoptique de la Terre. Ils permettent l'évaluation et la surveillance de l'environnement (croissance urbaine, déchets dangereux), la détection et la surveillance des changements globaux (appauvrissement de l'ozone atmosphérique, déforestation, réchauffement climatique), l'exploration, les ressources non renouvelables (minéraux, pétrole, gaz naturel) et les ressources naturelles renouvelables (océans, forêts, terres) ; la météorologie (prévision météorologique, processus dynamiques atmosphériques) ; la cartographie (topographie, utilisation et occupation des terres, génie civil), etc. (Matson *et al.*, 1997 ; Leenhardt *et al.*, 2010 ; Soltani, 2020).

La télédétection se base sur le principe que les matériaux émettent et réfléchissent différemment les ondes électromagnétiques, en fonction, notamment, de leur couleur, leur matière ou encore leur rugosité (Figure 5). Elle rassemble deux modes d'acquisition principaux : passif et actif.

Le mode passif, également appelé optique, consiste à mesurer l'énergie émise et/ou réfléchi par la surface terrestre illuminée par une source d'énergie incidente naturelle telle que le soleil. Dans le cas de l'acquisition d'images multispectrales (également dites images couleur), l'énergie reçue est mesurée dans plusieurs bandes spectrales appartenant ou non au domaine du visible. Ce mode d'acquisition a l'avantage de fournir des données relativement simples à interpréter, en particulier lorsque l'information correspond au domaine du visible. En revanche, une telle technique, lorsqu'elle est dédiée à l'observation de la surface terrestre, est limitée par la présence de nuages et de leur ombre projetée, qui ont pour effet de générer des données manquantes dans les images.

Le mode actif, quant à lui, fait intervenir une source d'illumination artificielle et mesure l'énergie rétrodiffusée par l'objet cible. L'imagerie radar utilise cette méthode. L'interprétation des données est moins intuitive que pour l'imagerie optique et demande des connaissances spécifiques en traitement du signal. En revanche, ce mode d'acquisition, de par les gammes de longueurs d'onde élevées utilisées, présente l'avantage de ne pas être sensible au couvert nuageux.

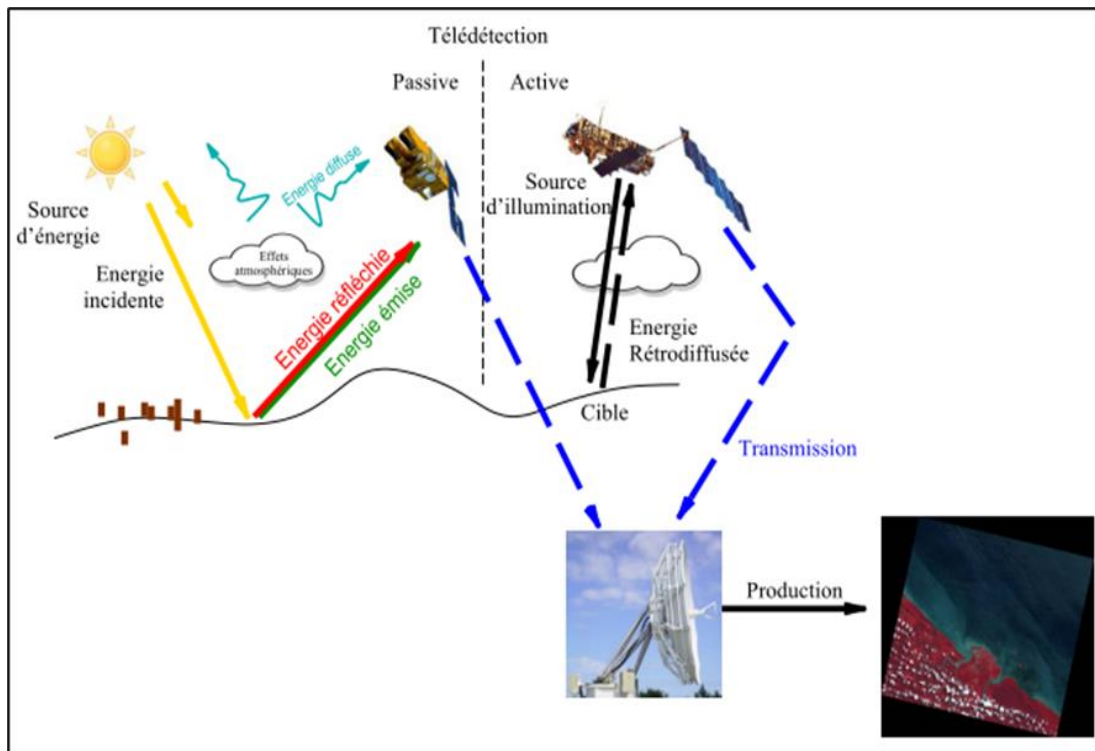


Figure 5 : Principe général de la télédétection (Bayouduh, 2013)

3.1.2 Processus de la télédétection

La télédétection englobe tout le processus qui consiste d'abord à capter et enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, ensuite à traiter et analyser

l'information, enfin à mettre en application cette information (CCT, 2003). Sept étapes clés couvrent le processus de la télédétection du début à la fin (Figure 6).

- 1- Source d'énergie ou d'illumination (A) - À l'origine de tout processus de télédétection se trouve nécessairement une source d'énergie pour illuminer la cible.
- 2- Rayonnement et atmosphère (B) - Durant son parcours entre la source d'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'atmosphère. Une seconde interaction se produit lors du trajet entre la cible et le capteur.
- 3- Interaction avec la cible (C) - Une fois parvenue à la cible, l'énergie interagit avec la surface de celle-ci. La nature de cette interaction dépend des caractéristiques du rayonnement et des propriétés de la surface.
- 4- Enregistrement de l'énergie par le capteur (D) - Une fois l'énergie diffusée ou émise par la cible, elle doit être captée à distance (par un capteur qui n'est pas en contact avec la cible) pour être enfin enregistrée.
- 5- Transmission, réception et traitement (E) - L'énergie enregistrée par le capteur est transmise, souvent par des moyens électroniques, à une station de réception où l'information est transformée en images (numériques ou photographiques).
- 6- Interprétation et analyse (F) - Une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image traitée est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible.
- 7- Application (G) - La dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible, pour nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier.

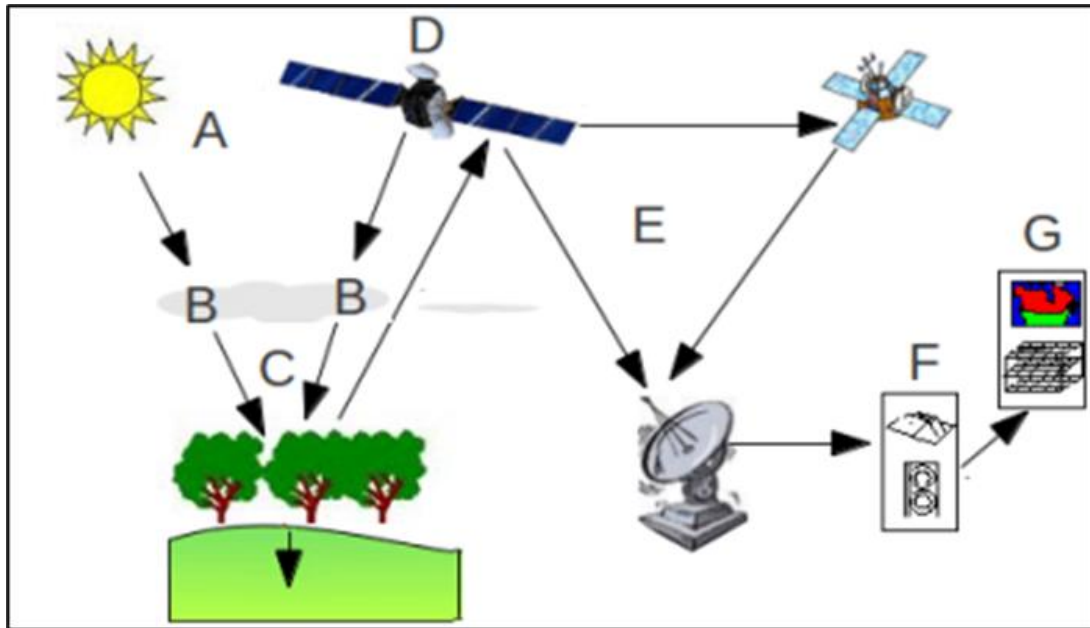


Figure 6 : Différentes étapes de la télédétection (Grimene, 2018)

(A) Source d'énergie ou d'illumination ; (B) Rayonnement et atmosphère ; (C) Interaction avec la cible ; (D) Enregistrement de l'énergie par le capteur ; (E) Transmission, réception et traitement ; (F) Interprétation et analyse ; (G) Application

3.1.3 Caractéristiques des images satellitaires Landsat

Il existe plusieurs types d'images satellitaires, à savoir les images à haute résolution, celles à moyenne résolution et les images à faible résolution (Begni *et al.*, 2005). Les images à très haute résolution permettent la détection d'objets de l'ordre du décimètre au mètre. Elles sont très utilisées dans les domaines de la défense et de l'urbanisme. Elles sont fournies par les satellites militaires dont Hélios (données confidentielles) et dans le domaine civil par les satellites commerciaux Quickbird et Ikonos. Les images à moyenne résolution (de l'ordre du décimètre) permettent d'effectuer une classification des terrains, de localiser et différencier les couverts forestiers et les terrains agricoles. Elles proviennent des satellites Landsat, Spot et ERS.

Les images à basse résolution (de l'ordre de l'hectomètre au kilomètre) sont utilisées à l'échelle régionale et mondiale. Prises de manière répétitive, elles servent à assurer la surveillance des phénomènes environnementaux, concernant par exemple le couvert végétal, les zones côtières et les surfaces océaniques. Elles proviennent des satellites Spot-vegetation, Envisat-meris, Terra-modis et NOAA. Les images Landsat sont les plus utilisées du fait de leur gratuité, la facilité d'accès aux données plus anciennes, une combinaison de capteurs avec des domaines spectraux façonnés pour l'observation de la Terre, une résolution spatiale

fonctionnelle et une bonne couverture du globe (CCT, 2003). Les satellites Landsat fournissent des images dans plusieurs bandes spectrales permettant de faire ressortir plusieurs caractéristiques des surfaces observées. Le premier satellite Landsat fut lancé en 1972 avec un capteur MSS (Multi-Spectral Scanner). Deux autres satellites (Landsat 2 et Landsat 3) du programme furent lancés la même année avec le même type de capteur. A partir de 1982, le programme met en place une nouvelle génération de satellite dont le premier est Landsat 4 mis en orbite le 16 juillet 1982. Ce premier satellite de la nouvelle génération des Landsat est doté, en plus du capteur MSS, d'un capteur du type Thematic Mapper (TM). Ce satellite enregistre une amélioration notable au niveau de la résolution spatiale et spectrale (Desjardins, 2000). Deux autres satellites (Landsat 5 et Landsat 6), dotés de la même technologie, furent lancés respectivement en 1984 et 1993. Cependant, le lancement de Landsat 6 a connu un échec. En 1999, le programme lance son septième satellite, Landsat 7 doté d'un nouveau capteur multi-bande, Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) (NASA, 2002). Le plus récent de cette série est Landsat 8 lancé en 2013. Ce dernier est doté de deux capteurs : Operational Land Imager (OLI) et Thermal Infrared Sensor (TIRS).

Le capteur TM autorise l'approche la plus fine de l'information radiométrique grâce à ses 7 bandes dont les 6 premières servent à l'étude de la végétation, de l'agriculture ou encore de l'impact anthropique sur l'environnement ; la septième étant en infrarouge moyen. Le capteur ETM+ est une amélioration des capteurs TM. Les bandes utilisées pour l'étude de la végétation sont les bandes 4, 3 et 2, respectivement du proche infrarouge, du rouge et du vert. La bande 4 est très importante pour la classification des types d'occupation du sol. Elle permet la différenciation d'une part, entre les sols nus et les espaces cultivés et d'autre part, entre les terres et les espaces en eau. Elle présente une grande sensibilité à la quantité de biomasse contenue dans la végétation. La bande 3 correspond à la longueur d'onde caractéristique de l'absorption de la chlorophylle de la végétation verte. Il s'agit de l'une des bandes radiométriques les plus importantes dans le cadre de l'étude de la végétation (Oszwald, 2005). Le satellite Landsat 8 enregistre les images dans neuf bandes allant du visible au moyen infrarouge. L'étude de la végétation à travers le satellite Landsat utilise les bandes 5, 4 et 3 respectivement du proche infrarouge, du rouge et du vert (Kouakou, 2019).

3.1.4 Contribution de la télédétection à l'étude de la dynamique des changements d'occupation et d'utilisation des terres en zone soudanienne

Le changement dans le mode d'utilisation des terres est l'un des processus qui provoque une perte importante de la diversité et qui prend actuellement, une large place dans les savanes soudanaises d'Afrique (Lambin *et al.*, 2001). Le suivi de l'évolution des changements dans le mode d'utilisation des terres est indispensable à la mise en œuvre des actions environnementales. Parmi les éléments de suivi, la télédétection se présente comme l'un des outils essentiels pour évaluer l'ampleur des phénomènes des changements d'occupation et d'utilisation des terres sur le paysage (Leimgruber *et al.*, 2005 ; Ganamé, 2021). A travers les images satellitaires Landsat, il est possible d'évaluer la dynamique et des trajectoires de changement des paysages sur de grandes zones inaccessibles de façon répétitive pendant une période de plus de 40 ans (Vitteck *et al.*, 2014). Dans la zone soudanienne d'Afrique de l'Ouest, de nombreuses études ont utilisé les images Landsat pour analyser la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol. Ainsi, Ganamé (2021) a caractérisé la dynamique spatio-temporelle des unités d'occupation et d'utilisation des terres de trois réserves forestières de la zone soudanienne du Burkina Faso. Les résultats de ces travaux ont montré que les paysages des écosystèmes de cette zone subissent de profondes mutations. De fortes régressions de la végétation naturelle ont été observées au profit d'une expansion des champs et des sols nus. Dans la zone soudanienne du Bénin, Biaou *et al.* (2019) ont suivi et quantifié l'ampleur des pressions anthropiques dans la forêt Ouénou-Bénou à partir des images satellites Landsat et Spot. Par ailleurs, Douffi *et al.* (2020) ont caractérisé la dynamique des changements d'occupation du sol grâce à l'imagerie satellitaire Landsat TM et OLI+ dans la sous-préfecture de Napié (zone sub-soudanienne de la Côte d'Ivoire). Ces résultats ont montré les différentes transformations qui se sont opérées entre les classes d'occupation du sol durant la période de 2006 à 2019. Spécifiquement, une partie de la superficie de plusieurs classes d'occupation du sol a été convertie en plantations d'anacardiers. Enfin, dans les zones sahélo-soudanienne et soudano-guinéenne du Sénégal, Samb *et al.* (2018), ont évalué la dynamique spatiale des plantations d'anacardiers en utilisant des données de télédétection. A partir des images Landsat multitudes des années 1986, 1996, 2007 et 2017 de différents capteurs, ces auteurs ont élaboré des cartes d'occupation du sol, évaluer les superficies et déterminer les changements opérés dans le paysage agricole de 1986 à 2017 dans les deux zones agroécologiques.

3.2 Variabilité climatique

3.2.1 Définition de la variabilité climatique

La variabilité climatique désigne les variations naturelles du climat, au cours d'une même année et d'une année sur l'autre. Elle fait pressentir la mobilité ou la variation du schéma climatique moyenne et d'autres statistiques (écarts moyens, normales, phénomènes extrêmes, etc.) du climat à toutes les échelles temporelles et spatiales au-delà des phénomènes climatiques individuels (CCNUCC, 1992 ; GIEC, 2007). C'est un des éléments intégrateurs du changement global. Elle peut être due à des processus internes naturels au sein du système climatique (variabilité interne) ou à des variations des forçages externes anthropiques (GIEC, 2007). La variabilité du climat est souvent perçue à travers l'irrégularité des paramètres climatiques dans leur évolution. Les changements climatiques peuvent être dus à des processus de variations naturelles du climat ou aux activités humaines. Les variations naturelles se font sur de très longues périodes. De par ses nombreux dégâts engendrés sur l'économie des pays en développement et les moyens de vie des populations les plus pauvres de la planète, la variabilité climatique est actuellement considérée comme l'une des menaces les plus graves posées au développement (GIEC, 2007 ; Kouassi *et al.*, 2010).

3.2.2 Impacts de la variabilité climatique en agriculture

L'agriculture est extrêmement sensible à la variabilité climatique. Les manifestations telles que les températures plus élevées diminuent les rendements des cultures tout en entraînant une prolifération des mauvaises herbes et des parasites. En outre, la modification des régimes de précipitations augmente la probabilité de mauvaises récoltes à court terme et d'une baisse de la production à long terme (Nelson *et al.*, 2009). Dans les régions tropicales, les impacts de la variabilité climatique sur l'agriculture s'expriment à travers la réduction de la saison de croissance et donc du rendement des cultures. Izrael (1991) mentionne que l'impact de la variabilité climatique sur l'agriculture va engendrer une réduction des productions allant de 10 à 30 % en moyennes latitudes. Des impacts négatifs sévères doivent être attendus dans les régions dont l'agriculture est fortement dépendante du climat telles que les zones arides et subtropicales d'Afrique.

La Côte d'Ivoire, à l'image des autres pays de l'Afrique de l'Ouest, est vulnérable à la variabilité climatique en raison du rôle primordial du secteur de l'agriculture dans son développement socio-économique (Banque mondiale, 2018). Depuis près de quatre décennies, la variabilité climatique a eu un impact exceptionnel sur les régions du nord et du centre

(Kouassi *et al.*, 2019 ; Kanga, 2020). Les variabilités s'expriment par la diminution des précipitations, l'augmentation des températures, la persistance et la sévérité des saisons sèches, la fréquence des inondations et des feux de brousse (Ernest *et al.*, 2013 ; Sadia, 2014 ; MINEDD, 2020). Ils affectent les revenus des agriculteurs et leur capacité à investir dans les actifs nécessaires au développement de leurs activités. Tous ces phénomènes affectent déjà et continueront d'affecter la production agricole pluviale qui couvre 90 % de la production du pays. La zone soudanienne de la Côte d'Ivoire reste vulnérable dans la mesure où le maïs, aliment de base des populations locales, est l'une des cultures prévues pour être les plus affectées par les conditions climatiques futures (Banque mondiale, 2018).

3.2.3 Adaptation des agriculteurs à la variabilité climatique

L'adaptation est l'ensemble des réponses aux effets néfastes ou positifs de la variabilité climatique. La réponse peut être naturelle, spontanée ou anticipée dans le cadre d'une planification. Dans les systèmes humains, il s'agit d'atténuer ou d'éviter les effets préjudiciables et d'exploiter les effets bénéfiques (AGRHYMET, 2011). L'adaptation consiste à diminuer les conséquences de la variabilité climatique sur certains paramètres externes aux systèmes humains (aléas d'inondations ou d'assèchement de cours d'eau, etc.) et de réduire la vulnérabilité de ces systèmes aux variabilités climatiques et à ses conséquences (GIEC, 2007 ; 2014). Face à l'ampleur des effets de la variabilité climatique et des changements socioéconomiques globaux, l'intérêt porté à l'adaptation des sociétés et des écosystèmes est de plus en plus important (Smit & Wandel, 2006 ; Howden *et al.*, 2010 ; Owen, 2020). De nombreuses raisons ont été identifiées dans la littérature montrant l'importance de mettre en place des mesures d'adaptation car elles présentent un intérêt grandissant pour les sociétés et les écosystèmes (Smit & Wandel, 2006 ; GIEC, 2014).

Dans le secteur agricole, les options d'adaptation peuvent être classées en trois catégories. Ce sont les solutions technologiques (nouvelles variétés, systèmes d'alerte précoce, etc.), les programmes gouvernementaux et assurances (assurance-récolte, subvention, etc.) et le changement des pratiques agricoles (irrigation, travail du sol réduit, etc.) avec, de plus en plus, une approche plus globale visant à s'inscrire dans la logique de l'agroécologie (Wezel *et al.*, 2014). Ces mesures d'adaptation visent le plus souvent la préservation ou la restauration de la qualité des eaux et des sols (Wezel *et al.*, 2014 ; Meynard, 2017), tandis que dans certains cas on note des changements plus profonds portant sur le remplacement d'espèces ou le changement des aires de cultures vers les zones les plus favorables (Simonet, 2015). Cependant, la majorité

des options d'adaptation envisagées par les agriculteurs concernent des changements progressifs à court terme (Park *et al.*, 2012 ; Vogel & Meyer, 2018). L'adaptation aux effets inévitables de la variabilité climatique est plus que nécessaire. Elle permet, entre autres :

- d'estimer dans quelle mesure les impacts actuels ou potentiels de la variabilité climatique pourraient être modérés ou compensés ou permettre des effets positifs qui seraient issus des mesures d'adaptation ;

- d'augmenter la capacité d'adaptation ou la capacité d'un système (société ou écosystème) à répondre efficacement, à continuer de fonctionner lorsqu'il est confronté à un choc ou à un stress ;

- de freiner les variables qui augmentent la vulnérabilité ou la sensibilité d'un système aux différents aléas climatiques ;

- de renforcer la robustesse de la conception des infrastructures, des politiques et des investissements à long terme ;

- de renforcer la capacité à adopter des perspectives systémiques pour éviter ou ajuster les politiques, les pratiques inadaptées et réaliser des opportunités.

Pour Rickards & Howden (2012), selon l'ampleur des impacts de la variabilité climatique sur les systèmes agricoles et de leur capacité de réponse, les agriculteurs peuvent mettre en œuvre plusieurs types d'adaptation (Figure 7). Ils peuvent, entre autres :

- choisir les variétés les plus adaptées, la date de semis et la densité de semis (adaptation incrémentale) ;

- planter des cultures adaptées au changement climatique, intégrer l'agriculture de précision et diversifier la production (adaptation systémique) ;

- modifier l'utilisation des terres et introduire de nouveaux produits tels que les services écosystémiques (adaptation transformationnelle).

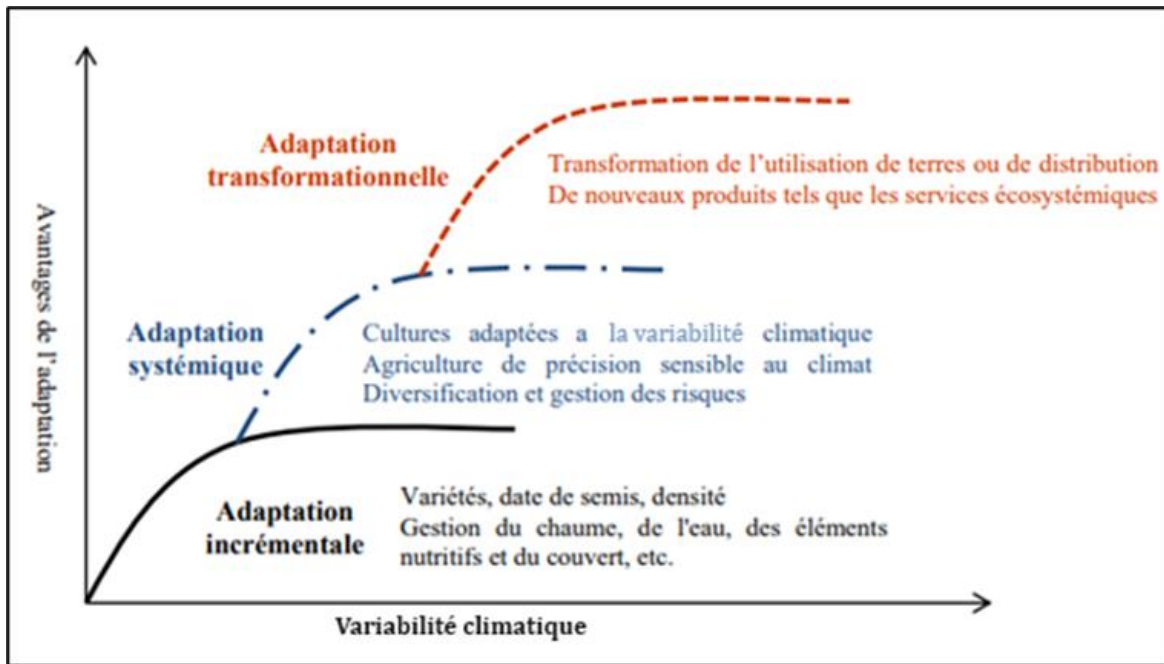


Figure 7 : Types d'adaptation des agriculteurs en fonction du niveau du changement climatique (Rickards & Howden, 2012 modifié par Timité)

PARTIE II : MATERIEL ET METHODES

Chapitre 4 : Matériel d'étude

4.1 Matériel biologique

Le matériel biologique est composé des échantillons d'espèces végétales récoltés sur le terrain et des échantillons de plantes non identifiées sur le terrain. Ces échantillons ont été constitués en herbier pour l'identification à l'herbarium de l'Université Jean Lorougnon Guédé.

4.2 Matériel technique

Le matériel technique est composé du matériel de collecte de données sur le terrain, des données spatiales et cartographiques, des données climatiques et des logiciels de traitement de données.

4.2.1 Matériel d'inventaire floristique et d'enquête socio-agronomique

Le matériel de collecte de données sur le terrain comprend une fiche de questionnaire pour la réalisation des enquêtes (Annexe 1) et le matériel d'inventaire floristique. Ce dernier était composé d'un ruban mètre de 50 m de longueur pour la délimitation des placettes, de cordes pour matérialiser les placettes, d'un ruban de tailleur de 1 m pour la mesure des circonférences des individus d'espèces ligneuses, d'un appareil photographique numérique de marque Canon pour la prise de vues, d'un GPS (Global Positioning System) de marque Garmin eTrex pour la prise des coordonnées géographiques des points d'observation au sein des différentes classes d'occupation du sol, d'un sécateur pour le prélèvement des spécimens de plantes, de papiers journaux pour la confection d'herbier et d'une fiche de relevés floristiques pour établir la liste des espèces de plantes rencontrées (Annexe 2).

4.2.2 Données spatiales et cartographiques

Au total, huit images satellitaires issues du capteur Landsat ont été utilisées dans la présente étude. Les caractéristiques de ces images sont résumées dans le Tableau I. Outre les données spatiales, un fichier numérique géoréférencé des différents départements, comportant le réseau routier, les entités administratives et les localités selon le nouveau découpage administratif de la Côte d'Ivoire a été utilisé.

Tableau I : Caractéristiques des images Landsat utilisées

| Sites | Capteurs | Résolution spatiale (m) | ID scène | Date de capture |
|-------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------|
| Ouangolodougou | Landsat 5 TM | 30 | LT51970531990363MPS00 | 29/12/1990 |
| | Landsat 7 ETM+ | 30 | LE71970532000351EDC00 | 16/12/2000 |
| | Landsat 5 TM | 30 | LT51970532010338MPS00 | 04/12/2010 |
| | Landsat 8 OLI-TIRS | 30 | LC81970532020366LGN00 | 31/12/2020 |
| Tengréla & Tienko | Landsat 5 TM | 30 | LT51980531990338MPS00 | 04/12/1990 |
| | Landsat 7 ETM+ | 30 | LE71980532000358EDC00 | 23/12/2000 |
| | Landsat 5 TM | 30 | LT51980532010345MPS00 | 11/12/2010 |
| | Landsat 8 OLI-TIRS | 30 | LC81980532020325LGN00 | 10/12/2020 |

4.2.3 Données climatiques

La température et la pluviométrie sont reconnues comme les paramètres les plus critiques pour l'agriculture pluviale dans la région intertropicale (Faye *et al.*, 2019). Par conséquent, les données climatiques utilisées dans la présente étude sont constituées des précipitations et des températures (minimales et maximales) au pas de temps journalier sur la période 1990 à 2020 aux postes pluviométriques de Tengréla, Ouangolodougou et Tienko. Les climatologues considèrent qu'une période de minimum trente ans est suffisante pour démontrer une tendance climatique (OMM, 2017). Les données existantes ont été obtenues auprès de la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM). Les postes de Tengréla, Ouangolodougou et Tienko utilisés dans cette étude sont uniquement des postes pluviométriques. Par ailleurs, ces postes comportent des valeurs manquantes dues aux défaillances au cours de la crise militaro-politique qu'a connue la Côte d'Ivoire de 2002 à 2011. Les données pluviométriques manquantes de 2002 à 2011, à savoir 10 années consécutives, ont été alors comblées avec les données climatiques satellitaires téléchargées. Quant aux données de température, elles proviennent des stations synoptiques de Boundiali pour les données de Tengréla, Odienné pour celles de Tienko et enfin Korhogo pour les données de Ounagolodougou. Les données de température manquantes ont également été obtenues en utilisant la même base de données météorologiques maillées, basées sur des

données de réanalyse et des données satellitaires. Les données issues de la NASA Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER) ont été utilisées. Elles sont obtenues du projet POWER du NASA Langley Research Center (LaRC) financé par le programme NASA Earth Science/Applied Science. Ces données au pas de temps journaliers constituent une alternative appropriée lorsque les données au sol sont manquantes ou de qualité douteuse (Bai *et al.*, 2010 ; Chandler *et al.*, 2011 ; Westberg *et al.*, 2013 ; Berhane *et al.*, 2020). Elles sont téléchargeables via la page d'accueil du site à l'adresse <http://power.larc.nasa.gov> (consulté le 13 décembre 2022). De nombreux auteurs ont déjà utilisé ces données dans le cadre de leurs études pour combler les lacunes des données au sol (Akpoti *et al.*, 2016 ; Bender & Sentelhas, 2018 ; Kouman *et al.*, 2022). Avant l'utilisation des données, leur homogénéité a été vérifiée avec le package Climato du logiciel R.4.2.3. L'homogénéité fait référence à la cohérence d'une série dans le temps, et c'est une nécessité évidente pour une analyse fiable des séries chronologiques climatiques.

4.2.4 Logiciels de traitement des données

Plusieurs logiciels, à savoir ENVI, ArcGIS et R, ont facilité le traitement et les analyses des données recueillies. Pour le traitement des images satellitaires, le logiciel ENVI (*Environment for Visualizing Images*) version 4.7 a été utilisé. ENVI est un logiciel permettant la visualisation, le traitement et l'analyse d'images de télédétection spatiale (Fathi, 2020). La version 4.7 a été utilisé du fait de son accessibilité et sa facilité de manipulation. Quant à ArcGIS, c'est un logiciel de cartographie développé pour faciliter la gestion et l'analyse des données spatiales afin de répondre à une problématique donnée (Kouakou *et al.*, 2017). Ce logiciel a servi à l'élaboration des cartes d'occupation du sol et des changements, au calcul des superficies des différentes classes d'occupation du sol et l'établissement de la matrice de transition. Le logiciel R (Version 4.2.1, 4.3.2 et R instat 0.7.2) a servi au traitement des données d'inventaires, les analyses descriptives et statistiques des données d'enquêtes, des différents indices de diversité floristique et le traitement statistique des données climatiques. Le dépouillement du questionnaire et le traitement des résultats de l'enquête a été rendu possible grâce au tableur Microsoft office Excel 2016. Enfin, le logiciel Microsoft office Word 2016 a permis la rédaction du mémoire.

Chapitre 5 : Méthodes d'étude

5.1 Justification du choix des sites d'étude

Plusieurs départements se partagent la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire. Pour choisir les départements de l'étude, une enquête préliminaire et une visite de prospection ont été effectuées dans la zone. Ainsi, sur la base de critères définis au préalable à savoir l'appartenance du département à la zone soudanienne, la prédominance des parcs agroforestiers, l'importance des parcs agroforestiers pour les populations et la mise en culture de l'anacarde par les populations, trois départements (3) ont été retenus. Il s'agit de Tengréla (10°10'0"- 10°50'0" Nord et 6°10'0"- 6°40'0" Ouest), de Ouangolodougou (09°40'0"- 10°20'0" Nord et 5°0'0"-5°40'0" Ouest) et de Tienko (10°0'0"- 10°25'0" Nord et 7°20'0"- 7°30'0" Ouest).

5.2 Détermination des dynamiques spatio-temporelles de la végétation des localités d'étude de 1990 à 2020

Plusieurs opérations ont été réalisées pour l'élaboration des cartes de types d'occupation du sol et des changements des parcs agroforestiers dans les localités de Ouangolodougou, Tengréla et Tienko de 1990 à 2020. Il s'agit de : l'acquisition des images satellitaires, l'extraction de la zone d'étude, la composition colorée, le choix des parcelles d'entraînement, la visite des sites sélectionnés, la classification des images, l'évaluation et la validation des images classifiées.

5.2.1 Acquisition des images satellitaires

Les images satellitaires multispectrales Landsat géoréférencées ont été téléchargées gratuitement à partir du site <http://earthexplorer.usgs.gov>. Elles sont composées par des capteurs TM (Thematic Mapper) de décembre 1990 et 2010, des couvertures ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) de décembre 2000 et des capteurs OLI-TIRS (Opérationnel Land Image) de décembre 2020. L'utilisation des images TM de l'année 2010, s'explique par le fait que toutes les images ETM + des différentes zones d'étude sont de mauvaises qualités et comportent de nombreuses rayures ; seules les images TM sont lisibles. La date de capture des images est très importante dans l'étude des changements d'occupation du sol. Le choix des années 1990, 2000, 2010 et 2020 s'explique par les raisons ci-dessous :

- L'année 1990 marque l'année à laquelle les agriculteurs ont commencé à s'intéresser à la culture de l'anacardier. En effet, même si la présence de l'anacardier est ancienne dans le Nord de la Côte d'Ivoire (des projets de reforestation ayant favorisé la création de plantations

d'anacardiens dès les années 1970), la grande majorité des vergers actuellement en production a été plantée à la fin des années 1990 sous l'impulsion de prix incitatifs et dans le cadre d'un commerce grandissant entre l'Afrique de l'Ouest et l'Asie (Rongead, 2013).

- L'année 2000 marque la période à laquelle la culture de l'anacardier est devenue l'une des principales cultures d'exportation de la Côte d'Ivoire (Koffi & Oura, 2019).

- L'année 2010 marque le classement de la Côte d'Ivoire comme deuxième pays exportateur mondial d'anacarde. Le prix d'achat de l'anacarde a alors connu une hausse, passant de 200 FCFA à 300 FCFA (Sinan & N'dri 2016 ; Bassett, 2017 ; Ruf *et al.*, 2019).

- L'année 2020 est l'année de la collecte des données sur le terrain (Année de référence).

Les images utilisées ont toutes été prises au cours du mois de décembre, correspondant à la période de la saison sèche. Au cours de cette période, l'on a une perception optimale des communautés végétales. Il est ainsi plus aisé de différencier les espaces anthropisés (culture, jachère, sol nu et habitation) des espaces de végétation naturelle ou de forêt (Wafo *et al.*, 2008 ; Barima *et al.*, 2009 ; Oszwald *et al.*, 2010 ; Dimobe *et al.*, 2012 ; Toyi *et al.*, 2018). Jensen (1983) affirmait que les images prises pendant les périodes ensoleillées présentent un bon contraste entre les différents détails. Par ailleurs, utiliser des images acquises dans la même période de l'année permet de réduire les écarts dus aux différences des angles solaires, aux changements phénologiques de la végétation et aux différences de l'humidité des sols.

5.2.2 Extraction de la zone d'étude

Les images satellitaires acquises se présentent sous la forme d'une grande scène dans laquelle est contenue les différentes zones d'étude. Elles couvrent la scène 197-053 de 185 km sur 185 km, pour l'image comportant le département de Ouangolodougou et la scène 198-053 également de 185 km sur 185 km, pour celle comportant Tengréla et Tienko. Alors, à partir du fichier vecteur représentant le contour de chaque zone d'étude, celle-ci a été extraite de la grande scène. L'extraction de la zone d'étude permet de réduire le temps d'exécution des différents traitements numériques (Sangne, 2009).

5.2.3 Composition colorée des images

La composition colorée permet de produire des images en couleur en tenant compte de la signature spectrale des objets. Elle sert, avant tout, à distinguer les différents objets présents sur les images afin de faciliter leur interprétation (Koua, 2021). La réalisation de la composition colorée a consisté à combiner des informations que contiennent trois bandes spectrales en les affichant simultanément dans les trois couleurs primaires (rouge, vert et bleu), comme faite par Koua *et al.* (2020). Dans le cas de l'étude de la végétation, trois bandes d'images prises dans

différents spectres électromagnétiques sont régulièrement utilisées. Il s'agit de la bande du PIR (Proche Infrarouge, 0,76-0,90 μm) qui est particulièrement sensible à la quantité de biomasse contenue dans la végétation, la bande du MIR (Moyen infrarouge, 2,08-2,35 μm), sensible à la quantité d'eau contenue dans les plantes et la bande R (Rouge, 0,63-0,69 μm) du domaine visible correspondant à la longueur d'onde caractéristique de l'absorption de la chlorophylle de la végétation verte. Les caractéristiques de ces bandes facilitent la discrimination des différents types de végétation (Girard, 1999 ; Oszwald, 2005). Pour les trois localités de l'étude (Ouangolodougou, Tengréla et Tienko), les Bande 4 : PIR, Bande 7 : MIR, Bande 3 : R de l'image TM et ETM+ de 1990, 2000 et 2010 et les Bande 5 : PIR, Bande 7 : MIR, Bande 4 : R de l'image OLI-TIRS ont été utilisées. Une carte de composition colorée de l'image satellitaire la plus récente (2020) a été élaborée pour la sélection des sites à visiter sur le terrain.

5.2.4 Choix des parcelles d'entraînement et visites de terrain

Les parcelles d'entraînement sont des échantillons de chaque type d'occupation du sol identifié sur la composition colorée. La sélection de ces parcelles a été faite en tenant compte de l'accessibilité et de la représentativité de tous les types d'occupation du sol. Les coordonnées géographiques des sites à visiter ont été générées et transférées dans un GPS. Enfin, une visite de terrain a été effectuée pour permettre la description des différents types d'occupations du sol (Figure 8). Ainsi, les visites de terrain ont permis de distinguer neuf types d'occupation du sol à savoir les savanes boisées et arborées, les savanes arbustives, les parcs agroforestiers, les plantations d'anacardiens, les forêts, les sols nus/habitations/savanes herbeuses, les cours d'eau, les jachères et les zones brûlées.

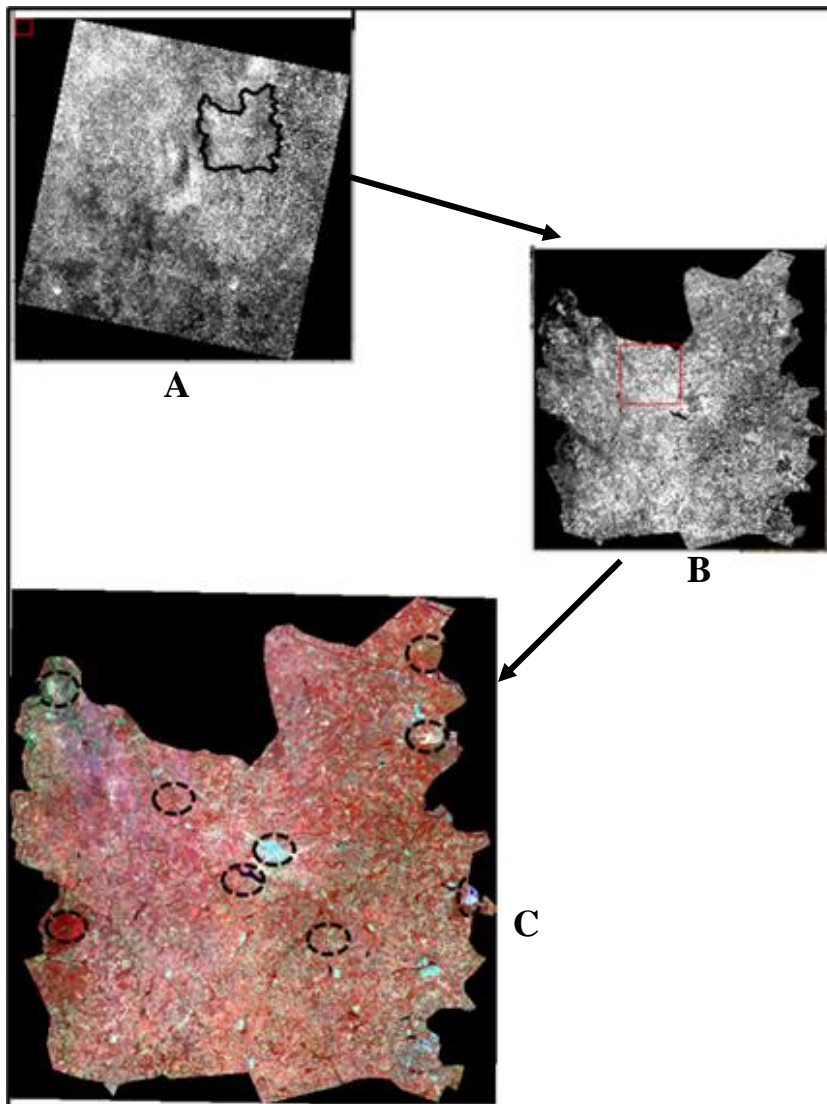


Figure 8 : Extraction de la zone de Tengréla et identification des types d'occupation sur l'image de 2020

A : Extraction de la zone d'étude à partir de la grande scène téléchargée ; B : Zone d'étude extraite ; C : Composition colorée et sélection des sites à visiter (cercles en pointillés).

5.2.5 Classification des images

Après la visite de terrain, la connaissance du milieu a permis de réaliser la classification. Il existe deux types de classifications : non supervisée et supervisée. Dans le cadre de cette étude, la méthode adoptée a été celle de la classification supervisée afin de maîtriser le nombre et la nature des classes qui seront produites. Elle est constituée de deux phases : la phase d'entraînement et la classification. Lors de la phase d'entraînement, à l'aide d'échantillons de pixels dont la classe d'appartenance est connue, nous avons établi des zones d'entraînement qui ont servi de base de calcul de l'algorithme pour chaque type d'occupation du sol. Dans la deuxième phase, les pixels de l'ensemble de l'image ont été classés par comparaison de chaque pixel avec les domaines connus. La procédure assigne à chacun des pixels de l'image un type

d'occupation du sol (Caloz & Collet, 2001). La classification supervisée utilise différents algorithmes dont un seul a été utilisé dans cette étude ; il s'agit de l'algorithme de maximum de vraisemblance (Zammit, 2008 ; Mather & Koch, 2011). Il permet de réduire les risques d'erreur de pixels mal classés en utilisant au mieux les probabilités d'appartenance (Oszwald, 2005). Il s'agit d'une méthode jugée performante par de nombreux auteurs (Girard, 1999 ; Eastman, 2001). La classification a d'abord été réalisée sur l'image de 2020 qui est la plus récente. Cette dernière a servi ensuite à classer les images antérieures, à savoir celle de 1990, 2000 et 2010. Cette méthode a été utilisée par de nombreux auteurs (Munyemba & Bogaert, 2014 ; Koua *et al.*, 2020 ; Ganamé, 2021).

5.2.6 Evaluation et validation de la classification

Après la classification supervisée, l'évaluation et la validation de la classification ont été faites. Ainsi, pour évaluer la fiabilité de la classification, nous avons choisi la méthode basée sur les résultats statistiques de la classification. Le principe de cette méthode consiste à choisir aléatoirement des points, puis à les comparer avec des points de référence. Le résultat est donné sous forme d'une matrice dite matrice de confusion (Girard, 1999 ; Caloz & Collet, 2001). La matrice de confusion est obtenue en comparant les données classées (en ligne) avec des données de référence (en colonne), les valeurs étant des nombres de pixels ou d'objets. La diagonale de la matrice correspond aux individus (pixels ou objets) bien classés.

A partir de cette matrice, deux indices ont été utilisés pour l'évaluation de la qualité de la classification réalisée. Il s'agit de la précision globale et de l'indice de Kappa.

La précision globale est égale au nombre total de pixels correctement classifiés (diagonale de la matrice de confusion) divisé par le nombre total de pixels de vérification (Srivastava *et al.*, 1986).

L'indice de Kappa constitue une mesure fiable dans l'évaluation des classifications thématiques car il examine tous les éléments dans la matrice de confusion et prend en compte à la fois des erreurs d'omissions et de commissions (Rosenfiel & Filzpatrick-lins, 1986). L'indice de Kappa est obtenu par la formule suivante :

$$k = \frac{P(A)-P(E)}{1-P(E)} \quad \text{Equation 1}$$

où P(A) est la correspondance observée entre les classes, P(E) représente la probabilité hypothétique de correspondance et k l'indice de Kappa.

Lorsque k est supérieur à 0,75, la classification adoptée est valable et les résultats peuvent être judicieusement utilisés pour l'élaboration des cartes d'occupation du sol (Pontius, 2000).

5.2.7 Détection des changements au niveau des types d'occupation des sols

L'analyse de l'évolution spatio-temporelle des types d'occupation du sol s'est faite à partir de la répartition quantitative des différentes classes d'occupation du sol pour chacune des années 1990, 2000, 2010 et 2020, puis de leur évolution sur les 30 années que couvrent les images satellitaires. Ainsi, l'évolution spatio-temporelle de chaque classe d'occupation du sol a été évaluée à travers la détermination de leurs superficies sur les images traitées. Ensuite, pour évaluer globalement les gains et les pertes sur la période considérée, les taux de changements globaux (Tg) des superficies ont été calculés entre 1990 et 2020 sur la base de la formule ci-dessous (Soro *et al.*, 2014 ; Agbanou *et al.*, 2018).

$$Tg = \frac{(S_2 - S_1)}{S_1} * 100 \quad \text{Equation 2}$$

Tg est le taux de changement global. Il exprime la proportion d'une unité d'occupation qui change au cours d'une période donnée ou entre deux dates.

Par ailleurs, le taux moyen annuel d'expansion (Tc) a été calculé. Il définit la proportion de chaque unité qui a changé au cours d'une année et est évalué suivant la formule déjà utilisée par (Oloukoi *et al.* (2006) et Schulz *et al.* (2010).

$$Tc = \frac{(\ln S_2 - \ln S_1)}{(t_2 - t_1) * \ln e} * 100 \quad \text{Equation 3}$$

S_1 est la superficie d'un type d'occupation du sol à la date t_1 ; S_2 la superficie de celui-ci à la date t_2 , $t_2 - t_1$ étant le nombre d'années d'évolution, \ln le logarithme népérien et e la base des logarithmes népériens ($e = 2,71828$).

Les valeurs positives de Tc représentent une progression de la superficie du type d'occupation du sol pendant la période analysée tandis que les valeurs négatives indiquent la perte de superficie entre les deux dates. Quant aux valeurs proches de zéro, elles expriment une relative stabilité de la classe sur les deux périodes (Kpedenou *et al.*, 2016 ; Kpedenou *et al.*, 2017).

5.2.8 Matrice de transition

La matrice de transition permet de mettre en évidence les différentes formes de conversion subies par les types d'occupation du sol entre deux dates t_1 et t_2 (Schlaepfer *et al.*, 2002). Elle correspond à une matrice carrée décrivant de manière condensée les changements d'état entre les classes thématiques des deux dates (Schlaepfer, 2002 ; Bamba *et al.*, 2008). Les valeurs des colonnes et des lignes représentent des proportions des superficies occupées par

chaque type d'occupation du sol à la date correspondante. La matrice de Transition ne contient pas d'information sur la distribution spatiale des changements, ni sur leurs causes, mais tient uniquement compte des états des éléments aux temps initial et final (Samb *et al.*, 2018 ; Zakari *et al.*, 2018). Les états des types d'occupation du sol à la date t_0 sont indiqués par les valeurs des lignes de la matrice et les valeurs des colonnes correspondent aux états à la date t_1 . La matrice de transition est obtenue en faisant l'union des cartes d'occupation du sol deux à deux entre les dates t_0 et t_1 avec le logiciel ARCGIS 10.1. Pour ce faire, la superposition des couches vectorielles des cartes d'occupation du sol de la zone pour la période t_0 et t_1 a été effectuée par la commande « intersect » du logiciel ARCGIS 10.1. Dans ce travail, trois matrices de transition ont été réalisées, à savoir, celles de 1990 à 2000, de 2000 à 2010 et de 2010 à 2020 pour chacun des trois départements.

5.2.9 Elaboration des cartes de changement

L'élaboration des cartes de changements des différents types d'occupation du sol a été faite à partir des cartes d'occupation du sol obtenus après la classification supervisée des images satellitaires. Pour ce faire, la superposition des couches vectorielles des cartes d'occupation du sol de la zone pour la période 1990-2020 a été effectuée par la commande “union” du logiciel ARCGIS 10.1. Les statistiques concernant les superficies ont été calculées dans la table d'attribut des nouvelles couches obtenues.

5.3 Evaluation des impacts des plantations d'anacardiens et des parcs agroforestiers sur la diversité floristique et la structure diamétrique de la végétation arborescente dans les trois localités de la zone d'étude

L'évaluation de l'influence des types d'occupation du sol sur la diversité floristique et structurale des formations végétales a été faite à partir des relevés floristiques. Ces relevés ont permis de mesurer les différents indices de la biodiversité végétale dans les types d'occupation du sol les plus dominants dans les trois zones d'étude (Ouangolodougou, Tengréla et Tienko). Le choix de ces types d'occupation du sol a été fait en se basant sur la carte d'occupation du sol obtenue suite à la classification de l'image satellitaire la plus récente (2020). Ainsi, les trois types d'occupation du sol retenus sont les savanes, les plantations d'anacardiens et les parcs agroforestiers.

5.3.1 Inventaire floristique et mesures dendrométriques

5.3.1.1 Relevés floristiques et mesures dans les parcs agroforestiers et les plantations d'anacardiens

Les inventaires réalisés à partir de relevés de surface permettent d'obtenir des données quantitatives sur la composition floristique générale d'un biotope. La méthode consiste à recenser tous les taxons présents sur des superficies carrées, rectangulaires ou circulaires (Kouamé *et al.*, 2004). Les relevés de surface permettent d'évaluer la diversité des espèces végétales par une meilleure caractérisation de la composition floristique d'un type de végétation (Oke & Odebiyi, 2007). Les relevés ont été effectués dans des placettes carrées de 50 m x 50 m, soit 2500 m², dans les parcs agroforestiers et dans les plantations d'anacardiens (Figure 9). Cette taille de placette est la taille minimale recommandée dans les systèmes culturaux et couramment utilisée pour l'inventaire de la végétation ligneuse dans les zones de culture en zone soudanienne (Dan Guimbo *et al.*, 2011 ; Diedhiou *et al.*, 2014 ; Soulama *et al.*, 2015). Une fois la placette délimitée, les coordonnées géographiques ont été enregistrées à l'aide d'un récepteur GPS et le DBH des ligneux a été mesuré (Figure 10). Dans chaque placette, tous les ligneux associés aux cultures et ayant un DBH \geq 5 cm à 1,30 m du sol ont été identifiés et inventoriés, puis marquer afin qu'aucun individu ne soit pas pris en compte plus d'une fois. Au total, 100 relevés ont été effectués dans les parcs agroforestiers dont 40 à Tengréla, 40 à Ouangolodougou et 20 à Tienko. Il a été de même, 100 relevés ont été effectués dans les plantations d'anacardiens à raison de 40 à Tengréla, 40 à Ouangolodougou et 20 à Tienko.



Figure 9 : Installation d'une placette dans une plantation d'anacardiers à Tienko (Timité, 2020)



Figure 10 : Mesure de la circonférence d'un arbre de *Parkia biglobosa* dans un parc agroforestier à Ouangolodougou (Timité, 2020)

5.3.1.2 Relevés floristiques et mesures dans les savanes

L'inventaire dans les savanes a été effectué dans des placettes carrées de 30 m x 30 m soit 900 m². Cette taille de placette répond à l'aire minimale exigée par Braun-Blanquet pour la végétation ligneuse et a déjà été utilisée pour l'inventaire de la végétation ligneuse en zone soudanienne par de nombreux auteurs (Bouko *et al.*, 2007 ; Mbayngone *et al.*, 2008 ; Ganamé, 2021). Une fois la placette délimitée, la coordonnée géographique de celle-ci a été enregistrée à l'aide du récepteur GPS et le DBH a été mesuré. Dans chaque placette, un inventaire de toutes les espèces ligneuses ayant un DBH \geq 5 cm à 1,30 m du sol a été effectué. Ensuite le nom scientifique et ou vernaculaire des espèces et la hauteur des arbres ont été notées. La diversité ligneuse dans les savanes étant importante, les espèces non identifiées sur le terrain ont été récoltées, déterminées et confirmées ultérieurement à l'aide de l'herbier de l'Université Jean Lorougnon Guédé. De plus, ce sont au total 41 relevés qui ont été effectués dans les savanes, à raison de 15 à Tengréla, 15 à Ouangolodougou et 11 à Tienko.

5.3.2 Analyse des données de relevés floristiques

Les paramètres de caractérisation de la flore et de la diversité tels que la composition floristique, la richesse spécifique, l'indice de diversité de Shannon (H), l'indice d'équitabilité de Pielou (E) et l'indice de Simpson ont été considérés dans la présente étude. En ce qui concerne la diversité structurale, la densité, la surface terrière et la distribution des tiges en classes de diamètres ont été considérées. Ces paramètres de biodiversité ont permis de comparer entre elles les formations végétales des trois types d'occupation du sol. Enfin, l'indice de Jaccard a permis de déterminer la similitude entre les trois types d'occupation du sol.

5.3.2.1 Détermination de la richesse spécifique

La richesse spécifique ou richesse taxonomique d'un écosystème est définie par le nombre d'espèces ou de taxa qu'on peut y trouver, sans juger de leur fréquence, ni de leur abondance, ni même de la taille et de la productivité des espèces rencontrées (Kouamé, 1998 ; Zerbo *et al.*, 2016). Elle désigne donc le nombre de taxons qui se trouvent dans ce milieu. La classification selon Angiosperm Phylogeny Group IV (APG IV) a été utilisée pour actualiser les noms des espèces (Lebrun & Stork, 1997) et des familles botaniques. A partir de la liste floristique de chaque placette, les espèces associées à chaque formation végétale ont été mises en évidence et dénombrées.

5.3.2.2 Evaluation de la composition floristique

La composition floristique fait référence à la répartition des espèces inventoriées par familles, par genres, par types biologiques et aux affinités chorologiques. Dans la présente

étude, l'analyse de la composition floristique a permis de déterminer ces caractéristiques de la flore dans chacun des types d'occupation du sol.

5.3.2.2.1 Détermination des types biologiques

Le type biologique est une classification proposée par Raunkiaer (1934) afin d'organiser tous les végétaux selon le positionnement des organes de survie de la plante durant la période défavorable. Les types biologiques ont été définis sur la base de l'adaptation des plantes à l'hiver. Les terminologies utilisées dans la présente étude sont celles de Raunkiaer (1934) adaptées par Aubréville (1965) en vue d'établir une correspondance avec les zones de milieux tropicaux. Ainsi, les types biologiques des espèces recensées ont été déterminés en se référant aux travaux de Aké-Assi (2001). Ces types biologiques sont les géophytes (G), les hémicryptophytes (H), les thérophytes (Th), les chaméphytes (Ch) et les phanérophytes. Ce dernier groupe comprend les nanophanérophytes (np, arbrisseau de 0,25 à 2 m de hauteur), les microphanérophytes (mp, arbuste de 2 à 8 m de hauteur), les mésophanérophytes (mP, arbre de 8 à 30 m de hauteur) et les mégaphanérophytes (MP, arbre de plus de 30 m de hauteur).

5.3.2.2.2 Détermination des affinités chorologiques

La chorologie est l'étude de la distribution des taxons, en corrélation avec l'histoire de la terre et des climats (Spichiger *et al.*, 2002). L'affinité chorologique permet de définir l'aire de distribution phytogéographique d'une espèce. Elle a été établie pour apprécier la distribution générale des espèces recensées dans les différents types d'occupation du sol. L'on a ainsi distingué les espèces forestières (GC), les espèces des zones Guinéo-Congolaise et Soudano-Zambézienne (GC-SZ), les espèces savanicoles ou Soudano-Zambéziennes (SZ), les espèces Pantropicales (Pan) et les exotiques ou introduites (I).

5.3.2.3 Evaluation de la diversité Floristique

La diversité qualitative d'un milieu (richesse spécifique et composition floristique) est souvent insuffisante pour comparer la diversité de différentes communautés, parce qu'elle ne tient pas compte de l'abondance relative de chaque espèce (Krebs, 1989 ; Mbayngone *et al.*, 2008). Alors, la diversité quantitative a été déterminée afin de mieux apprécier l'effet du type de formation végétale sur la diversité floristique (Zerbo *et al.*, 2016).

5.3.2.3.1 Calcul de l'indice de diversité de Shannon-Weaver

L'indice de Shannon-Weaver (H') permet de quantifier l'hétérogénéité de la biodiversité d'un milieu et d'observer son évolution au cours du temps (Daget & Godron, 1982). Cet indice a l'avantage de n'être subordonné à aucune hypothèse préalable sur la distribution des espèces

et des individus (Chardy & Glemarc, 1977). Il est donné par l'expression mathématique suivante :

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2(p_i) \quad \text{Equation 4}$$

avec S: le nombre total d'espèces dans la communauté (richesse spécifique) et p_i : l'abondance relative de la i ème espèce dans la placette. $p_i = \frac{n_i}{N}$; n_i étant le nombre d'individus de l'espèce i dans l'échantillon et N le nombre total d'individus de toutes les espèces dans l'échantillon.

Cet indice varie entre 0 et $\ln(S)$ qui est la diversité maximale. Lorsque le peuplement est composé d'une seule espèce, il est égal à 0, tandis que pour une flore comportant un nombre élevé d'espèces, il tend vers $\ln(S)$. Cet indice varie généralement entre 1 et 5 (Felfili *et al.*, 2004). La diversité est faible lorsque H' est inférieur à 3 bits, moyenne si H' est comprise entre 3 et 4 bits, élevée quand H' est compris entre 4 et 5 bits. H' dépassent rarement 5 bits. Une forte valeur de H' est le signe d'une bonne biodiversité, susceptibles de se maintenir durablement (Adou Yao, 2005).

5.3.2.3.2 Calcul de l'indice d'équitabilité de Piélou

L'équitabilité de Piélou (Piélou, 1966) accompagne l'indice de Shannon et est également appelé indice d'équi-répartition (Blondel, 1979) ou de régularité (Frontier, 1976). Il permet d'estimer la répartition des individus au sein des espèces en évaluant la proportion des espèces dominantes et dominées. L'équitabilité de Piélou (E) est donnée par l'expression mathématique suivante :

$$E = \frac{H'}{\log_2 S} \quad \text{Equation 5}$$

avec H' , l'indice de diversité de Shannon et S, le nombre total d'espèces.

Cet indice varie de 0 à 1. Il tend vers 0 lorsque les individus d'une espèce dominant par rapport aux autres dans le milieu. Lorsqu'il tend vers 1, cela traduit une distribution régulière des individus des espèces sur l'ensemble du milieu concerné.

5.3.2.3.3 Calcul de l'indice de diversité de Simpson

L'indice de Simpson (1949), est essentiellement lié aux variations d'abondance entre espèces dominantes. Il a été obtenu par l'expression mathématique suivante :

$$D = \sum_{n=1}^S \frac{N_i(N_i-1)}{N(N-1)} \quad \text{Equation 6}$$

Avec D : l'indice de diversité de Simpson, N_i : le nombre d'individus de la i ème espèce, N : le nombre total d'espèces de la communauté. D est une valeur de la diversité entre 0 et 1, où 1 représente une forte biodiversité.

5.3.2.4 Evaluation de la ressemblance floristique entre les types d'occupation du sol

La mesure de la similarité de la composition floristique entre les types d'occupation du sol a été faite par l'indice de similarité de Jaccard (1908). Cet indice évalue la ressemblance entre deux milieux en faisant le rapport entre les espèces communes et celles propres à chacun. Cette analyse permet de rationaliser le classement des milieux par ordre d'affinité, afin d'obtenir une représentation synthétique de la communauté. L'indice de Jaccard (J) est calculé par l'expression qui suit :

$$J = \frac{c}{a+b+c} \quad \text{Equation 7}$$

Avec a le nombre d'espèces du milieu a ; b le nombre d'espèces du milieu b et c le nombre d'espèces commun aux deux milieux. Cet indice varie de 0 à 1 (Youness & Saporta, 2004).

5.3.2.5 Evaluation de la diversité structurale

La diversité structurale permet d'évaluer l'occupation de l'espace par les espèces végétales dans un biotope. Elle peut être évaluée au niveau horizontal et vertical. Nous nous sommes intéressés à la structure horizontale uniquement. Elle exprime l'agencement et la répartition des individus suivant le plan horizontal. Elle s'exprime à travers de nombreux paramètres. Dans la présente étude, nous avons considéré la densité, l'aire basale et la répartition des individus des ligneux par classes de diamètre.

5.3.2.5.1 Calcul de la densité des espèces

La densité (d) est définie comme le nombre d'individus par unité de surface (Rollet, 1979). Elle traduit l'occupation du sol par les espèces. La densité (d) d'un peuplement est un bon indicateur de la disponibilité des taxons dans un milieu donné (Roselt & Oss, 2004). Il a été calculé pour chaque milieu (parc agroforestier, savane et plantation d'anacardier) grâce à la formule ci-dessous :

$$d = \frac{N}{s} \quad \text{Equation 8}$$

N est le nombre d'individus et s la surface explorée.

5.3.2.6 Calcul de la surface terrière

La surface terrière (G) désigne la surface des sections des arbres évaluée à la base des troncs à 1,30 m du sol. Elle est exprimée en mètre carré par hectare (m²/ ha). Elle est obtenue à partir de la formule suivante :

$$G = \sum_{i=1}^n D^2 \frac{\pi}{4 S} \quad \text{Equation 9}$$

avec $\pi = 3,1416$; D le diamètre déterminé à partir de la circonférence en m (Rollet, 1979). Le diamètre a été obtenu en divisant la circonférence obtenue sur le terrain par 3,14. S est la superficie explorée en ha.

5.3.2.7 Evaluation de la structure diamétrique

La distribution des individus par classes de diamètres permet de rendre compte de la structure démographique des peuplements des biotopes. Les individus inventoriés ont été regroupés en classes de diamètres à savoir [5 ; 10],]10 ; 20],]20 ; 30],]30 ; 40],] 40 ; 50],] 50 ; +[cm (Kouamé, 1998 ; Wala *et al.*, 2005 ; Kpangui, 2015). La structure diamétrique permet de rendre compte de la structure démographique des peuplements ligneux et d'apprécier l'état de la formation végétale à pouvoir se développer, naturellement dans les différents milieux à travers des histogrammes de distribution des tiges par classe de diamètre. Lorsque la distribution des classes de diamètre de tous les individus montre une courbe en « L », le milieu est dominé par de jeunes individus. La configuration de l'histogramme de la structure diamétrique du peuplement de chaque biotope renseigne, par la forme de la courbe produite, sur la stabilité du milieu. Ainsi, la forme de «L» indique un milieu perturbé et une forme de «J» normal traduit un milieu bien conservé. L'allure en «L» caractérise un peuplement stable. L'allure de la courbe en «J» caractérise un peuplement instable.

5.3.3 Traitements statistiques des données

5.3.3.1 Tests de comparaison des moyennes

Un test de comparaison des moyennes des paramètres et indices calculés a été faite entre les trois milieux étudiés. L'objectif est d'évaluer l'influence des affectations des terres sur la diversité floristique et structurale des formations, Pour ce faire, l'analyse de variance (ANOVA) à un facteur a été utilisée. Le but est de vérifier si les moyennes sont significativement différentes dans les trois milieux. L'analyse de variance repose sur trois principes : l'indépendance des observations, la normalité de la distribution et l'homogénéité des variances (l'homoscédasticité).

Des transformations logarithmiques ont été appliquées aux variables qui ne présentaient pas une distribution normale (Mashapa *et al.*, 2013 ; Lankoandé *et al.*, 2016). La normalité a été vérifiée par le test de Shapiro-Wilk et l'homogénéité des variances a été vérifiée par le test de Levene. Le seuil de significativité p pour tous les tests a été fixé à 5 % (0,05). Lorsque la probabilité associée au test F de Fischer de l'ANOVA conclut à une différence significative au seuil de 5 % ($p < 0,05$) entre les milieux comparés, un test post-hoc a été réalisé pour savoir lesquels des milieux sont statistiquement différents. La comparaison des moyennes deux à deux a été réalisée en utilisant l'ajustement de Bonferroni-Holm (Glèlè *et al.*, 2006). Les résultats des tests statistiques ont été présentés sous forme de boxplots.

5.3.3.2 Analyses statistiques multidimensionnelles

Une Analyse en Composante Principale (ACP) a été réalisée dans le but d'établir une typologie des différents types d'occupation du sol en fonction de leur diversité floristique et structurale. Il s'est agi de rassembler dans un même groupe (classe), les placettes présentant des ressemblances floristiques et structurales. L'ACP traite uniquement les données numériques. Elle a permis d'établir une relation entre l'ensemble des indices de biodiversité et les placettes dans un plan à deux dimensions. Le graphique se présente sous forme de nuage de points dans un espace de dimension réduite de telle manière que l'inertie portée par cet espace soit le plus grand possible. Les indices retenus pour l'ACP sont ceux pour lesquels il y a une différence significative entre les trois types d'occupation du sol, à savoir : la richesse spécifique, la diversité de Shannon, l'équitabilité de Pielou, la densité des espèces et la surface terrière.

En plus de l'ACP, nous avons réalisé une Analyse Factorielle Multiple (AFM). C'est une analyse couramment utilisée en écologie. L'AFM traite les données qualitatives et quantitative et a été adoptée dans cette étude pour établir une typologie des parcs agroforestiers et des plantations d'anacardiens. Ces deux milieux étant agricoles, il était important pour nous d'apprécier la répartition des espèces conservées par les populations dans ces espaces cultivés et les différents types de plantations d'anacardiens et de parcs agroforestiers qui existent. A la suite de l'AFM, une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) a été effectuée afin de faire ressortir les groupes de parcs agroforestiers et de plantations d'anacardiens présentant des similitudes sur le plan de la diversité floristique et structurale.

5.4 Analyse de la variabilité climatique et des stratégies d'adaptation des exploitants agricoles dans les localités d'étude

5.4.1 Analyse de la variabilité climatique

5.4.1.1 Analyse de l'évolution interannuelle des variables climatiques de 1990 à 2020

L'évolution interannuelle de la pluviométrie annuelle et de la température maximale et minimale a été faite à travers une représentation graphique de ces variables de 1990 à 2020 afin de déterminer les tendances globales. Quant à l'analyse des tendances chronologiques de la température, elle a été réalisée à l'aide du logiciel R version 4.2.1.

5.4.1.2 Analyse de l'évolution interannuelle de la durée de la saison culturale, du nombre de jours de pluie et des épisodes de sécheresse

L'évolution interannuelle des paramètres agroclimatiques a été déterminée sur la période de 1990 à 2020 pour les différentes localités étudiées. La durée de la saison culturale est définie comme la différence, en jours, entre les dates de fin et de début des pluies. Dans la présente étude, la date de début de la saison culturale est la date à laquelle un cumul de pluie de 25 mm est enregistré sur une période de 10 jours consécutifs sans séquence sèche de plus de 7 jours consécutifs. La fin de la saison des pluies est définie comme la date pendant laquelle la réserve utile en eau du sol est nulle. La réserve utile du sol est fixée à 100 mm et l'évapotranspiration journalière à 5 mm (Lodoun *et al.*, 2013 ; Kima *et al.*, 2015 ; Dasmané *et al.*, 2016).

Enfin, les séquences sèches ont été déterminées par l'évolution des plus grands écarts (exprimés en nombre de jours) entre deux pluies consécutives pendant la saison culturale (Ibrahim *et al.*, 2012 ; Allé *et al.*, 2013 ; Dasmané *et al.*, 2016) de 1990 à 2020. Dans cette étude, un jour est considéré comme pluvieux si le cumul des pluies journalières reçues est supérieur ou égal au seuil de 1 mm. Dans le cas contraire, il est considéré comme un jour sec. Ainsi, une période sèche correspond aux jours consécutifs sans pluie d'au moins un 1 mm dans une longue séquence.

Le logiciel R-instat 0.7.2 a été utilisé pour calculer les différents paramètres selon les méthodes proposées par Stern *et al.* (2021).

5.4.1.3 Analyse statistique des données climatiques

Il existe plusieurs méthodes d'analyse statistique des tendances des variables climatiques. Dans la présente étude, trois tests complémentaires ont été utilisés : le test non paramétrique de Mann-Kendall, le test Rho de Spearman et pente de Sen.

Le test de Mann-Kendall (Mann, 1945 ; Kendall, 1975) a été utilisé car il ne fait aucune hypothèse sur la distribution des données ou la linéarité de la tendance. Le test de Mann-Kendall a été largement utilisé en hydrologie et en climatologie pour la détection des tendances (Gocic & Trajkovic, 2013 ; Hallouz *et al.*, 2019). Ce test ne nécessite pas que les données soient normalement distribuées. De nombreux auteurs ont démontré la puissance de ce test pour détecter les tendances chronologiques monotones hydrologiques et ont montré sa robustesse pour les données à long terme (Yue & Wang, 2002 ; Hallouz *et al.*, 2019). Il a été utilisé dans cette étude pour identifier la tendance dans la série chronologique de 1990 à 2020. Il permet d'étudier la présence ou l'absence de tendance dans la série chronologique donnée et est basé sur la statistique S définie comme suit :

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad \text{Equation 10}$$

où S désigne la relation entre le nombre de paires d'observations, n le nombre total d'échantillons et x_j représente les valeurs de données.

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1, x > 0 \\ 0, x = 0 \\ -1, x < 0 \end{cases} \quad \text{Equation 11}$$

Mann (1945) et Kendall (1975) ont montré que lorsque $n \geq 8$, la statistique S est approximativement distribuée avec la moyenne et la variance, comme suit:

$$E(S) = 0 \quad \text{Equation 12}$$

$$\text{Var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i(i-1)(2i+5)}{18} \quad \text{Equation 13}$$

où t_i est le nombre de liens d'étendue i. La normale standard multivariable Z_{MK} est calculée comme suit :

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\text{Var}(S)} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\text{Var}(s)} & S < 0 \end{cases} \quad \text{Equation 14}$$

La statistique standardisée Z_{MK} suit la distribution normale standard avec la moyenne de 0 et la variance de 1. La statistique de test Z est utilisée comme mesure de la signification de la tendance. En fait, cette statistique de test est utilisée pour tester l'hypothèse nulle, H_0 . Si $|Z|$ est supérieur à $Z_{\alpha/2}$, où α représente le niveau de signification choisi (ex : 5 % avec $Z_{0,025} =$

1,96), alors l'hypothèse nulle est invalide ce qui implique que la tendance est significative (Motiee & Mcbean, 2009). Le signe de la tendance est défini par la statistique de Mann-Kendall Z_{MK} . Si Z est positif alors la tendance est à la hausse mais, si Z est négatif, alors la tendance est à la baisse. Ce test est recommandé par l'Organisation Météorologique Mondiale (Mitchell *et al.*, 1966 ; Sirois, 1998). Beaucoup de chercheurs l'ont utilisé dans leurs études ; c'est le cas de Buffoni *et al.* (1999), Chaouche *et al.* (2010) et Trambly *et al.* (2013) pour la détection de tendances dans les séries pluviométriques et pour tester leur significativité.

Le test Rho de Spearman est utilisé (Spearman, 1904 ; Sneyers, 1990) une autre méthode non paramétrique basée sur le rang utilisé pour l'analyse des tendances et a été appliqué comme comparaison avec le test de Mann-Kendall. Dans ce test, l'hypothèse nulle (H_0) est que toutes les données de la série temporelle sont indépendantes et distribuées de manière identique ; tandis que l'hypothèse alternative (H_1) indique qu'il existe des tendances croissantes ou décroissantes (Yue & Wang, 2002).

Les statistiques de test R_{sp} et les statistiques standardisées Z_{sp} sont définies comme suit :

$$- \quad R_{sp} = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (D_i - i)^2}{2(n^2 - 1)} \quad \text{Equation 15}$$

$$- \quad Z_{sp} = R_{sp} \sqrt{\frac{n-2}{1-R_{sp}^2}} \quad \text{Equation 16}$$

Dans ces équations, D_i est le rang de la i ème observation, i étant le numéro de l'ordre chronologique, n la longueur totale des données de séries temporelles et Z_{sp} la distribution de t-Student avec le degré de liberté ($n-2$). Les valeurs positives de la statistique de test normalisée Z_{sp} indiquent des tendances à la hausse, tandis que les Z_{sp} négatives indiquent des tendances à la baisse dans les séries temporelles. La valeur critique de t à un niveau de signification de 0,05 de la table de distribution de Student est définie par $t(n-2, 1-\alpha/2)$ (Dahmen & Hall, 1990). Si $|Z_{sp}| > t(n-2, 1-\alpha/2)$, alors H_0 est rejetée et une tendance significative existe dans la série chronologique étudiée.

Enfin, l'ampleur des changements dans les tendances des données sur les précipitations et les températures a été déterminée en utilisant la pente de Sen. L'approche de Sen (1968) permet une évaluation plus fiable de la tendance montrée par la méthode de Mann-Kendall (Taibi *et al.*, 2015 ; Akpoti *et al.*, 2016).

Les tests non paramétriques de Mann-Kendall, Spearman et la pente de Sen pour les données climatiques ont été calculés en utilisant le package Trend du logiciel R (Pohlert, 2020).

5.4.2 Détermination des perceptions de la variabilité climatique et des stratégies d'adaptation des exploitants agricoles

Les informations sur les perceptions et les stratégies d'adaptation à la variabilité climatique adoptées par les exploitants agricoles ont été collectées en réalisant une enquête socio-agronomique auprès des chefs d'exploitations agricoles. Ainsi, le questionnaire préconçu a été soumis aux enquêtés de décembre 2019 à juillet 2020. Ces derniers étaient constitués des chefs d'exploitations agricoles adultes âgés au minimum de 30 ans. Des hommes et femmes ont été sélectionnés de manière aléatoire dans les trois localités de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire (Tengréla, Ouangolodougou et Tienko). Cet âge minimum (30 ans) permet d'avoir des réponses fiables de personnes assez matures et expérimentées. En plus, le temps de présence dans le village (minimum 20 ans), la principale activité exercée (l'agriculture) et l'ancienneté dans l'agriculture (minimum 10 ans) ont été pris en compte comme critères.

Le questionnaire a été d'abord pré-testé lors d'une visite de reconnaissance afin de corriger toute formulation ambiguë ou litigieuse ou toute information inutile avant d'être réadministré. Le questionnaire définitif (Annexe 1) était composé de quatre sections principales, à savoir : les caractéristiques sociologiques du ménage, les principales cultures mises en place et les pratiques agricoles adoptées, l'observation du changement climatique et les stratégies adoptées pour y faire face. Il a été administré soit au domicile des enquêtés, soit dans leur exploitation agricole selon leur disponibilité (Figure 11). Avant d'administrer le questionnaire, le projet d'enquête a été largement expliqué aux participants. Ainsi, tous les chefs d'exploitation interrogés ont donné leur consentement. Au total, 287 chefs d'exploitations agricoles, hommes et femmes ont été interrogés, dont 85 à Ouangolodougou, 102 à Tengréla et 100 à Tienko.



Figure 11 : Séance du questionnaire auprès des chefs d'exploitations agricoles
a : enquête au champ, b : enquête à domicile

PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSION

Chapitre 6. Dynamiques spatiotemporelles de la végétation dans les localités d'étude

6.1 Précision des cartes des types d'occupation du sol

Au total, neuf types d'occupation du sol ont été cartographiés dans les trois localités de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire. Il s'agit des savanes boisées et arborées, des savanes arbustives, des parcs agroforestiers, des plantations d'anacardiens, des sols nus/habitations/savanes herbeuses, des cours d'eau, des jachères, des forêts (claires, galeries, sèches) et des zones brûlées (Annexe 3).

L'évaluation de la précision globale révèle des concordances significatives entre les points classés et les points de référence en 1990, 2000, 2010 et 2020, respectivement pour Tengréla, Ouangolodougou et Tienko (Tableau II). Les pourcentages de la précision globale et du coefficient de Kappa pour toutes les classifications (1990, 2000, 2010 et 2020) dans les trois départements sont supérieures à 75 %.

Tableau II : Indices d'évaluation de la qualité des images satellitaires classifiées

| Années de l'image | Tengréla | | Ouangolodougou | | Tienko | |
|-------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|
| | Précision globale (%) | Coefficient de Kappa (%) | Précision globale (%) | Coefficient de Kappa (%) | Précision globale (%) | Coefficient de Kappa (%) |
| 1990 | 89,63 | 87 | 85,84 | 83 | 89,63 | 87 |
| 2000 | 82,36 | 80 | 88,82 | 87 | 82,36 | 80 |
| 2010 | 83,94 | 80 | 92,82 | 91 | 83,94 | 80 |
| 2020 | 90,79 | 89 | 92,34 | 91 | 90,79 | 89 |

Les Tableaux III, IV et V présentent les matrices de confusion des images satellitaires classifiées respectivement dans les départements de Tengréla, Ouangolodougou et Tienko. Des confusions ont été couramment observées, notamment entre savanes arborées et savanes arbustives, jachères et parcs agroforestiers, et entre les jachères et les savanes arbustives et arborées.

Dans le département de Tengréla, en 1990, les plus fortes confusions ont été observées entre les jachères et les savanes arborées (18,18 %), les savanes arborées et les parcs agroforestiers (20,45 %) et les plus grandes ont été entre les plantations d'anacardiens et les parcs agroforestiers (25 %). En 2000, il y a eu une plus grande confusion entre les savanes arbustives et les savanes arborées (22,73 %), les parcs agroforestiers (18,18 %), les plantations d'anacardiens (15,91 %) et les jachères (18,75 %). En 2010, la moitié des jachères a été classée dans les savanes arborées (25 %) et les savanes arbustives (25 %). Aussi, 21,95 % des parcs

agroforestiers ont été confondus aux savanes arborées et 18,52 % ont été confondus aux sols nus et habitations. Enfin, en 2020, la plus grande confusion a été faite entre les savanes arborées et les savanes arbustives avec 31,48 % de confusion.

Dans le département de Ouangolodougou, en 1990, les plus fortes confusions, ont été observées entre les savanes arbustives et les parcs agroforestiers (20,51 %), les jachères et les parcs agroforestiers (20 %), les jachères et les savanes arborées (20 %) puis les forêts et les savanes arborées (18,33 %). En 2000, de fortes confusions ont été faites entre les forêts et les plantations d'anacardiens (22,58 %), les jachères et les savanes arbustives (28,57 %), et les jachères et les savanes arborées (14,29 %). Pour l'année 2010, les plus fortes confusions ont été observées entre les savanes arborées et les savanes arbustives (10,42 %), puis entre les zones brûlées et les sols nus et habitations (13,64 %). Enfin, en 2020, 21,57 % des savanes arborées ont été classés dans les plantations d'anacardiens et 16,67 % des jachères ont été classés dans les savanes arbustives.

Dans la localité de Tienko, en 1990, les principales confusions ont été observées entre les jachères et les parcs agroforestiers (22,22 %) et entre les savanes arborées et savanes arbustives (23,53 %). En 2000, 38,71 % de la classe sol nu et habitation a été classée dans les zones brûlées. En 2010, de fortes confusions ont été observées entre les parcs agroforestiers et les sols nus et habitations (43,48 %) et les zones brûlées et les parcs agroforestiers (34,04 %). Enfin, en 2020, de fortes confusions ont été observées entre les jachères et les parcs agroforestiers (40 %), et les savanes arborées et arbustives (19,15 %).

Tableau III : Matrice de confusions des images satellitaires classifiées de Tengréla

| 1990 | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | CE | F | J | PAg | PA | SAb | Sarb | Sn | ZB |
| CE | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F | 0 | 91,14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| J | 0 | 0 | 72,73 | 1,6 | 0 | 2,27 | 0 | 0 | 0 |
| PAg | 0 | 0 | 4,55 | 88 | 25 | 20,45 | 0 | 0 | 0 |
| PA | 0 | 0 | 0 | 0 | 75 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S Ab | 0 | 8,86 | 18,18 | 0,8 | 0 | 65,91 | 0 | 0 | 0 |
| S arb | 0 | 0 | 4,55 | 9,6 | 0 | 11,36 | 100 | 0 | 0 |
| S n | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 |
| Z B | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 2000 | | | | | | | | | |
| | CE | F | J | PAg | PA | SAb | Sarb | Sn | ZB |
| CE | 85,71 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F | 0 | 87,18 | 0 | 0 | 0 | 1,89 | 0 | 0 | 0 |
| J | 0 | 0 | 68,75 | 7,27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PAg | 0 | 0 | 12,5 | 82,73 | 3,13 | 1,89 | 18,18 | 3,85 | 0 |
| PA | 0 | 6,41 | 0 | 3,64 | 93,75 | 13,21 | 15,91 | 0 | 0 |
| S Ab | 0 | 6,41 | 0 | 0 | 0 | 79,25 | 22,73 | 0 | 0 |
| S arb | 0 | 0 | 18,75 | 2,73 | 3,13 | 3,77 | 43,18 | 0 | 0 |
| S n | 0 | 0 | 0 | 3,64 | 0 | 0 | 0 | 96,15 | 0 |
| Z B | 14,29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 2010 | | | | | | | | | |
| | CE | F | J | PAg | PA | SAb | Sarb | Sn | ZB |
| CE | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F | 0 | 100 | 0 | 0 | 1,35 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| J | 0 | 0 | 41,67 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PAg | 0 | 0 | 8,33 | 79,13 | 0,68 | 21,95 | 0 | 18,52 | 0 |
| PA | 0 | 0 | 0 | 0 | 86,49 | 4,88 | 3,33 | 0 | 0 |
| S Ab | 0 | 0 | 25 | 6,09 | 5,41 | 56,1 | 0 | 0 | 0 |
| S arb | 0 | 0 | 25 | 14,78 | 6,08 | 17,07 | 96,67 | 0 | 9,52 |
| S n | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 81,48 | 0 |
| Z B | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 90,48 |
| 2020 | | | | | | | | | |
| | CE | F | J | PAg | PA | SAb | Sarb | Sn | ZB |
| CE | 100 | 0 | 0 | 6,67 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F | 0 | 94,83 | 0 | 0 | 3,42 | 11,11 | 0 | 0 | 0 |
| J | 0 | 0 | 90 | 0 | 0 | 1,85 | 1,61 | 0 | 0 |
| PAg | 0 | 0 | 10 | 90,67 | 4,27 | 0 | 0 | 1,59 | 0 |
| PA | 0 | 1,72 | 0 | 0 | 92,31 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S Ab | 0 | 3,45 | 0 | 0 | 0 | 55,56 | 11,29 | 0 | 0 |
| S arb | 0 | 0 | 0 | 1,33 | 0 | 31,48 | 87,1 | 0 | 0 |
| S n | 0 | 0 | 0 | 1,33 | 0 | 0 | 0 | 98,41 | 0 |
| Z B | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 |

CE : Cours d'eau ; F : Forêt ; J : Jachère ; PAg : Parc agroforestier ; PA : Plantation d'anacardiens ; SAb : Savane arborée/boisée ; Sarb : Savane arbustive ; Sn : Sol nu/habitation/savane herbeuse ; ZB : Zone brûlée. Les pourcentages en fond gris dans la diagonale sont ceux qui ont été bien classés pour le type d'occupation du sol. Les pourcentages en gras sont les plus fortes confusions observées entre eux.

Tableau IV : Matrice de confusion des images satellitaires classifiées de Ouangolodougou

| 1990 | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| | CE | F | J | PAg | PA | S Ab | S arb | S n | ZB |
| CE | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F | 0 | 84,75 | 0 | 0 | 0 | 18,33 | 0 | 0 | 0 |
| J | 0 | 0 | 60 | 0 | 0 | 1,67 | 0 | 0 | 0 |
| PAg | 0 | 0 | 20 | 92,59 | 0 | 0 | 20,51 | 35 | 4 |
| PA | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S Ab | 0 | 15,25 | 20 | 0 | 0 | 80 | 0 | 0 | 0 |
| S arb | 0 | 0 | 0 | 1,85 | 0 | 0 | 79,49 | 0 | 4 |
| S n | 0 | 0 | 0 | 5,56 | 0 | 0 | 0 | 65 | 0 |
| Z B | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 92 |
| 2000 | | | | | | | | | |
| | CE | F | J | PAg | PA | S Ab | S arb | S n | ZB |
| CE | 97,14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F | 2,86 | 77,42 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| J | 0 | 0 | 57,14 | 4,94 | 0 | 0 | 9,38 | 0 | 0 |
| PAg | 0 | 0 | 0 | 88,89 | 0 | 6 | 3,13 | 2,7 | 0 |
| PA | 0 | 22,58 | 0 | 0 | 100 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| S Ab | 0 | 0 | 14,29 | 0 | 0 | 82 | 0 | 0 | 0 |
| S arb | 0 | 0 | 28,57 | 2,47 | 0 | 8 | 87,5 | 0 | 0 |
| S n | 0 | 0 | 0 | 3,7 | 0 | 0 | 0 | 97,3 | 9,43 |
| Z B | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 90,57 |
| 2010 | | | | | | | | | |
| | CE | F | J | PAg | PA | S Ab | S arb | S n | ZB |
| CE | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F | 0 | 93,75 | 0 | 0 | 0 | 1,61 | 0 | 0 | 0 |
| J | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 8,33 | 0 | 0 |
| PAg | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 2,08 | 0 | 9,09 |
| PA | 0 | 0 | 0 | 0 | 91,53 | 1,61 | 4,17 | 0 | 0 |
| S Ab | 0 | 6,25 | 0 | 0 | 8,47 | 96,77 | 10,42 | 0 | 0 |
| S arb | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 75 | 0 | 0 |
| S n | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 13,64 |
| Z B | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 77,27 |
| 2020 | | | | | | | | | |
| | CE | F | J | PAg | PA | S Ab | S arb | S n | ZB |
| CE | 96 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F | 0 | 87,5 | 8,33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| J | 0 | 0 | 75 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PAg | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 2,13 | 0 | 0 |
| PA | 0 | 0 | 0 | 0 | 98,04 | 21,57 | 0 | 0 | 0 |
| S Ab | 0 | 12,5 | 0 | 0 | 1,96 | 76,47 | 0 | 0 | 0 |
| S arb | 0 | 0 | 16,67 | 0 | 0 | 1,96 | 95,74 | 0 | 0 |
| S n | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 |
| Z B | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,13 | 0 | 100 |

CE : Cours d'eau ; F : Forêt ; J : Jachère ; PAg : Parc agroforestier ; PA : Plantation d'anacardiens ; SAb : Savane arborée/boisée ; Sarb : Savane arbustive ; Sn : Sol nu/habitation/savane herbeuse ; ZB : Zone brûlée. Les pourcentages en fond gris dans la diagonale sont ceux qui ont été bien classés pour le type d'occupation du sol. Les pourcentages en gras sont les plus fortes confusions observées entre eux.

Tableau V : Matrice de confusion des images satellitaires classifiées de Tienko

| 1990 | | | | | | | | | |
|-------|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | CE | F | J | PAg | PA | S Ab | S arb | S n | Z B |
| CE | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5,88 | 0 | 0 |
| F | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| J | 0 | 0 | 72,22 | 0 | 0 | 14,71 | 5,88 | 0 | 0 |
| PAg | 0 | 0 | 22,22 | 95,83 | 0 | 0 | 8,82 | 13,16 | 0 |
| PA | 0 | 0 | 0 | 0 | 85,71 | 2,94 | 2,94 | 0 | 0 |
| S Ab | 0 | 0 | 5,56 | 2,78 | 0 | 52,94 | 0 | 0 | 0 |
| S arb | 0 | 0 | 0 | 0 | 14,29 | 23,53 | 82,35 | 0 | 0 |
| S n | 0 | 0 | 0 | 1,39 | 0 | 0 | 0 | 86,84 | 0 |
| Z B | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 2000 | | | | | | | | | |
| | CE | F | J | PAg | PA | S Ab | S arb | S n | ZB |
| CE | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 12,5 | 0 | 0 | 0 |
| J | 0 | 0 | 73,33 | 0 | 0 | 2,5 | 8,82 | 0 | 0 |
| PAg | 0 | 0 | 0 | 97,87 | 0 | 0 | 5,88 | 3,23 | 0 |
| PA | 0 | 0 | 0 | 0 | 75 | 0 | 5,88 | 0 | 0 |
| S Ab | 0 | 0 | 6,67 | 0 | 0 | 82,5 | 5,88 | 0 | 0 |
| S arb | 0 | 0 | 20 | 0 | 25 | 2,5 | 73,53 | 0 | 0 |
| S n | 0 | 0 | 0 | 2,13 | 0 | 0 | 0 | 58,06 | 0 |
| Z B | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 38,71 | 100 |
| 2010 | | | | | | | | | |
| | CE | F | J | PAg | PA | S Ab | S arb | S n | ZB |
| CE | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 5,88 | 0 | 0 | 0 |
| J | 0 | 0 | 76,92 | 0 | 0 | 5,88 | 0 | 0 | 0 |
| PAg | 0 | 0 | 15,38 | 81,58 | 0 | 0 | 2,5 | 56,52 | 34,04 |
| PA | 0 | 0 | 0 | 0 | 96 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S Ab | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 88,24 | 10 | 0 | 0 |
| S arb | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 87,5 | 0 | 0 |
| S n | 0 | 0 | 0 | 18,42 | 0 | 0 | 0 | 43,48 | 0 |
| Z B | 0 | 0 | 7,69 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 65,96 |
| 2020 | | | | | | | | | |
| | CE | F | J | PAg | PA | S Ab | S arb | S n | ZB |
| CE | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 14,89 | 0 | 0 | 0 |
| J | 0 | 0 | 50 | 0 | 0 | 0 | 5,41 | 0 | 0 |
| PAg | 0 | 0 | 40 | 100 | 4 | 0 | 10,81 | 3,23 | 7,32 |
| PA | 0 | 0 | 0 | 0 | 89,33 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S Ab | 0 | 0 | 10 | 0 | 1,33 | 65,96 | 0 | 0 | 0 |
| S arb | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19,15 | 83,78 | 0 | 0 |
| S n | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 96,77 | 9,76 |
| Z B | 0 | 0 | 0 | 0 | 5,33 | 0 | 0 | 0 | 82,93 |

CE : Cours d'eau ; F : Forêt ; J : Jachère ; PAg : Parc agroforestier ; PA : Plantation d'anacardiens ; SAb : Savane arborée/boisée ; Sarb : Savane arbustive ; Sn : Sol nu/habitation/savane herbeuse ; ZB : Zone brûlée. Les pourcentages en fond gris dans la diagonale sont ceux qui ont été bien classés pour le type d'occupation du sol. Les pourcentages en gras sont les plus fortes confusions observées entre eux.

6.2 Cartographie et proportion des types d'occupation du sol des localités d'étude

6.2.1 Cartographie et proportion des types d'occupation du sol à Tengréla

Les cartes d'occupations du sol de 1990, 2000, 2010 et 2020 du département de Tengréla sont présentées par la Figure 12. De façon visuelle, l'on remarque que les savanes, les parcs agroforestiers et les ilots de forêt dominaient de la végétation en 1990. Presqu'aucune plantation d'anacardiens n'existait à cette date. Sur la carte de 2000, on constate l'apparition des plantations d'anacardiens qui s'accroît en 2010. En 2020, on constate une forte régression des parcs agroforestiers et des forêts au profit des plantations d'anacardiens.

De 1990 à 2020, les superficies des différentes formations végétales ont connu des dynamiques spatiales importantes (Figure 13). En effet, en 1990, les parcs agroforestiers constituaient 50,34 % de la végétation de Tengréla, les savanes arborées occupaient 19,17 % et les savanes arbustives 15,69 %. Quant aux superficies forestières, elles occupaient 6,63 % du paysage. En 1990, très peu de plantations d'anacardiens (0,1 %) existaient dans le département de Tengréla. En 2000, les proportions des superficies des parcs agroforestiers ont connu une légère diminution, occupant désormais 48,03 % du paysage. A cette période, les savanes arbustives occupaient 20,13 % de la végétation. Quant aux savanes arborées, elles occupaient 15,18 % de la végétation. Par ailleurs, on note une diminution des forêts et une légère augmentation des superficies des plantations d'anacardiens. En 2010, les savanes arbustives ont connu une augmentation passant de 15,69 % en 1990 à 32,34 %. Parallèlement, on note une augmentation de la superficie des plantations d'anacardiens dans le département, de 1,02 % en l'an 2000, leur proportion est passée à 6,71 %. À l'opposé, une régression des proportions des parcs agroforestiers a été observée passant de 50,34 % en 1990 à 42,61 %. En 2020, la végétation de Tengréla est dominée par les savanes arbustives qui occupent une proportion de 39,99 %. Le changement le plus remarquable est noté au niveau des plantations d'anacardiens, leur proportion est passée de 0,00 % en 1990 à 14,39 %. Quant aux parcs agroforestiers, leurs proportions ont fortement diminué, passant de 50,34% en 1990 à 19,73%.

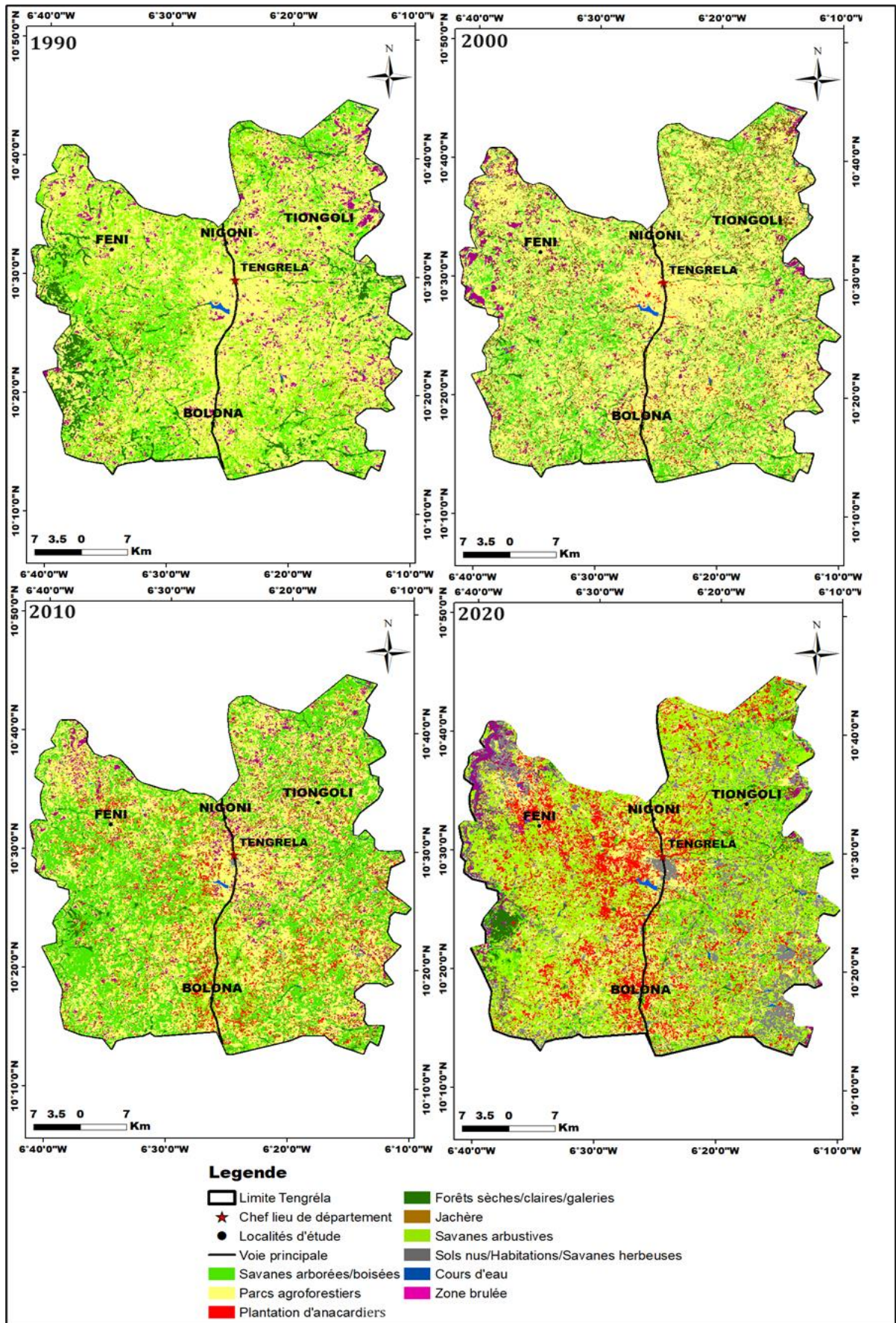


Figure 12 : Cartes d'occupation du sol du département de Tengrela de 1990 à 2020

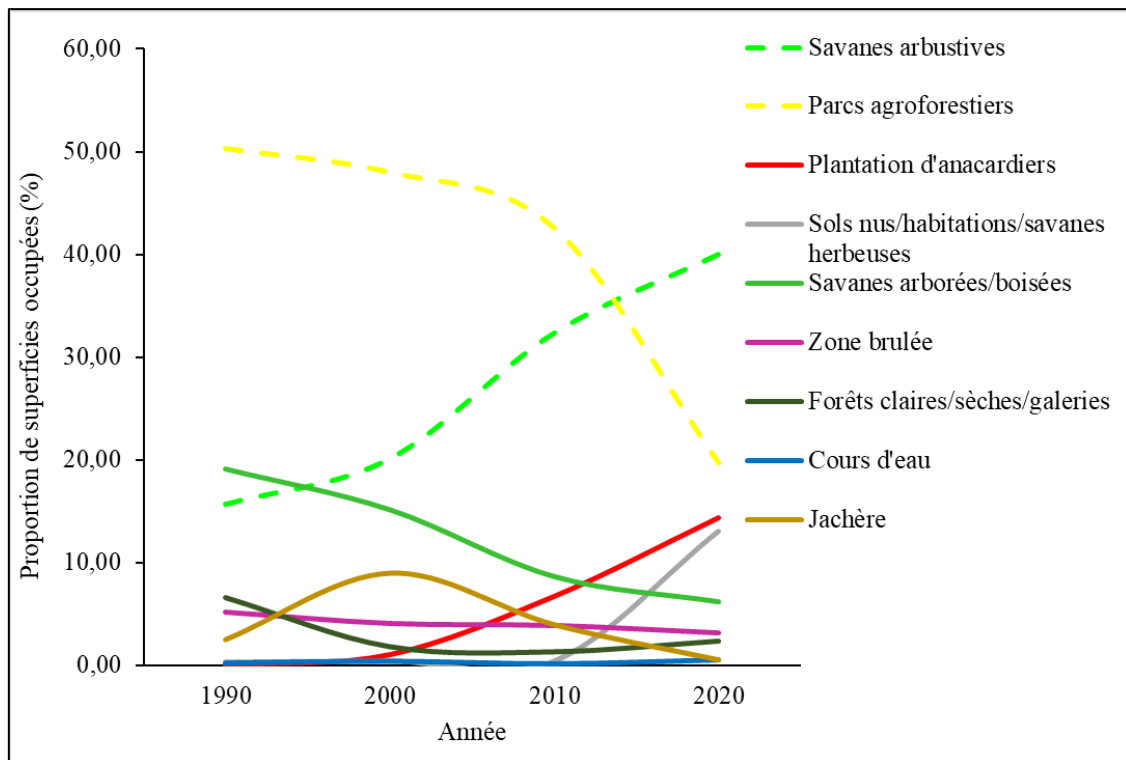


Figure 13 : Evolution des superficies des types d'occupation du sol de 1990 à 2020 dans le département de Tengréla

6.2.2 Cartographie et proportion des types d'occupation du sol à Ouangolodougou

Les figures 14 et 15 présentent les cartes et l'évolution des superficies des types d'occupation du sol en 1990, 2000, 2010 et 2020 du département de Ouangolodougou. Ainsi, les superficies des savanes, des plantations d'anacardiers, des sols nus et habitations ont connu une augmentation. A l'opposé, les superficies des parcs agroforestiers, les forêts et les cours d'eau ont connu une régression. En 1990, les parcs agroforestiers 34,41 % de la végétation, les savanes arbustives 35,91 % et les forêts 6,98 % constituaient la matrice de la végétation. A cette date, très peu de plantations d'anacardiers existaient dans le département. En 2000, les superficies des parcs agroforestiers, des savanes arbustives et des forêts ont baissé, occupant respectivement 33,49 %, 22,82 % et 1,56 % de la végétation. A l'opposé, une légère augmentation des superficies des plantations d'anacardiers est observée. En 2010, la proportion des savanes arbustives a connu une augmentation passant de 35,90 % en 1990 à 52,37 %. Parallèlement, les superficies de plantations d'anacardiers sont passées de 0,2 % de la végétation en 2000 à 3,65 % en 2010. Cependant, on note une régression des parcs agroforestiers qui n'occupent désormais que 30,63 % de la végétation. En 2020, on observe une augmentation des superficies des savanes arbustives qui occupent une proportion de 56,50 %. L'augmentation la plus remarquable est observée au niveau des superficies des plantations

d'anacardiens qui occupent à cette date 11,64 % de la végétation. Quant aux parcs agroforestiers, leurs superficies ont fortement diminué, passant à 18,16 %.

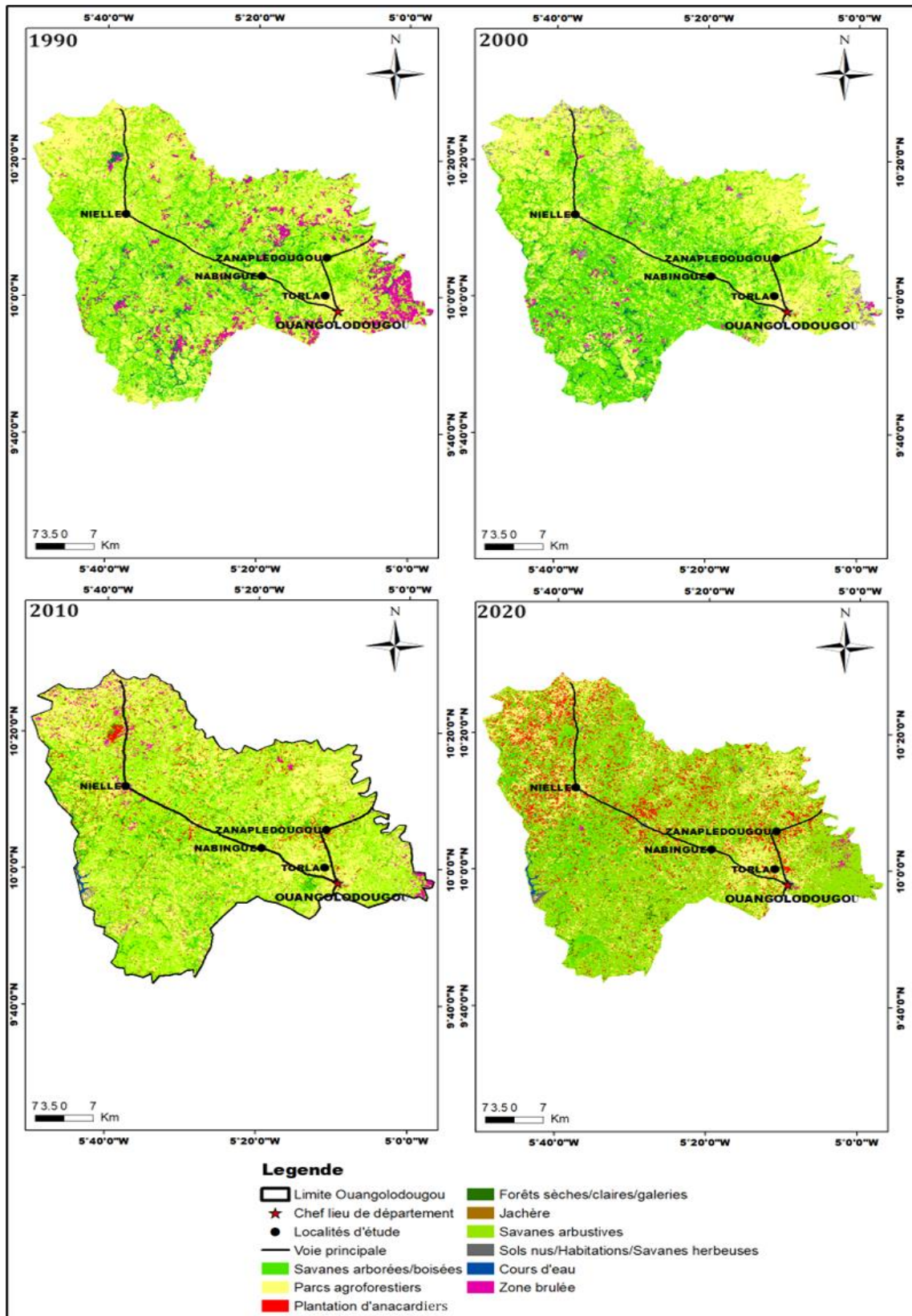


Figure 14 : Cartes des types d'occupation du sol de Ouangolodougou de 1990 à 2020

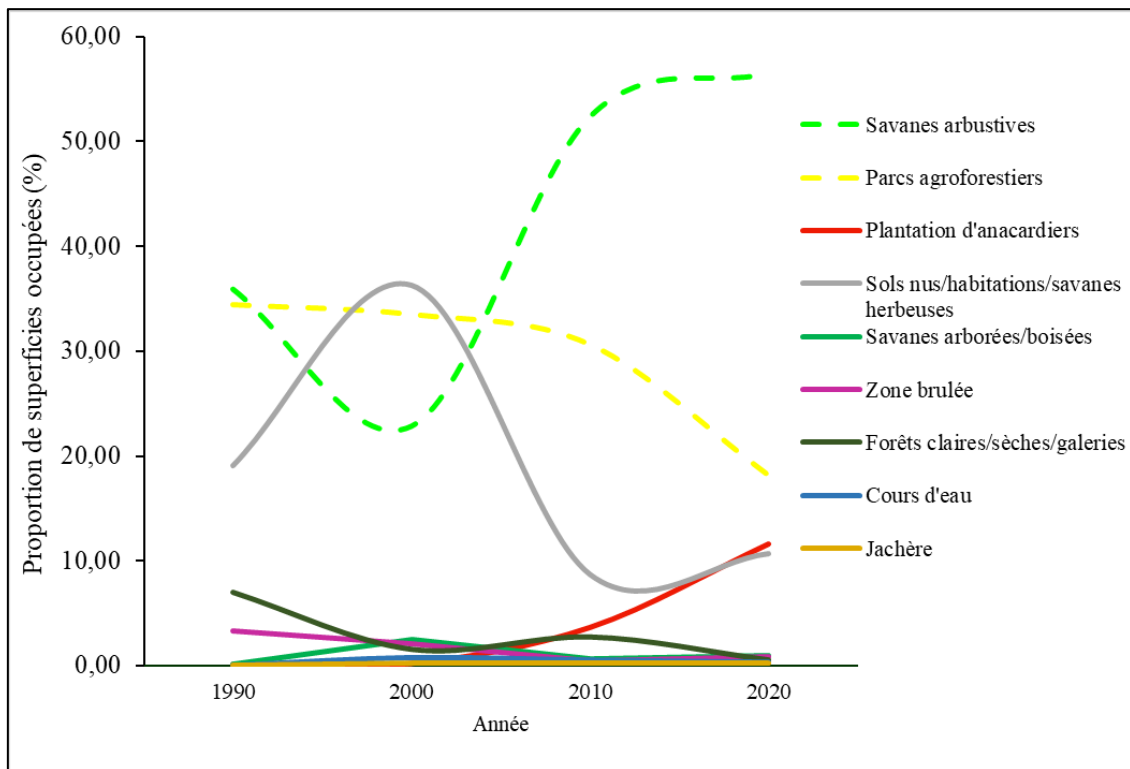


Figure 15 : Evolution des superficies des types d'occupation du sol de 1990 à 2020 dans le département de Ouangolodougou

6.2.3 Cartographie et proportion des types d'occupation du sol à Tienko

Les cartes d'occupations du sol de 1990, 2000, 2010 et 2020 de Tienko sont présentées par la figure 16. De 1990 à 2020, les superficies des différents types d'occupation du sol ont connu des dynamiques spatiales importantes. Les superficies des savanes et des plantations d'anacardiers ont connu des augmentations quand celles des parcs agroforestiers et des forêts ont connu des diminutions (Figure 17). En effet, en 1990, les parcs agroforestiers constituaient 25,85 %, les savanes arborées 16,64 %, les savanes arbustives 49,56 % et les forêts 4,11 % de la végétation. A cette date, les plantations d'anacardiers n'occupaient que 0,01 % de la végétation. En 2000, les superficies des savanes arbustives et des forêts ont diminué, passant respectivement à 30,52 % et 3,25 % de la végétation. A l'inverse, les superficies des savanes arborées et des plantations d'anacardiers ont connu des augmentations passant respectivement à 19,82 % et 4,71 % de la végétation. En 2010, on note une régression des superficies des parcs agroforestiers occupant désormais 20,06 % de la végétation au profit de celles des plantations d'anacardiers qui occupaient 6,46 %. Enfin en 2020, la végétation de Tienko était dominée par les savanes arbustives 36,55 %, les parcs agroforestiers 16,45 % et les plantations d'anacardiers 14,35 %.

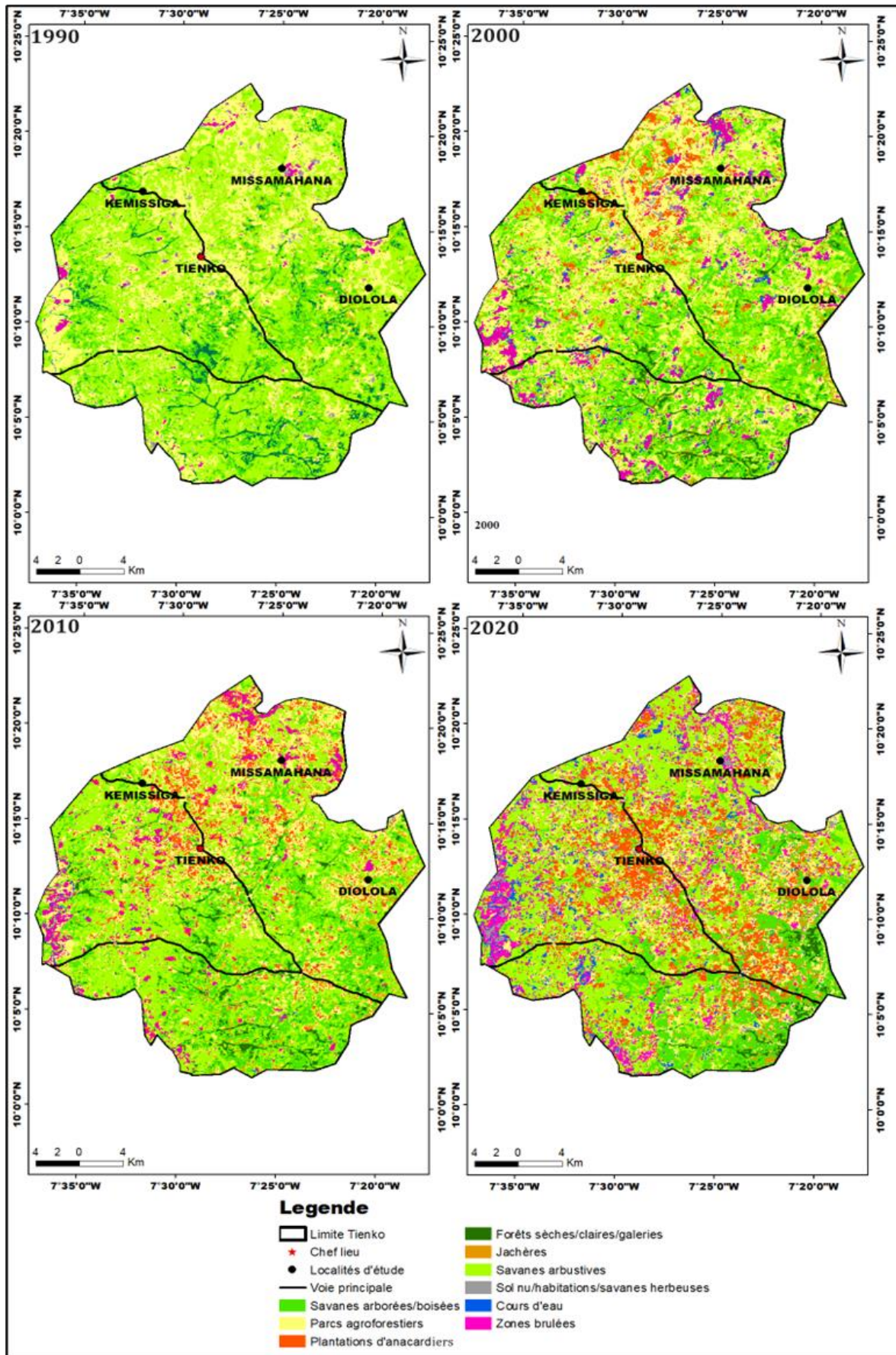


Figure 16 : Cartes des types d'occupation du sol de Tienko de 1990 à 2020

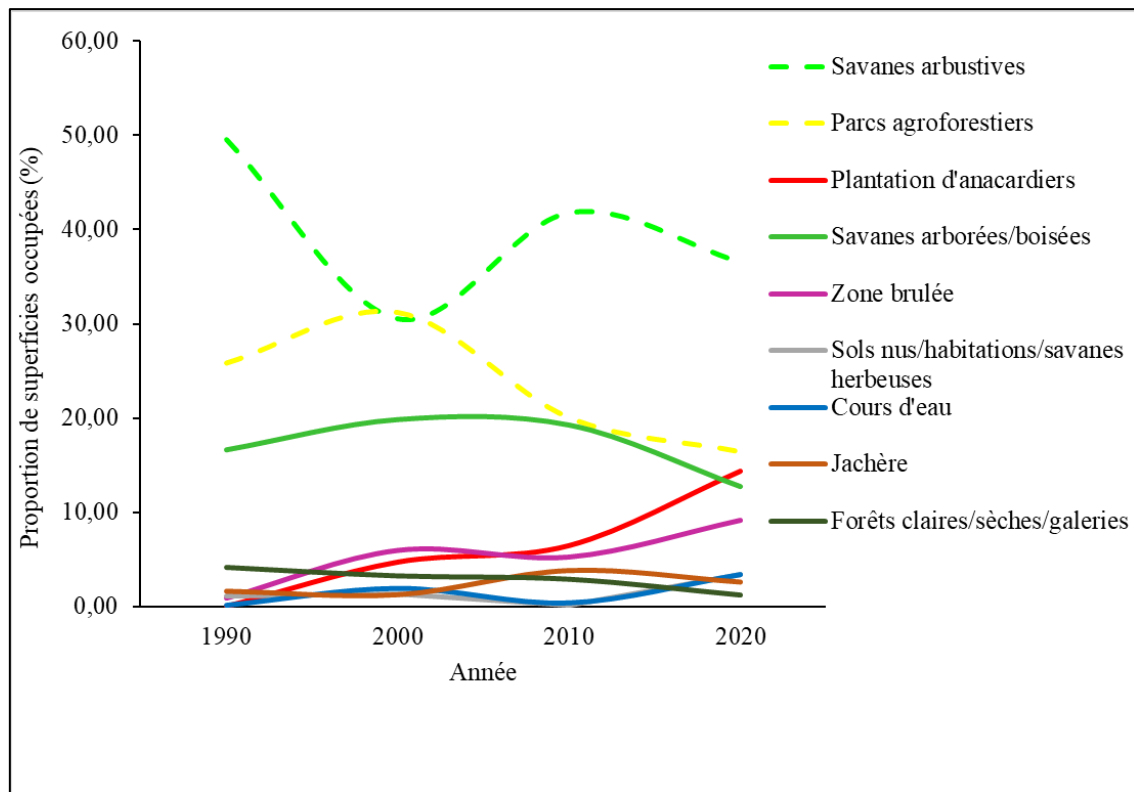


Figure 17 : Evolution des superficies des différents types d'occupations du sol de 1990 à 2020 dans le département de Tienko

6.2.4 Taux de changement des types d'occupation du sol dans les localités d'étude de 1990 à 2020

Les taux de changement global et annuel des superficies des types d'occupation du sol sont consignés dans le Tableau VI. Sur les neuf types d'occupation du sol, quatre ont connu des taux de changement positifs, à savoir les cours d'eau, les plantations d'anacardiers, les savanes arbustives, et les sols nus et habitations. A l'opposé, les forêts, les parcs agroforestiers et les savanes arborées ont connu des taux de changement régressifs. Au cours des trente années, les plantations d'anacardiers ont eu les taux de changement global et annuel les plus élevés dans les trois (03) départements. En effet, les plantations d'anacardiers ont connu un taux de changement annuel de 18,37 % à Tengréla, 15,95 % à Ouangolodougou et 24,26 % à Tienko. A l'opposé, les parcs agroforestiers ont connu les taux de régression annuel respectifs de -3,12 %, -2,13 % et -1,51 % à Tengréla, Ouangolodougou et Tienko. Quant aux forêts, elles ont connu un taux de changement annuel de -3,45 %, de -4,31 % et -3,89 % pour Tengréla, Ouangolodougou et Tienko.

Tableau VI : Superficies et taux de changement des types d'occupation du sol du département de Tengréla, Ouangolodougou et Tienko

| Types d'occupation du sol | Superficie (ha) | | | | Taux de changement (%) 1990-2020 | |
|---------------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|----------------------------------|-------------|
| | 1990 | 2000 | 2010 | 2020 | Taux global | Taux annuel |
| Tengréla | | | | | | |
| Cours d'eau | 248,85 | 1137,42 | 1015,11 | 1020,87 | 310,24 | 4,71 |
| Forêts | 14358,60 | 9283,32 | 2164,05 | 3935,79 | -72,59 | -4,31 |
| Jachère | 197,46 | 3398,76 | 2339,37 | 1461,60 | 640,20 | 6,67 |
| Parcs agroforestiers | 150962,13 | 146901,87 | 134333,91 | 79682,67 | -47,22 | -2,13 |
| Plantation d'anacardiens | 427,41 | 910,71 | 16033,50 | 51096,69 | 11854,96 | 15,95 |
| Savanes arborées/boisées | 83693,16 | 159205,32 | 38161,71 | 46862,19 | -44,01 | -1,93 |
| Savanes arbustives | 157484,52 | 100094,22 | 229713,75 | 247808,61 | 57,35 | 1,51 |
| Sol nu/habitations | 605,16 | 10830,87 | 2844,54 | 4348,89 | 618,63 | 6,57 |
| Zone brûlée | 30627,54 | 6826,41 | 11990,88 | 2385,18 | -92,21 | -8,51 |
| Ouangolodougou | | | | | | |
| Cours d'eau | 510,12 | 915,39 | 343,80 | 1240,92 | 143,26 | 2,96 |
| Forêts | 15414,39 | 4204,80 | 3043,08 | 5480,55 | -64,45 | -3,45 |
| Jachère | 5806,71 | 20786,04 | 9182,43 | 1239,12 | -78,66 | -5,15 |
| Parcs agroforestiers | 117016,65 | 111633,93 | 99054,45 | 45869,85 | -60,80 | -3,12 |
| Plantation d'anacardiens | 135 | 2382,21 | 15599,79 | 33444,18 | 24673,47 | 18,37 |
| Savanes arborées/boisées | 44549,46 | 35288,01 | 20078,73 | 14333,40 | -67,83 | -3,78 |
| Savanes arbustives | 36480,42 | 46790,19 | 75170,25 | 92963,52 | 154,83 | 3,12 |
| Sol nu/habitations | 704,43 | 943,29 | 951,93 | 30486,69 | 4227,85 | 12,56 |
| Zone brûlée | 11954,70 | 9487,17 | 9026,55 | 7405,56 | -38,05 | -1,60 |
| Tienko | | | | | | |
| Cours d'eau | 109,44 | 1704,96 | 336,33 | 3001,59 | 2642,68 | 11,04 |
| Forêts | 3663,36 | 2889,36 | 2583,18 | 1140,57 | -68,87 | -3,89 |
| Jachère | 1452,87 | 1131,57 | 3379,95 | 2310,21 | 59,01 | 1,55 |
| Parcs agroforestiers | 23017,14 | 27774,54 | 17856,99 | 14641,92 | -36,39 | -1,51 |
| Plantation d'anacardiens | 8,82 | 4191,21 | 5752,44 | 12779,37 | 144790,82 | 24,26 |
| Savanes arborées/boisées | 14820,48 | 17644,41 | 17130,24 | 11383,11 | -23,19 | -0,88 |
| Savanes arbustives | 44128,08 | 27167,22 | 37197,00 | 32540,76 | -26,26 | -1,02 |
| Sol nu/habitations | 1027,08 | 1191,42 | 95,22 | 3072,33 | 199,13 | 3,65 |
| Zone brûlée | 813,87 | 5326,56 | 4695,39 | 8161,38 | 902,79 | 7,68 |

6.2.5 Transitions décennales des types d'occupation du sol dans les localités d'étude de 1990 à 2020

Les changements intervenus dans les types d'occupation du sol à travers les matrices de transition sont consignés dans les Tableaux VII, VIII et IX. De 1990 à 2000, on note une forte conversion des types d'occupation du sol en d'autres types. Ainsi, 59,88 %, 51,58 % et 53,34 % des superficies des parcs agroforestiers sont restées stables respectivement, à Tengréla, Ouangolodougou et Tienko. Une partie, dont 16,68 %, 19,55 % et 18,78 % a été convertie en savanes arbustives et une autre 5,90 %, 22,95 % et 2,94 % en savanes arborées respectivement à Tengréla, Ouangolodougou et Tienko. Au cours de cette période, très peu de parcs agroforestiers (1,20 %, 0,14 % et 7,10 %) ont été convertis en plantations d'anacardiens.

Entre 2000 et 2010, les types d'occupation du sol les plus stables à Tengréla ont été les forêts (47,33 %), les parcs agroforestiers (56,49 %) et les savanes arbustives (47,81 %). A Ouangolodougou, les parcs agroforestiers (54,24 %), les plantations d'anacardiens (66,18 %) et les savanes arbustives (69,41 %) ont été les plus stables. A Tienko, les savanes arborées (54,01 %) et les savanes arbustives (58,48 %) ont été les plus stables. Les autres types d'occupation du sol se sont convertis en savanes arbustives et en parcs agroforestiers. Au cours de cette période, ce sont 1,67 %, 5,25 % et 12,42 % des parcs agroforestiers, respectivement à Tengréla, Ouangolodougou et Tienko qui ont été convertis en plantation d'anacardiens.

Entre 2010 et 2020, les types d'occupation du sol les plus stables à Tengréla ont été les plantations d'anacardiens (41,06 %), les forêts (55,96 %), les savanes arbustives (44,98 %), les cours d'eau (96,40 %) et les sols nus et habitations (62,28 %). A Ouangolodougou les cours d'eau (77,73 %) et les savanes arbustives (62,91 %) ont été les types d'occupation du sol les plus stables. A Tienko, ce sont les plantations d'anacardiens et les savanes arbustives qui ont été les types d'occupation du sol les plus stables. Au cours de cette période, la plupart des types d'occupation du sol se sont convertis en savanes arbustives et plantations d'anacardiens dans les trois localités. Cette décennie a été marquée par une plus grande conversion des parcs agroforestiers en plantation d'anacardiens avec à 12,07 % Tengréla, 12,24 % à Ouangolodougou et 25,38 % à Tienko, comparativement aux deux autres décennies.

Tableau VII : Matrice de transition des différents types d'occupation du sol du département de Tengréla sur les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2020

| 1990-2000 | | | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | CE | F | J | PAg | PA | SAb | Sarb | Sn | ZB | Total |
| CE | 90,40 | 0,58 | 0,14 | 4,83 | 0,71 | 1,61 | 1,15 | 0,00 | 0,58 | 100 |
| F | 1,85 | 21,26 | 2,07 | 21,75 | 1,39 | 35,67 | 12,27 | 0,04 | 3,70 | 100 |
| J | 0,07 | 0,25 | 10,16 | 38,22 | 1,39 | 20,89 | 26,73 | 0,12 | 2,17 | 100 |
| PAg | 0,07 | 0,17 | 10,83 | 59,88 | 1,20 | 5,90 | 16,68 | 0,60 | 4,67 | 100 |
| PA | 0,00 | 0,00 | 13,34 | 73,33 | 0,00 | 0,00 | 13,33 | 0,00 | 0,00 | 100 |
| SAb | 0,12 | 1,50 | 4,09 | 30,60 | 0,88 | 35,80 | 24,38 | 0,11 | 2,52 | 100 |
| Sarb | 0,07 | 0,09 | 10,11 | 39,11 | 0,71 | 15,01 | 31,75 | 0,12 | 3,03 | 100 |
| Sn | 0,00 | 0,00 | 2,73 | 77,00 | 0,87 | 0,67 | 0,79 | 11,64 | 6,30 | 100 |
| ZB | 0,01 | 0,04 | 14,03 | 62,97 | 0,17 | 1,97 | 11,54 | 0,45 | 8,82 | 100 |
| 2000-2010 | | | | | | | | | | |
| | CE | F | J | PAg | PA | SAb | Sarb | Sn | ZB | Total |
| CE | 32,82 | 14,57 | 0,07 | 38,96 | 2,79 | 0,03 | 10,76 | 0,00 | 0,00 | 100 |
| F | 0,42 | 47,33 | 0,32 | 7,49 | 4,21 | 0,34 | 39,82 | 0,03 | 0,04 | 100 |
| J | 0,00 | 0,01 | 6,60 | 42,24 | 6,27 | 13,12 | 30,46 | 0,08 | 1,22 | 100 |
| PAg | 0,01 | 0,08 | 3,63 | 56,49 | 5,25 | 9,94 | 17,46 | 0,65 | 6,49 | 100 |
| PA | 0,13 | 0,89 | 0,87 | 14,42 | 48,43 | 7,69 | 27,46 | 0,05 | 0,06 | 100 |
| SAb | 0,03 | 1,99 | 2,31 | 21,17 | 7,48 | 5,07 | 61,52 | 0,06 | 0,37 | 100 |
| Sarb | 0,01 | 0,20 | 5,37 | 29,34 | 8,70 | 7,88 | 47,81 | 0,07 | 0,62 | 100 |
| Sn | 0,00 | 0,00 | 0,46 | 63,09 | 2,26 | 1,08 | 2,59 | 14,81 | 15,71 | 100 |
| ZB | 0,01 | 0,12 | 4,07 | 46,33 | 3,63 | 6,14 | 29,43 | 0,20 | 10,07 | 100 |
| 2010-2020 | | | | | | | | | | |
| | CE | F | J | PAg | PA | SAb | Sarb | Sn | ZB | Total |
| CE | 96,40 | 1,11 | 0,00 | 1,75 | 0,19 | 0,08 | 0,16 | 0,12 | 0,19 | 100 |
| F | 5,59 | 55,96 | 0,22 | 4,05 | 9,75 | 6,75 | 13,71 | 1,75 | 2,22 | 100 |
| J | 0,03 | 0,54 | 0,49 | 12,59 | 10,01 | 11,27 | 52,34 | 9,92 | 2,81 | 100 |
| PAg | 0,50 | 0,28 | 0,49 | 25,53 | 12,07 | 2,25 | 37,41 | 17,76 | 3,71 | 100 |
| PA | 0,30 | 1,24 | 0,06 | 11,48 | 41,06 | 7,91 | 31,11 | 6,44 | 0,41 | 100 |
| SAb | 0,01 | 0,03 | 0,26 | 22,44 | 19,03 | 4,32 | 46,44 | 6,93 | 0,54 | 100 |
| Sarb | 0,20 | 4,34 | 0,72 | 14,68 | 13,09 | 11,59 | 44,98 | 7,07 | 3,33 | 100 |
| Sn | 0,08 | 0,00 | 0,03 | 21,35 | 3,80 | 0,25 | 9,53 | 62,28 | 2,68 | 100 |
| ZB | 0,00 | 0,01 | 0,45 | 20,32 | 3,44 | 0,97 | 28,83 | 39,42 | 6,56 | 100 |

PA : Plantation d'anacardiens ; SAb : Savane arborées/boisées ; PAg : Parcs agroforestiers ; J : Jachère ; F : Forêts sèches/claires/galeries ; Sn : Sol nu/habitation/savanes herbeuses ; Sarb : Savanes arbustives ; CE : Cours d'eau ; ZB : Zone brûlée. Les valeurs en fond gris expriment les proportions des types d'occupation du sol qui sont restées stables dans le paysage. Les valeurs en gras sont les conversions de parcs agroforestiers en plantation d'anacardiens.

Tableau VIII : Matrice de transition des différents types d'occupation du sol du département de Ouangolodougou sur les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2020

| 1990-2000 | | | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|------|-------|-------------|-------|-------|-------|------|-------|
| | CE | F | J | PAg | PA | SAb | Sarb | Sn | ZB | Total |
| CE | 95,00 | 0,80 | 0,00 | 1,12 | 0,87 | 1,27 | 0,94 | 0,00 | 0,00 | 100 |
| F | 2,41 | 27,72 | 0,40 | 8,51 | 0,23 | 48,91 | 10,86 | 0,23 | 0,73 | 100 |
| J | 0,41 | 0,59 | 2,60 | 18,74 | 0,32 | 53,81 | 22,30 | 0,32 | 0,91 | 100 |
| PAg | 0,13 | 0,06 | 0,54 | 51,58 | 0,14 | 22,95 | 19,55 | 3,69 | 1,36 | 100 |
| PA | 6,38 | 1,50 | 0,13 | 23,72 | 29,18 | 20,31 | 17,95 | 0,38 | 0,45 | 100 |
| SAb | 0,32 | 6,11 | 0,89 | 12,19 | 0,37 | 65,09 | 14,00 | 0,27 | 0,76 | 100 |
| Sarb | 0,04 | 0,05 | 1,06 | 28,35 | 0,14 | 34,36 | 32,17 | 1,89 | 1,94 | 100 |
| Sn | 0,03 | 0,00 | 0,06 | 48,73 | 0,01 | 14,23 | 2,45 | 33,87 | 0,62 | 100 |
| ZB | 0,01 | 0,03 | 0,35 | 40,93 | 0,04 | 28,30 | 21,24 | 5,94 | 3,16 | 100 |

| 2000-2010 | | | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|------|-------|-------------|-------|-------|------|-------|-------|
| | CE | F | J | PAg | PA | SAb | Sarb | Sn | ZB | Total |
| CE | 26,68 | 7,88 | 0,36 | 2,47 | 18,46 | 7,80 | 35,12 | 0,00 | 1,23 | 100 |
| F | 0,64 | 14,44 | 0,53 | 12,43 | 2,38 | 39,65 | 28,33 | 0,18 | 1,42 | 100 |
| J | 0,33 | 0,19 | 1,47 | 17,15 | 3,55 | 16,12 | 60,20 | 0,31 | 0,68 | 100 |
| PAg | 0,05 | 0,01 | 0,33 | 54,24 | 1,67 | 0,61 | 37,64 | 1,03 | 4,42 | 100 |
| PA | 0,18 | 0,01 | 0,01 | 2,61 | 66,18 | 3,41 | 27,43 | 0,00 | 0,17 | 100 |
| SAb | 0,27 | 0,42 | 0,88 | 15,20 | 5,12 | 18,23 | 58,53 | 0,29 | 1,06 | 100 |
| Sarb | 0,03 | 0,05 | 0,33 | 21,00 | 4,14 | 3,77 | 69,41 | 0,14 | 1,13 | 100 |
| Sn | 0,01 | 0,00 | 0,03 | 51,53 | 0,52 | 0,08 | 26,60 | 4,90 | 16,33 | 100 |
| ZB | 1,60 | 0,02 | 0,30 | 30,23 | 1,00 | 1,72 | 52,03 | 2,51 | 10,59 | 100 |

| 2010-2020 | | | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|------|-------|--------------|-------|-------|-------|------|-------|
| | CE | F | J | PAg | PA | SAb | Sarb | Sn | ZB | Total |
| CE | 77,73 | 0,48 | 0,00 | 1,22 | 0,63 | 0,40 | 7,44 | 12,06 | 0,04 | 100 |
| F | 0,99 | 38,27 | 3,30 | 7,61 | 3,41 | 6,41 | 39,53 | 0,43 | 0,05 | 100 |
| J | 0,04 | 0,38 | 1,22 | 10,35 | 5,59 | 10,42 | 71,78 | 0,14 | 0,08 | 100 |
| PAg | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 34,33 | 12,24 | 1,45 | 49,45 | 1,69 | 0,84 | 100 |
| PA | 0,37 | 0,69 | 0,06 | 7,62 | 31,73 | 29,22 | 29,48 | 0,65 | 0,18 | 100 |
| SAb | 0,10 | 6,85 | 2,41 | 8,47 | 7,11 | 21,29 | 53,37 | 0,21 | 0,19 | 100 |
| Sarb | 0,05 | 0,15 | 0,18 | 11,25 | 11,07 | 13,73 | 62,91 | 0,36 | 0,30 | 100 |
| Sn | 0,08 | 0,00 | 0,00 | 27,53 | 6,51 | 0,39 | 40,68 | 21,35 | 3,46 | 100 |
| ZB | 0,09 | 0,05 | 0,03 | 17,29 | 8,66 | 1,55 | 66,58 | 2,70 | 3,05 | 100 |

PA : Plantation d'anacardiens ; SAb : Savane arborées/boisées ; PAg : Parcs agroforestiers ; J : Jachère ; F : Forêts sèches/claires/galeries ; Sn : Sol nu/habitation/savanes herbeuses ; Sarb : Savanes arbustives ; CE : Cours d'eau ; ZB : Zone brûlée. Les valeurs en fond gris expriment les proportions des types d'occupation du sol qui sont restées stables dans le paysage. Les valeurs en gras sont les conversions de parcs agroforestiers en plantation d'anacardiens.

Tableau IX : Matrice de transition des différents types d'occupation du sol de Tienko sur les périodes 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2020

| 1990-2000 | | | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | CE | F | J | PAg | PA | SAb | Sarb | Sn | ZB | Total |
| CE | 24,86 | 7,65 | 0,41 | 5,35 | 0,74 | 6,26 | 52,59 | 0,49 | 1,65 | 100 |
| F | 0,41 | 48,63 | 0,95 | 9,29 | 0,19 | 31,59 | 7,96 | 0,16 | 0,82 | 100 |
| J | 1,03 | 2,26 | 1,78 | 20,73 | 1,27 | 41,17 | 28,64 | 0,98 | 2,14 | 100 |
| PAg | 1,16 | 0,17 | 0,92 | 53,34 | 7,10 | 2,94 | 18,78 | 2,93 | 12,66 | 100 |
| PA | 0,00 | 3,06 | 0,00 | 17,35 | 14,29 | 27,55 | 30,61 | 0,00 | 7,14 | 100 |
| SAb | 1,14 | 4,95 | 1,75 | 12,33 | 1,17 | 53,08 | 23,89 | 0,22 | 1,47 | 100 |
| Sarb | 2,74 | 0,66 | 1,34 | 27,33 | 5,09 | 16,61 | 41,72 | 0,63 | 3,88 | 100 |
| Sn | 0,31 | 0,03 | 0,17 | 53,70 | 4,76 | 0,48 | 8,86 | 12,84 | 18,85 | 100 |
| ZB | 0,11 | 0,00 | 0,54 | 50,89 | 8,12 | 0,27 | 5,47 | 6,95 | 27,65 | 100 |
| 2000-2010 | | | | | | | | | | |
| | CE | F | J | PAg | PA | SAb | Sarb | Sn | ZB | |
| CE | 2,42 | 0,56 | 2,66 | 9,77 | 3,01 | 13,51 | 63,23 | 0,08 | 4,76 | 100 |
| F | 2,88 | 48,18 | 0,49 | 4,45 | 0,97 | 33,20 | 9,19 | 0,27 | 0,37 | 100 |
| J | 0,55 | 2,67 | 10,68 | 9,01 | 0,96 | 34,27 | 37,46 | 0,13 | 4,27 | 100 |
| PAg | 0,07 | 0,12 | 5,36 | 31,14 | 12,42 | 4,21 | 37,97 | 0,17 | 8,54 | 100 |
| PA | 0,05 | 0,13 | 1,43 | 24,91 | 17,88 | 3,28 | 46,15 | 0,07 | 6,10 | 100 |
| SAb | 0,20 | 5,18 | 1,51 | 10,12 | 1,36 | 54,01 | 26,78 | 0,09 | 0,75 | 100 |
| Sarb | 0,54 | 0,67 | 3,88 | 13,96 | 3,43 | 16,15 | 58,48 | 0,05 | 2,84 | 100 |
| Sn | 0,02 | 0,02 | 4,05 | 54,85 | 10,81 | 1,30 | 15,52 | 0,18 | 13,25 | 100 |
| ZB | 0,10 | 0,24 | 5,27 | 28,88 | 3,10 | 5,86 | 40,27 | 0,04 | 16,24 | 100 |
| 2010-2020 | | | | | | | | | | |
| | CE | F | J | PAg | PA | SAb | Sarb | Sn | ZB | |
| CE | 49,69 | 2,17 | 0,28 | 4,09 | 1,02 | 9,77 | 27,86 | 0,70 | 4,42 | 100 |
| F | 0,93 | 16,70 | 0,81 | 6,15 | 3,86 | 46,37 | 19,88 | 0,64 | 4,66 | 100 |
| J | 2,33 | 0,40 | 7,61 | 20,24 | 7,54 | 11,45 | 39,86 | 3,02 | 7,55 | 100 |
| PAg | 3,61 | 0,03 | 1,26 | 23,45 | 25,38 | 2,10 | 26,86 | 5,59 | 11,72 | 100 |
| PA | 2,10 | 0,01 | 0,40 | 10,08 | 54,35 | 2,30 | 23,31 | 2,55 | 4,90 | 100 |
| SAb | 1,58 | 3,70 | 3,45 | 14,05 | 6,82 | 33,59 | 28,32 | 1,53 | 6,96 | 100 |
| Sarb | 3,72 | 0,12 | 3,05 | 15,74 | 8,82 | 9,18 | 48,48 | 2,56 | 8,33 | 100 |
| Sn | 1,52 | 0,00 | 0,00 | 37,31 | 29,07 | 0,00 | 4,73 | 23,30 | 4,07 | 100 |
| ZB | 6,59 | 0,02 | 1,27 | 15,38 | 6,19 | 1,80 | 33,20 | 12,14 | 23,41 | 100 |

PA : Plantation d'anacardiens ; SAb : Savane arborées/boisées ; PAg : Parcs agroforestiers ; J : Jachère ; F : Forêts sèches/claires/galeries ; Sn : Sol nu/habitation/savanes herbeuses ; Sarb : Savanes arbustives ; CE : Cours d'eau ; ZB : Zone brûlée. Les valeurs en fond gris expriment les proportions des types d'occupation du sol qui sont restées stables dans le paysage. Les valeurs en gras sont les conversions de parcs agroforestiers en plantation d'anacardiens.

6.2.6 Cartographie de la dynamique des parcs agroforestiers de 1990 à 2020 dans les localités de la zone d'étude

Les cartes de changements et les superficies des parcs agroforestiers de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire dans la période 1990-2020 révèlent les différentes mutations subies (Tableau X et Figure 18).

Les parcs agroforestiers devenus des plantations d'anacardiens couvrent 16 575,21 ha soit 14,26 %, 19 901,88 ha soit 13,19 % et 3277,35 ha, soit 14,25 %, respectivement à Tengréla, Ouangolodougou et Tienko (Tableau X). Les parcs agroforestiers restés stables sont estimés à 25086,06 ha à Tengréla soit 21,59 %, 34 813,26 ha soit 23,07 % à Ouangolodougou et 4542,39 ha soit 19,75 % à Tienko.

Dans le département de Tengréla, les parcs agroforestiers convertis en plantations d'anacardiens sont localisés au Centre et au Sud. Les parcs agroforestiers restés stables sont situés à l'extrême Nord autour des localités de Nigouni et Tengréla.

Dans le département de Ouangolodougou, les parcs agroforestiers converties en plantations d'anacardiens sont concentrés au Nord et à l'Est. Les parcs agroforestiers restés stables se situent au Sud-Est et au Nord-Est.

Enfin, à Tienko, les parcs agroforestiers devenus des plantations d'anacardiens sont situés au Centre et ceux qui sont restés stables sont repartis dans toute la localité.

Tableau X : Changements opérés au sein des parcs agroforestiers au cours de la période 1990-2020 dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire.

| Localité | Changement des parcs agroforestiers | Surface minimum (ha) | Surface maximum (ha) | Surface moyenne (ha) | Surface totale (ha) | Proportion (%) |
|----------------|-------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------|
| Tengréla | Stables | 0,00056 | 45,36 | 1,92 | 25086,06 | 21,59 |
| | Transformés en anacardiens | 0,0006 | 54,18 | 2,44 | 16575,21 | 14,26 |
| Ouangolodougou | Stables | 0,00019 | 41,85 | 2,54 | 34813,26 | 23,07 |
| | Transformés en anacardiens | 0,00225 | 42,39 | 1,52 | 19901,88 | 13,19 |
| Tienko | Stables | 0,00014 | 17,79 | 1,3 | 4542,39 | 19,75 |
| | Transformés en anacardiens | 0,0012 | 19,8 | 1,48 | 3277,35 | 14,25 |

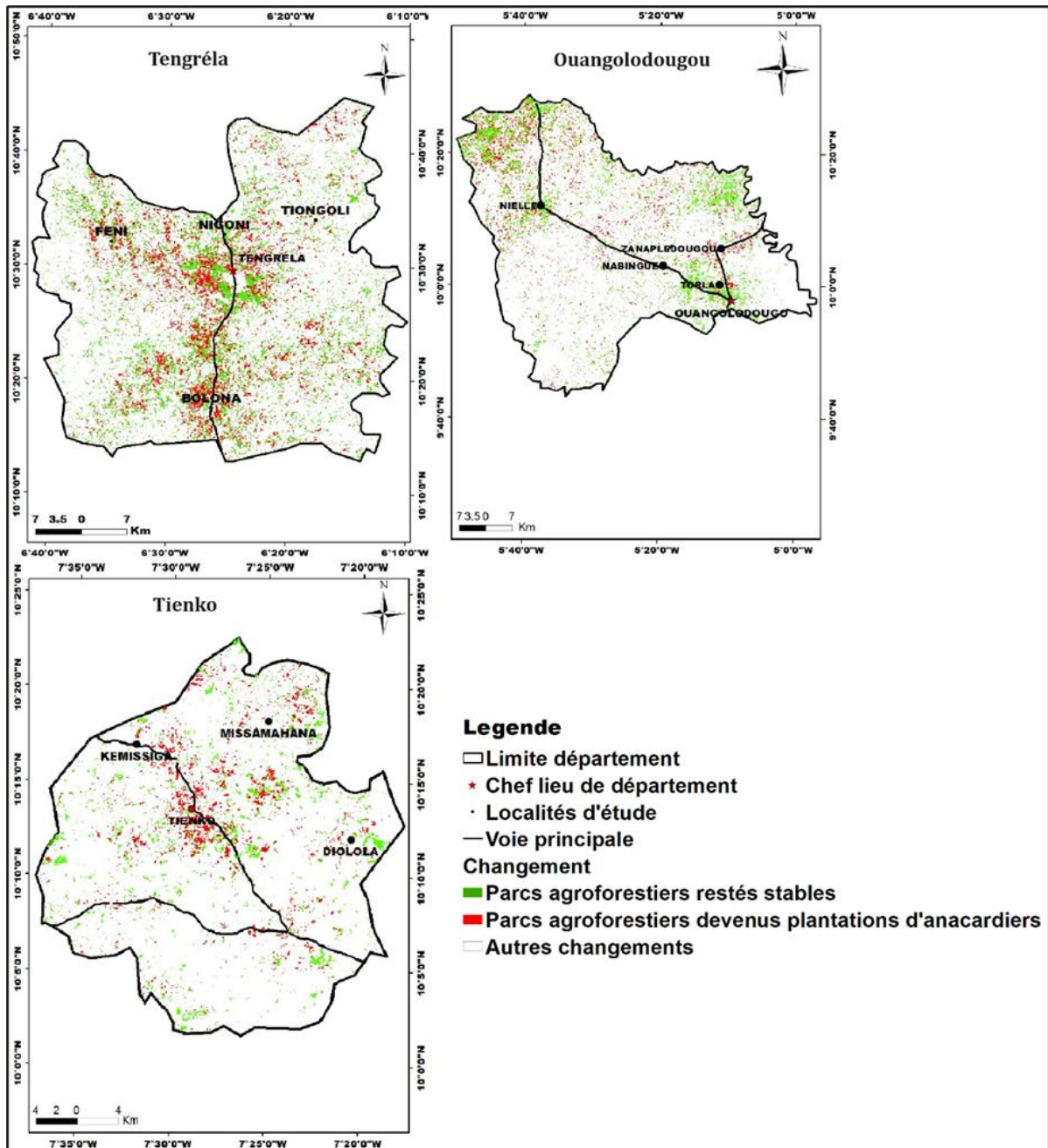


Figure 18 : Cartes des changements des parcs agroforestiers et des plantations d’anacardiens de 1990 à 2020 à Tegréla, Ouangolodougou et Tienko

6.3 Discussion

6.3.1 Augmentation des surfaces de culture d’anacardiens dans la zone soudanienne de la Côte d’Ivoire

Le traitement des images Landsat TM de 1990 et 2010, ETM+ de 2000 et OLI-TIRS de 2020 a permis de montrer les changements de la végétation intervenus dans chacune des trois zones d’étude au cours des trois dernières décennies. Les résultats obtenus ont permis de mettre

en évidence une forte expansion des plantations d'anacardiers dans les trois localités étudiées. Les plantations d'anacardiers apparaissent donc comme une nouvelle mode d'utilisation des terres dont la mise en place s'est accélérée dans les trente dernières années par les populations de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire. Les superficies ont augmenté rapidement à Tengréla, à Ouangolodougou et à Tienko. A l'instar de ces localités de la zone soudanienne, l'extension de la superficie des plantations d'anacardiers a été aussi observée dans le Centre du pays notamment dans les Sous-préfectures de Diabo, Botro et Bodokro (Kouao, 2020) ; dans le Nord-Est de la Côte d'Ivoire (Koulibaly *et al.*, 2016 ; Akpa, 2015) et de plus en plus dans le Centre-Ouest du pays où les vergers cacaoyères sont reconvertis en plantation d'anacardiers (Zanh *et al.*, 2019). La faible superficie des plantations d'anacardiers observée en 1990 dans notre étude s'explique par le fait qu'à cette date, l'anacarde n'était cultivé que par très peu d'agriculteurs (Koné, 2001). Les agriculteurs se sont davantage intéressés à la noix de cajou principalement à partir des années 2000. Cet intérêt a été principalement motivé par l'augmentation de la demande du marché international pour les noix de cajou. L'examen des matrices de transition ont montré que la mise en place des plantations d'anacardiers s'est accélérée au cours de la période 2010 et 2020. Plusieurs facteurs économiques, politiques, écologiques et sociaux pourraient expliquer l'engouement des populations à mettre en place les plantations d'anacardiers dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire. D'abord, sur le plan économique il y a le prix d'achat de l'anacarde (Ruf *et al.*, 2019). Depuis l'an 2000, le prix d'achat de l'anacarde a connu une hausse significative, stimulant ainsi la création des vergers par les populations (Audouin et Gonin, 2014). De 90 FCFA/kg en 1990, le prix de l'anacarde est passé à 150 FCFA/kg en 2000, puis à 200 FCFA/kg en 2010. Après 2010, le prix de l'anacarde a grimpé pour avoisiner 600 FCFA le Kg. Aujourd'hui, le prix du kilogramme de la noix de cajou varie entre 300 et 400 FCFA. En plus des épargnes et des investissements dans d'autres activités, le revenu engendré par l'anacarde constitue une ressource pour les dépenses alimentaires, de scolarisation, de santé et les imprévus (funérailles, mariages coutumiers, rituels etc.).

Sur le plan politique, l'expansion de l'anacarde dans la région s'amorce véritablement à partir de la fin de la crise post-électorale en 2011. Pendant cette période de nombreuses populations fuyant la crise s'étaient installées dans leur village au Nord de la Côte d'Ivoire alors n'ayant pas d'autres activités, ces personnes vont se tourner vers l'agriculture notamment la culture d'anacardiers. Par ailleurs, le dévouement de l'État ivoirien en matière des prix des matières premières agricoles serait à la base du progrès de l'anacarde dans toutes les zones savaniques du pays (Kouao, 2020). Ainsi, depuis 2013 de nombreux organes ont été mis en

place par le gouvernement ivoirien en vue d'améliorer les rendements, de réduire la pression foncière et de maîtriser l'environnement de la filière de l'anacarde (FIRCA, 2018). L'état ivoirien a procédé également à l'installation de nombreuses usines et quelques industries locales de transformation de la Noix de cajou dans les régions Nord et Centre du pays. Sur le plan écologique, la culture de l'anacarde constituerait une culture adoptée par les agriculteurs afin de faire face aux impacts du changement climatique sur les cultures annuelles notamment le mil, le sorgho, le riz, le fonio et le maïs (Timité *et al.*, 2022). Ainsi, l'anacarde en tant que culture pérenne assez résistante à la sécheresse est mieux adapté à la région des savanes où la pluviométrie constitue un facteur limitant pour l'agriculture plus exacerbée que dans les autres régions du pays (Timité *et al.*, 2022). En outre, l'anacarde constitue un moyen efficace de lutte contre l'érosion, le vent et l'harmattan (Kouao, 2020). Enfin la dimension sociale de l'adoption massive de l'anacarde serait liée au rôle qu'il joue en tant que marqueur de terre, aidant le planteur à protéger son patrimoine (Ruf *et al.*, 2019). Aussi, la culture d'anacardiers favorise le prestige social dans la mesure où elle contribue positivement à l'amélioration des conditions de vie des paysans et de leur famille. En effet, la culture de l'anacarde est une culture qui leur permet de subvenir à leurs besoins familiaux et de faire face aux engagements sociaux tels que la santé, la scolarisation des enfants et les funérailles (Sinan *et al.*, 2016 ; Ouattara, 2021). Selon Yao *et al.* (2021), l'anacarde participe activement à l'autonomisation des femmes et des jeunes dans les régions du Nord de la Côte d'Ivoire. En effet, ces régions étaient caractérisées par la migration saisonnière des jeunes et les femmes vers le Sud forestier du pays pour travailler comme femmes de ménage dans les foyers ou encore travailler dans les plantations de café et de cacao comme ouvrier. Cependant, avec l'adoption de l'anacarde, ces populations restent au village et sont propriétaires de plantations d'anacardiers. Malgré tous ces avantages, l'expansion des plantations d'anacardiers a provoqué un recul des parcs agroforestiers dans la zone soudanienne.

6.3.2 Régression des parcs agroforestiers traditionnels dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire

La détection des changements a montré que la période de 1990 à 2020 a enregistré une régression des surfaces des parcs agroforestiers. En trente années (30 ans), les parcs agroforestiers des départements de Tengréla, Ouangolodougou et Tienko ont vu leurs superficies réduites de moitié avec un taux annuel de régression de 3,12 %/an à Tengréla, de 2,13 %/an à Ouangolodougou et de 1,51 %/an à Tienko. La régression de la superficie des parcs agroforestiers pourrait s'expliquer dans la zone d'étude par les nombreux changements subis

par cette formation végétale. En effet, l'établissement de la matrice de transition a montré que les parcs agroforestiers ont progressivement subi une conversion vers les plantations d'anacardiens. Cette conversion des parcs agroforestiers s'est accentuée au cours de la période 2010-2020. En effet, pendant cette période, près d'un quart des parcs agroforestiers a été converti en plantations d'anacardiens. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire, l'anacardier est généralement implanté sur les parcelles de parcs agroforestiers qui sont des parcelles de cultures déjà prêtes à l'emploi. Cette méthode de culture facilite d'une part l'entretien des plantations par l'intermédiaire des cultures vivrières et d'autre part, permet de régler le problème de disponibilité de terre du fait des possibilités de cultiver sur le long terme entre les anacardiens. Cependant, cette pratique engendre la dégradation voire la suppression des parcs agroforestiers dans la mesure où l'installation des plantations d'anacardiens dans les parcs agroforestiers se fait progressivement et à partir de la quatrième année, le parc agroforestier est totalement transformé en monoculture pure de plantation d'anacardiens. Nos résultats corroborent ceux de Diarrassouba *et al.* (2009) qui ont montré des cas de suppression de parcs agroforestiers au profit de l'anacarde dans les zones de Korhogo et Katiola. Ainsi, la plantation d'anacardiens en tant que nouveau système d'utilisation des terres a modifié la configuration de la végétation, notamment, celle des parcs agroforestiers dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire. De nombreux auteurs ont montré l'impact négatif du mode d'utilisation des terres sur les parcs agroforestiers en zone soudano-sahélienne du Niger, la zone soudanienne du Sénégal et le Burkina Faso (Sène, 2004 ; Moussa *et al.*, 2015 ; Guimbo *et al.*, 2016).

Conclusion partielle

La combinaison des techniques de télédétection, des systèmes d'information géographique (SIG) et des visites sur le terrain a permis d'analyser la dynamique spatio-temporelle de la végétation dans trois départements de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire, à savoir Tengréla, Ouangolodougou et Tienko. Les principaux types d'occupation du sol discriminés dans ces localités sont les savanes boisées et arborées, les savanes arbustives, les parcs agroforestiers, les plantations d'anacardiens, les sols nus/habitations/savanes herbeuses, les cours d'eau, les jachères, les forêts (claires, galeries, sèches) et les zones brûlées.

Les résultats ont montré que la végétation des trois localités d'étude était dominée en 1990 par les savanes, les parcs agroforestiers et les forêts. En 2020, elle était dominée par les savanes, les parcs agroforestiers et les plantations d'anacardiens. Cependant, une régression annuelle des superficies des parcs agroforestiers a été observée de 1990 à 2020, de l'ordre de

3,12 % à Tengréla, 2,13 % à Ouangolodougou et 1,51 % à Tienko. Aussi, 14,26 % des parcs agroforestiers ont été convertis en plantations d'anacardiers à Tengréla, 13,19 % à Ouangolodougou et 14,25 % à Tienko. Ainsi, ces résultats confirment l'hypothèse qui stipule que l'expansion des plantations d'anacardiers dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire a entraîné la régression des superficies des parcs agroforestiers traditionnels.

Chapitre 7 : Impacts des types d'occupation du sol sur la diversité floristique et la structure diamétrique de la végétation arborescente dans les trois localités de la zone d'étude

7.1 Diversité floristique des types d'occupation du sol inventoriées dans les localités d'étude

7.1.1 Composition floristique

7.1.1.1 Richesse floristique

L'inventaire floristique réalisé dans les 241 placettes a permis d'identifier 93 espèces ligneuses, réparties en 74 genres et 29 familles dans les départements de Tengréla, Ouangolodougou et Tienko (Annexe 4). Cette richesse floristique est de 39, 30 et 85 espèces ligneuses, respectivement dans les parcs agroforestiers, les plantations d'anacardières et les savanes. Ces espèces se regroupent en 31 genres et 15 familles dans les parcs agroforestiers, 25 genres et 12 familles dans les plantations d'anacardières et 67 genres et 27 familles dans les savanes (Tableau XI).

Les familles les mieux représentées dans les parcs agroforestiers et les plantations d'anacardières sont les Sapotaceae et les Fabaceae. Dans les parcs agroforestiers, les Sapotaceae comptent à elles seules 67 % des individus et les Fabaceae 24 % des individus. Dans les plantations d'anacardières, 57 % des individus sont des Sapotaceae et 26 % des Fabaceae. Pour ce qui concerne les savanes, les familles les plus nombreuses sont les Fabaceae et les Combretaceae, qui comptent, à elles seules, plus de 70 % des individus recensées (Figure 19).

Tableau XI : Richesse floristique des différents types d'occupation du sol

| Paramètre floristique | Parcs agroforestiers n = 100 | Plantations d'anacardières n = 100 | Savanes n = 41 | Total n = 241 |
|-----------------------|------------------------------------|--|-------------------|------------------|
| Nombre d'espèces | 39 | 30 | 85 | 93 |
| Nombre de genres | 31 | 25 | 67 | 74 |
| Nombre de familles | 15 | 12 | 27 | 29 |

n : nombre de placettes de relevés

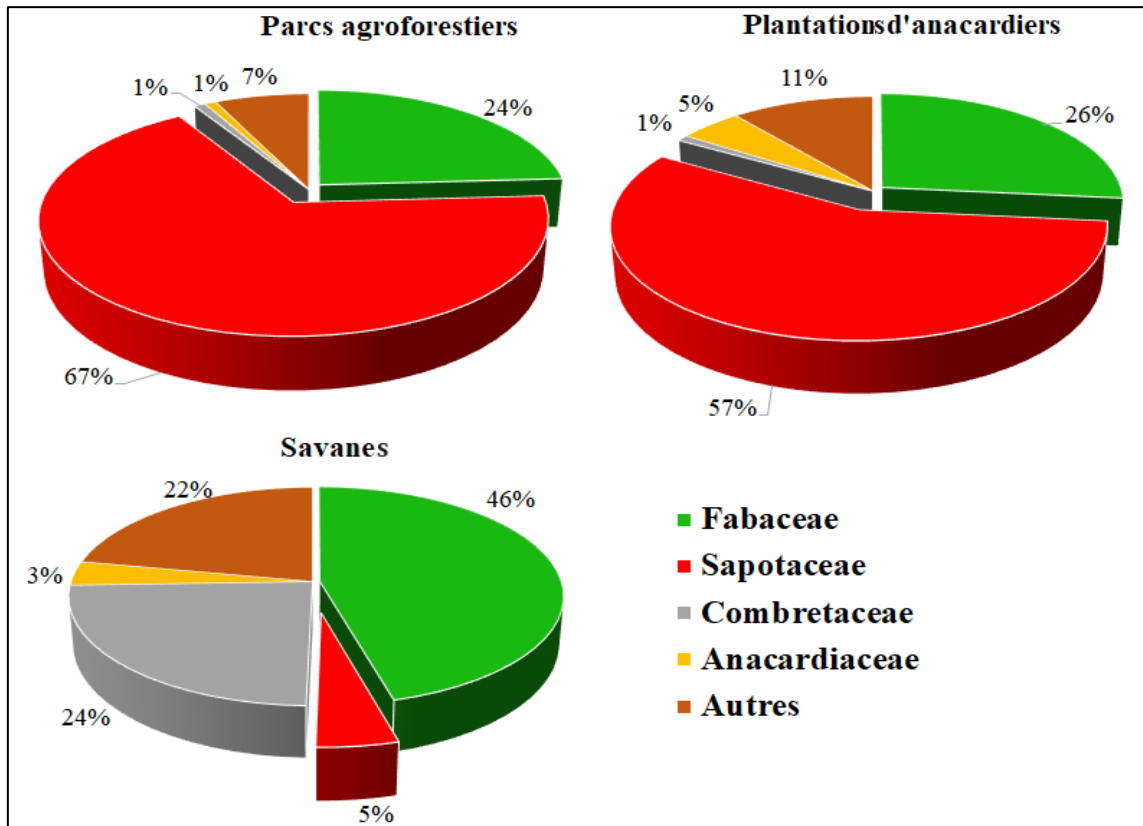


Figure 19 : Répartitions par famille botanique des individus ligneux des types d'occupation du sol inventoriés

La Figure 20 présente les résultats du test statistique appliqué à la richesse spécifique par placette dans les trois types d'occupations du sol. Les valeurs ont varié de 1 à 24 espèces ligneuses par placette avec une moyenne de 4,27 espèces. La valeur moyenne la plus élevée a été obtenue dans les savanes avec $14,02 \pm 4,65$ espèces. Les parcs agroforestiers ont enregistré une moyenne de $2,53 \pm 1,31$ espèces. Les plantations d'anacardiés enregistrent la plus faible moyenne en espèces à savoir $1,84 \pm 1,22$ espèces. Les différences entre les valeurs moyennes de richesse spécifique sont significatives entre les parcs agroforestiers et les savanes, et entre les plantations d'anacardiés et les savanes ($F = 468,28$; $p < 0,001$). Cependant, il n'existe pas de différence significative entre les valeurs moyennes de la richesse spécifique pour les parcs agroforestiers et les plantations d'anacardiés.

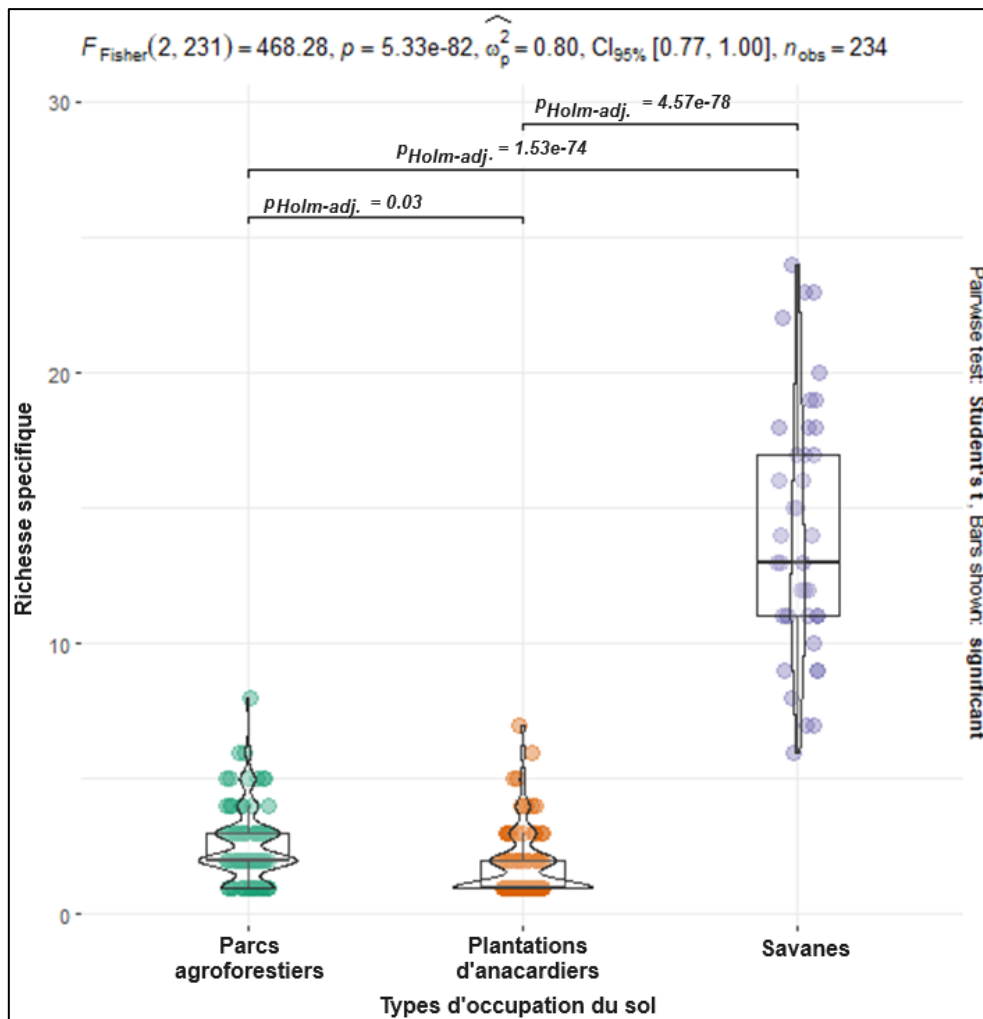


Figure 20 : Comparaison de la richesse spécifique entre les trois types d’occupation du sol considérés dans les localités étudiées

Les boxplots montrent la médiane (ligne horizontale vers le milieu) ; CI_{95 %} est l’intervalle de confiance à 95 % ; n_{obs} est le nombre d’échantillons soumis au test ; p représente la p-value pour la comparaison des trois types d’occupation du sol ; p_{Holm-adj} indique des différences significatives dans la comparaison par paires après le test post hoc de Bonferroni-Holm. Les gros points représentent les parcelles par types d’occupation du sol (vert : parcelle de parcs agroforestiers, Orange : parcelle de plantation d’anacardiens et violet : parcelles de savanes).

7.1.1.2 Affinités chorologiques des espèces recensées dans les trois types d’occupation du sol inventoriés

Les 93 espèces recensées dans l’ensemble des trois types d’occupation du sol se répartissent entre les espèces savaniques ou Soudano-Zambéziennes (SZ), les espèces des zones Guinéo-Congolaise et Soudano-Zambézienne (GC-SZ), les espèces exotiques ou introduites (i) et les espèces forestières (GC) (Figure 21). Les espèces savaniques ou Soudano-Zambéziennes (SZ) sont les plus représentées, avec des taux respectifs de 95,39 % dans les parcs agroforestiers, 69,36 % dans les savanes et 88,32 % dans les plantations d’anacardiens. Elles sont suivies des espèces des zones Guinéo-Congolaise et Soudano-Zambézienne (GC-SZ)

qui représentent 3,43 %, 28,84 % et 9,58 %, respectivement, dans les parcs agroforestiers, les savanes et les plantations d'anacardiers. Les autres types chorologiques sont très peu représentés dans les différents milieux.

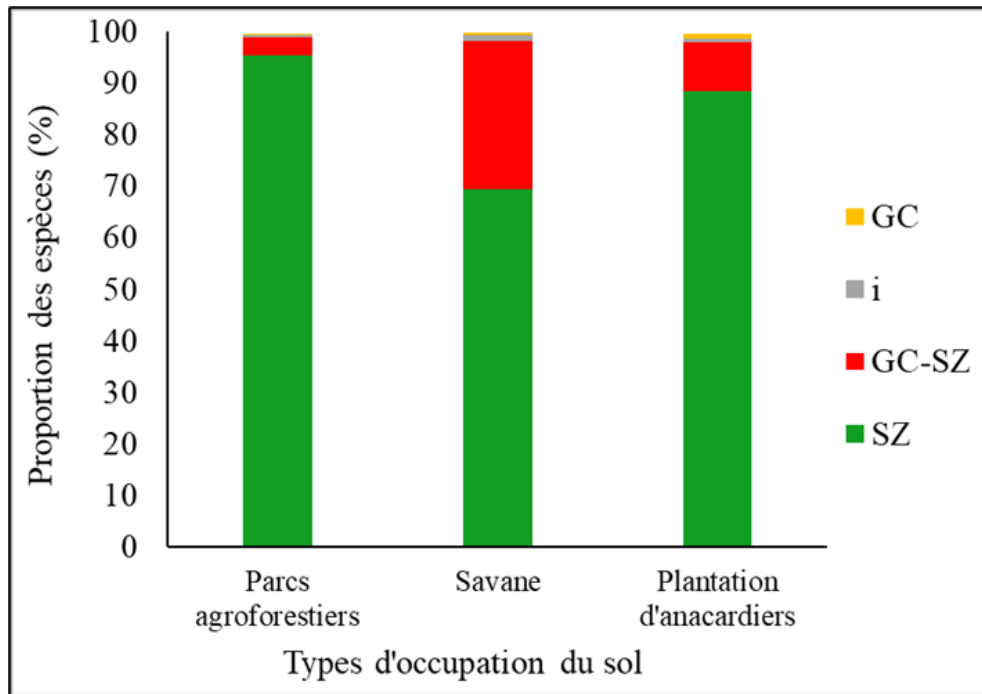


Figure 21 : Répartition des affinités chorologiques des espèces recensées en fonction des types d'occupation du sol

GC : espèce de la zone Guinéo-Congolaise ; i : espèces introduites ; GC-SZ : espèce des zones Guinéo-Congolaise et Soudano-Zambézienne SZ : espèces de la zone Soudano-Zambézienne.

7.1.1.3 Types biologiques des espèces recensées dans les trois types d'occupations du sol inventoriés

La figure 22 présente la répartition des espèces ligneuses par type biologique en fonction des trois types d'occupation du sol. Les microphanérophytes (mp) sont largement prédominants dans chacun des trois types d'occupation du sol inventoriés avec 94,94 % à 98,75 % des espèces. Dans les parcs agroforestiers, elles représentent 98,75 % des espèces recensées, contre 94,94 % dans les savanes et 96,30 % dans les plantations d'anacardiers. Les autres types biologiques ne représentent que moins de 5 % de la flore ligneuse de ces milieux.

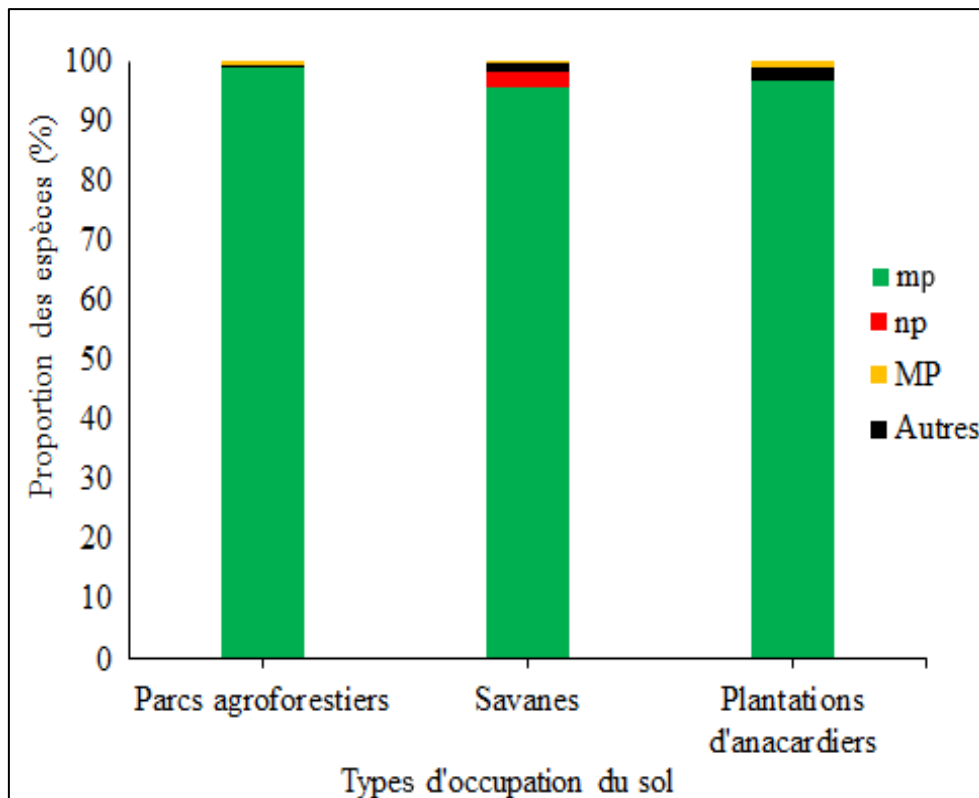


Figure 22 : Répartition des types biologiques en fonction des types d'occupation du sol

MP : mégaphanérophyte, mp : microphanérophyte, np : nanophanérophyte

7.1.2 Indices de diversité floristique dans les trois types d'occupation du sol

7.1.2.1 Indice de diversité de Shannon-Weaver

L'indice de Shannon varie de 0,0 à 2,76 dans les placettes, avec une moyenne de 0,77 (Figure 23). Au regard des valeurs moyennes de cet indice, les trois types d'occupation du sol sont très peu diversifiés. Les savanes enregistrent les plus grandes valeurs avec une moyenne de $2,05 \pm 0,41$, les parcs agroforestiers suivent avec une moyenne de $0,61 \pm 0,44$. Les plantations d'anacardiens ont la plus faible valeur de l'indice de Shannon avec une moyenne de $0,39 \pm 0,49$. Le test statistique a montré une différence très significative des valeurs moyennes entre les trois types d'occupation du sol ($F = 186,89$; $p < 0,001$).

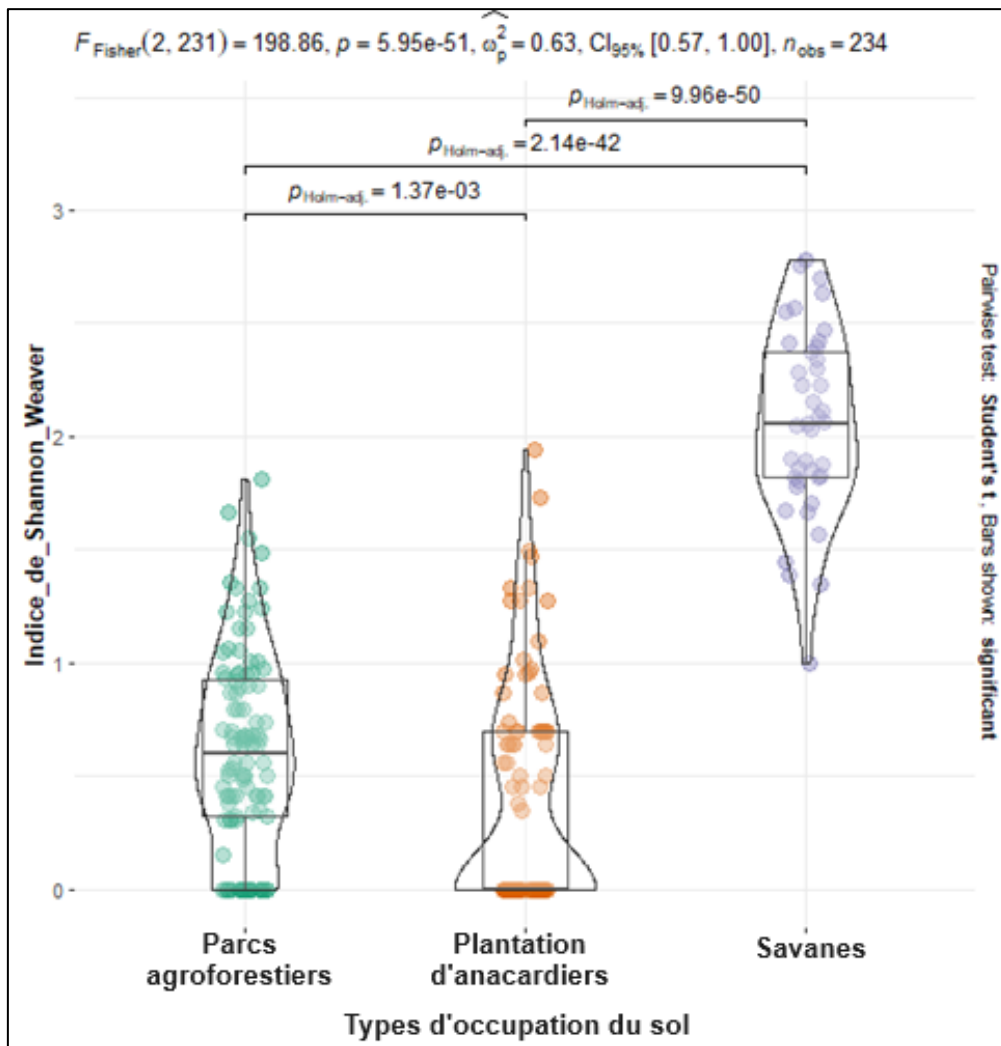


Figure 23 : Indices de diversité de Shannon dans les trois types d'occupation du sol inventoriés

Les boxplots montrent la médiane (ligne horizontale vers le milieu) ; $CI_{95\%}$ est l'intervalle de confiance à 95 % ; n_{obs} est le nombre d'échantillons soumis au test ; p représente la p-value pour la comparaison des trois types d'occupation du sol ; $p_{Holm-adj}$ indique des différences significatives dans la comparaison par paires après le test post hoc de Bonferroni-Holm. Les gros points représentent les parcelles par types d'occupation du sol (vert : parcelle de parcs agroforestiers, Orange : parcelle de plantation d'anacardiers et violet : parcelles de savanes).

7.1.2.2 Indice d'équitabilité de Pielou

L'indice d'équitabilité de Pielou varie de 0,001 à 1 dans les placettes avec une moyenne de 0,55 (Figure 24). Au vu des valeurs de cet indice, seules les espèces dans les savanes sont équitablement réparties. La valeur moyenne dans les savanes est de $0,79 \pm 0,09$. Dans les parcs agroforestiers la valeur moyenne a été de $0,59 \pm 0,34$. La plus faible valeur moyenne a été observée dans les plantations d'anacardiers avec $0,40 \pm 0,45$. Les différences entre les valeurs moyennes de l'indice d'équitabilité de Pielou sont très significatives ($F = 17,59$; $p < 0,001$).

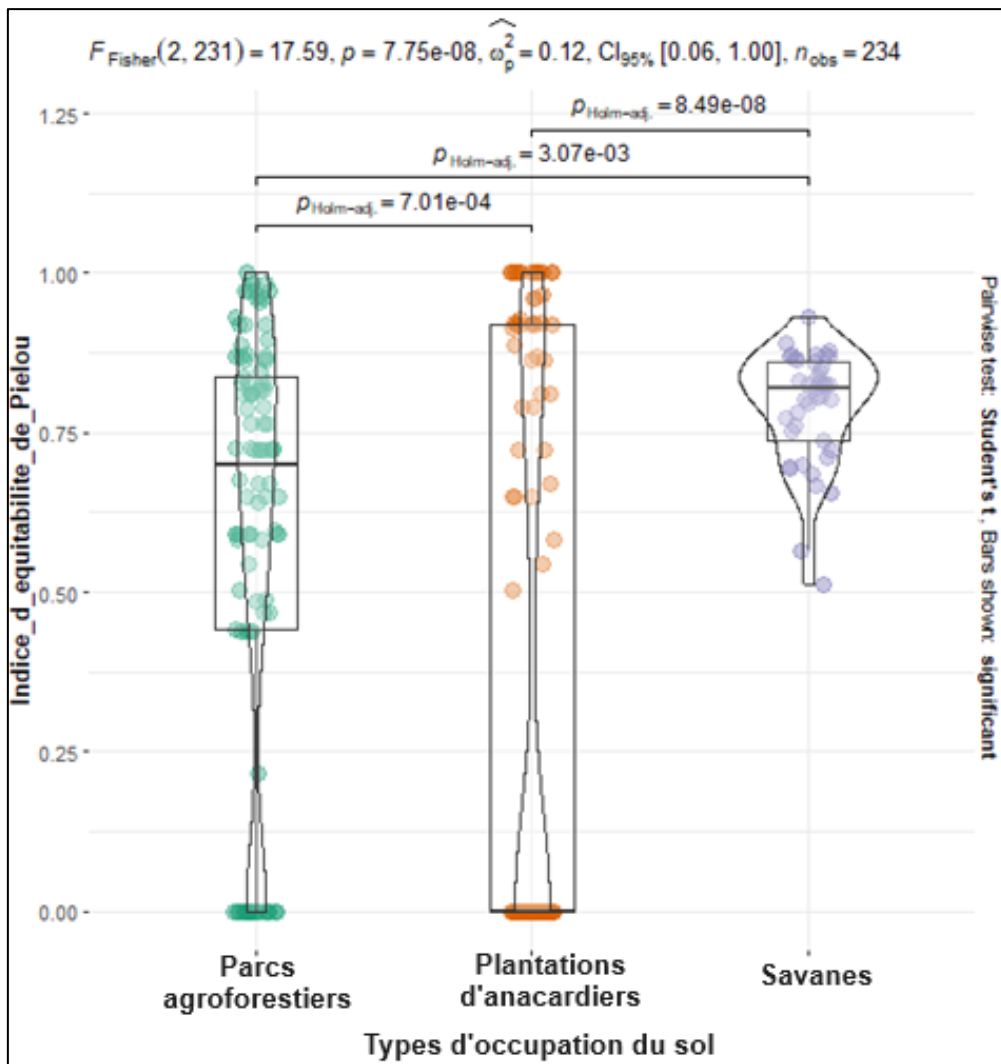


Figure 24 : Comparaison des indices de l'équitabilité de Pielou entre les types d'occupation du sol considérés dans les localités d'étude

Les boxplots montrent la médiane (ligne horizontale vers le milieu) ; $CI_{95\%}$ est l'intervalle de confiance à 95 % ; n_{obs} est le nombre d'échantillons soumis au test ; p représente la p-value pour la comparaison des trois types d'occupation du sol ; $p_{Holm-adj}$ indique des différences significatives dans la comparaison par paires après le test post hoc de Bonferroni-Holm. Les gros points représentent les parcelles par types d'occupation du sol (vert : parcelle de parcs agroforestiers, Orange : parcelle de plantation d'anacardiens et violet : parcelles de savanes).

7.1.2.3 Indice de diversité de Simpson

La figure 25 présente les valeurs de l'indice de Simpson qui varie de 0,04 à 0,47 avec une moyenne de 0,30. Il ressort que les trois types d'occupation du sol ont une faible biodiversité. La plus grande valeur moyenne de cet indice est obtenue dans les savanes avec $0,39 \pm 0,10$. Les parcs agroforestiers enregistrent une valeur intermédiaire de $0,30 \pm 0,05$ quand les plantations d'anacardiens enregistrent la plus faible valeur de $0,29 \pm 0,06$. Les différences entre les valeurs moyennes de l'indice de Simpson sont significatives entre les parcs agroforestiers et les savanes, et entre les plantations d'anacardiens et les savanes ($F = 39,64$; $p < 0,001$). Cependant,

il n'existe pas de différence significative entre les parcs agroforestiers et les plantations d'anacardiens.

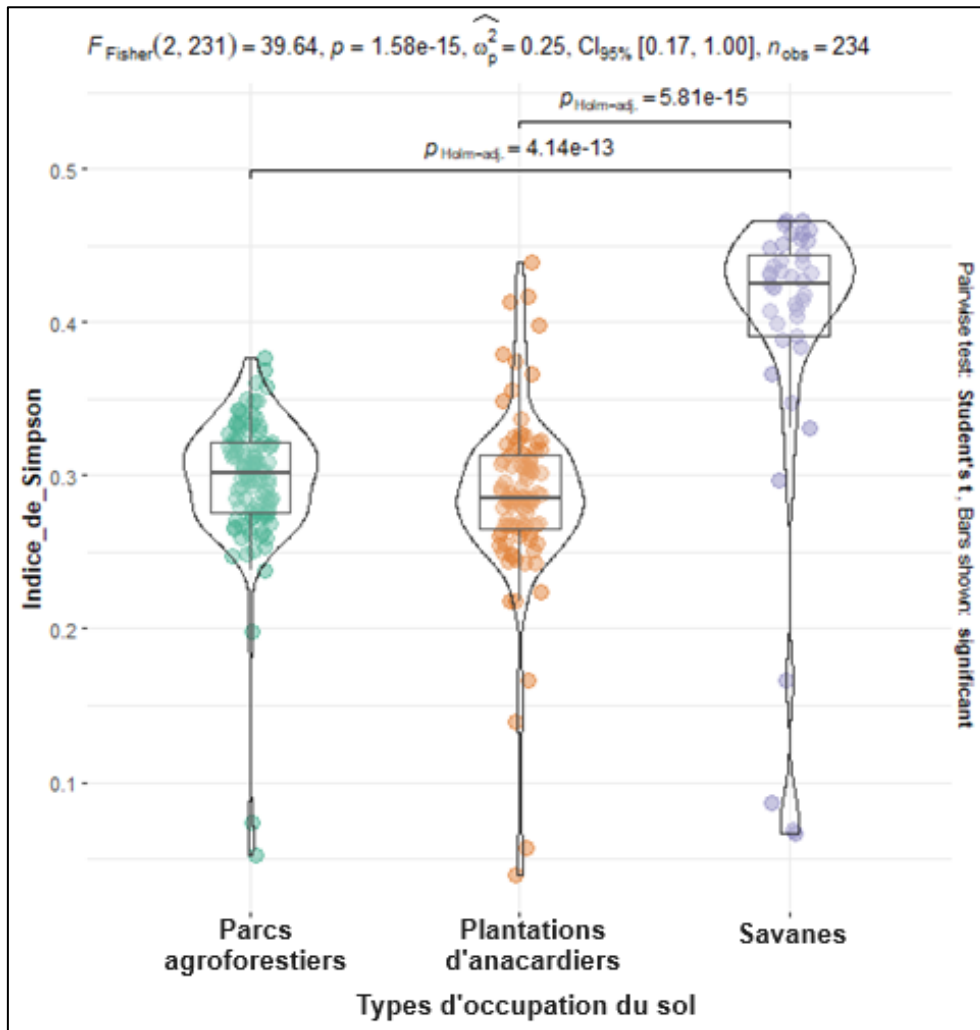


Figure 25 : Comparaison des indices de diversités de Simpson entre les trois types d'occupation du sol considérés dans les localités d'étude

Les boxplots montrent la médiane (ligne horizontale vers le milieu) ; $CI_{95\%}$ est l'intervalle de confiance à 95 % ; n_{obs} est le nombre d'échantillons soumis au test ; p représente la p-value pour la comparaison des trois types d'occupation du sol ; $p_{Holm-adj}$ indique des différences significatives dans la comparaison par paires après le test post hoc de Bonferroni-Holm. Les gros points représentent les parcelles par types d'occupation du sol (vert : parcelle de parcs agroforestiers, Orange : parcelle de plantation d'anacardiens et violet : parcelles de savanes).

7.2 Diversités structurales des trois types d'occupation du sol considérés dans les localités d'étude

7.2.1 Surface terrière globale

Les résultats de la surface terrière des trois types d'occupation du sol considérés investigués sont présentés dans la figure 26. Les individus ligneux des savanes ont la surface

terrière la plus élevée avec $1,39 \pm 0,74 \text{ m}^2/\text{ha}$. Les parcs agroforestiers suivent avec $0,84 \pm 0,55 \text{ m}^2/\text{ha}$. Les plantations d'anacardiens ont la plus petite surface terrière avec $0,49 \pm 0,70 \text{ m}^2/\text{ha}$. Les différences observées entre ces valeurs moyennes sont hautement significatives ($F = 27,12$; $p < 0,001$).

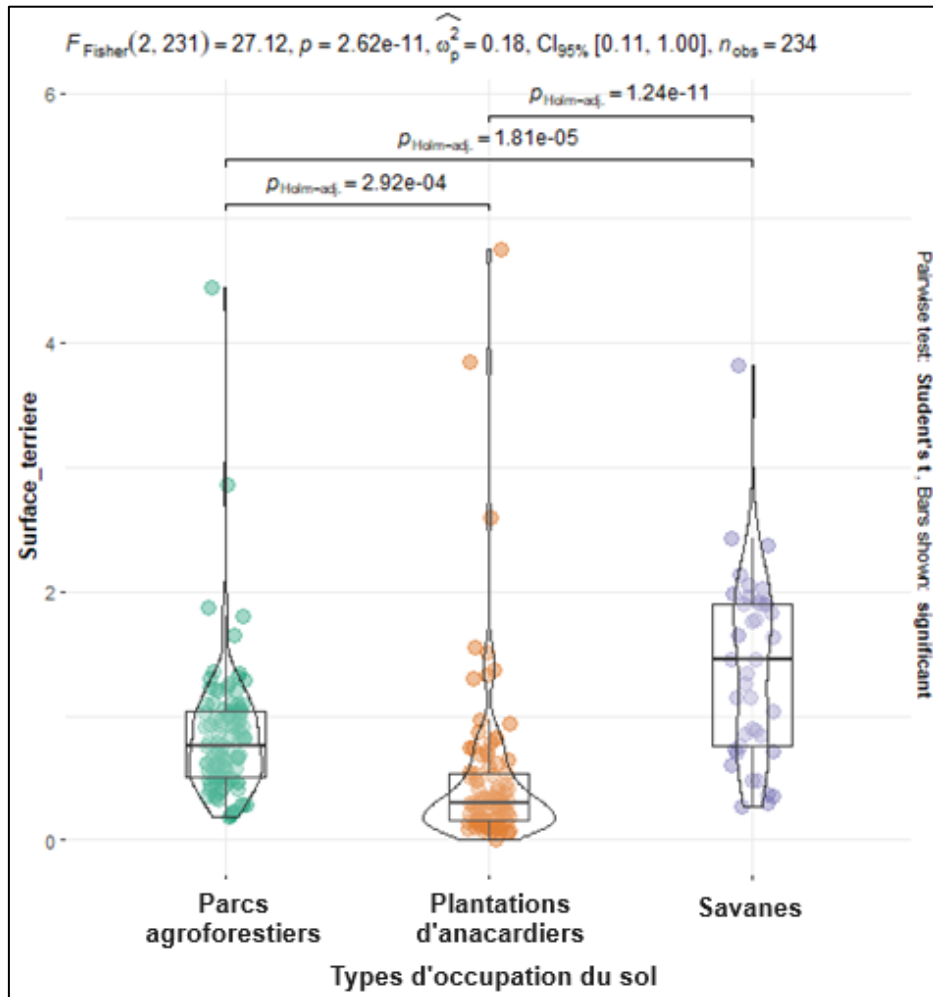


Figure 26 : Surface terrière des ligneux dans les trois types d'occupation du sol inventoriés

Les boxplots montrent la médiane (ligne horizontale vers le milieu) ; $CI_{95\%}$ est l'intervalle de confiance à 95 % ; n_{obs} est le nombre d'échantillons soumis au test ; p représente la p-value pour la comparaison des trois types d'occupation du sol ; $p_{Holm-adj}$ indique des différences significatives dans la comparaison par paires après le test post hoc de Bonferroni-Holm. Les gros points représentent les parcelles par types d'occupation du sol (vert : parcelle de parcs agroforestiers, Orange : parcelle de plantation d'anacardiens et violet : parcelles de savanes).

7.2.2 Surface terrière de *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn.

La surface terrière moyenne de *Vitellaria paradoxa* est présentée dans la figure 27. Il ressort que les parcs agroforestiers enregistrent la plus grande valeur moyenne de $0,52 \pm 0,30 \text{ m}^2/\text{ha}$. Les plus petites valeurs moyennes sont obtenues au niveau des plantations d'anacardiens

($0,25 \pm 0,18 \text{ m}^2/\text{ha}$) et des savanes ($0,26 \pm 0,29 \text{ m}^2/\text{ha}$). Il existe une différence significative entre les valeurs moyennes des parcs agroforestiers et des plantations d'anacardiés.

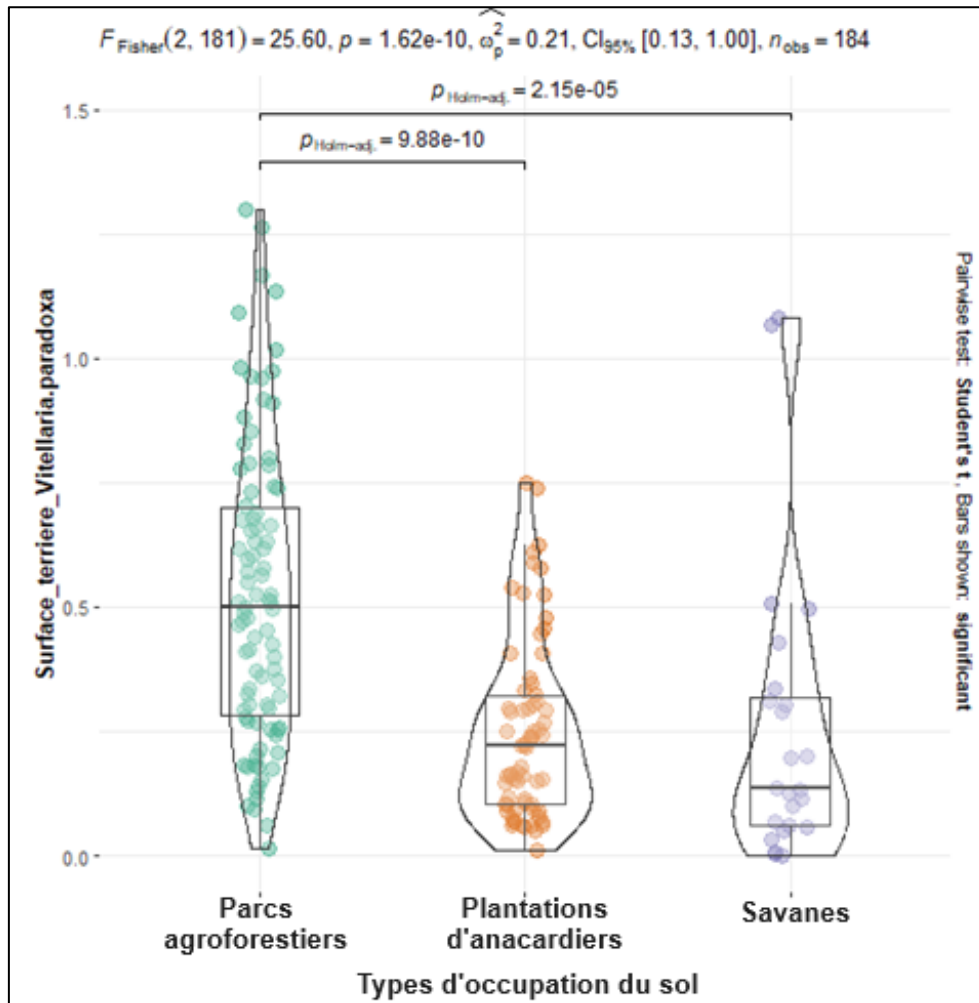


Figure 27 : Surface terrière de *Vitellaria paradoxa* dans les trois types d'occupation du sol inventoriés

Les boxplots montrent la médiane (ligne horizontale vers le milieu) ; $CI_{95\%}$ est l'intervalle de confiance à 95 % ; n_{obs} est le nombre d'échantillons soumis au test ; p représente la p-value pour la comparaison des trois types d'occupation du sol ; $p_{Holm-adj}$ indique des différences significatives dans la comparaison par paires après le test post hoc de Bonferroni-Holm. Les gros points représentent les parcelles par types d'occupation du sol (vert : parcelle de parcs agroforestiers, Orange : parcelle de plantation d'anacardiés et violet : parcelles de savanes).

7.2.3 Surface terrière de *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don

La surface terrière moyenne du *Parkia biglobosa* dans les trois types d'occupation du sol est illustrée par la figure 28. Les individus dans les savanes ont la plus forte valeur de surface terrière avec $0,38 \pm 0,43 \text{ m}^2/\text{ha}$. Les plantations d'anacardiés suivent avec $0,30 \pm 0,34 \text{ m}^2/\text{ha}$. Les parcs agroforestiers ont la plus faible moyenne avec $0,28 \pm 0,32 \text{ m}^2/\text{ha}$. Il n'existe aucune différence significative entre les différents types d'occupation ($F = 0,89$; $p = 0,41$).

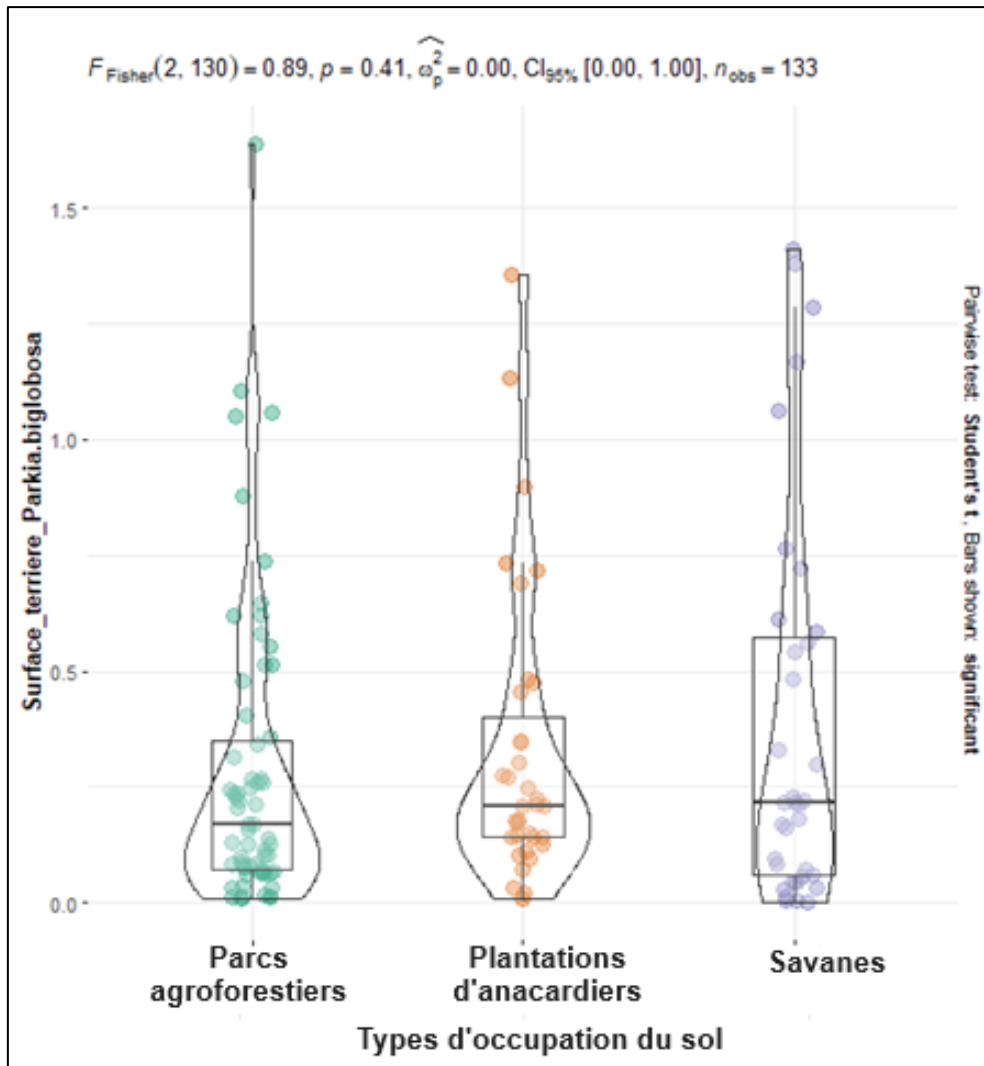


Figure 28 : Surface terrière de *Parkia biglobosa* dans les trois types d'occupation du sol

Les boxplots montrent la médiane (ligne horizontale vers le milieu) ; $CI_{95\%}$ est l'intervalle de confiance à 95 % ; n_{obs} est le nombre d'échantillons soumis au test ; p représente la p-value pour la comparaison des trois types d'occupation du sol ; $p_{Holm-adj}$ indique des différences significatives dans la comparaison par paires après le test post hoc de Bonferroni-Holm. Les gros points représentent les parcelles par types d'occupation du sol (vert : parcelle de parcs agroforestiers, Orange : parcelle de plantation d'anacardiers et violet : parcelles de savanes).

7.2.4 Densité globale des ligneux

Les résultats de la densité globale des ligneux sont présentés par la figure 29. Il apparaît que les savanes sont le type d'occupation du sol le plus peuplé avec $366,22 \pm 133,50$ tiges/ha. Les parcs agroforestiers suivent avec $38,28 \pm 14,83$ tiges/ha. Les plantations d'anacardiers sont les moins peuplées avec $15,01 \pm 10,24$ tiges/ha. Le test ANOVA a montré une différence significative entre les valeurs moyennes de la densité de ces trois types d'occupations du sol ($F = 607,60$; $p < 0,001$).

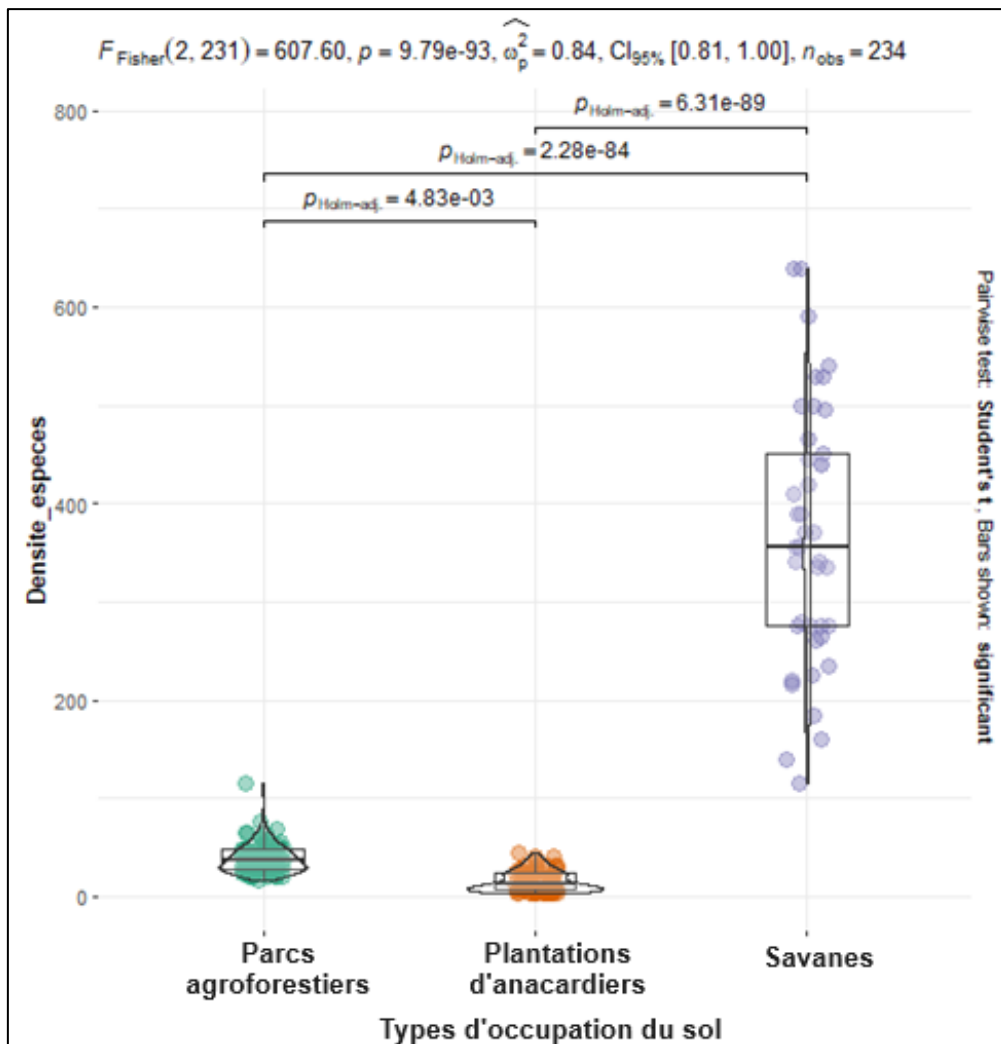


Figure 29 : Densité des ligneux dans les trois types d'occupation du sol inventoriés

Les boxplots montrent la médiane (ligne horizontale vers le milieu) ; $CI_{95\%}$ est l'intervalle de confiance à 95 % ; n_{obs} est le nombre d'échantillons soumis au test ; p représente la p-value pour la comparaison des trois types d'occupation du sol ; $p_{Holm-adj}$ indique des différences significatives dans la comparaison par paires après le test post hoc de Bonferroni-Holm. Les gros points représentent les parcelles par types d'occupation du sol (vert : parcelle de parcs agroforestiers, Orange : parcelle de plantation d'anacardiens et violet : parcelles de savanes).

7.2.5 Densité de *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn.

La Figure 30 présente la densité de *Vitellaria paradoxa*. Les parcs agroforestiers ont enregistré la plus forte valeur avec $25,76 \pm 16,65$ tiges/ha. Les plantations d'anacardiens contiennent la plus faible densité avec $8,56 \pm 8,62$ tiges/ha. Quant aux savanes, elles renferment $10,32 \pm 10,28$ tiges/ha. Les tests statistiques ont montré une différence hautement significative ($F = 26,89$; $p < 0,001$) entre les trois types d'occupation du sol.

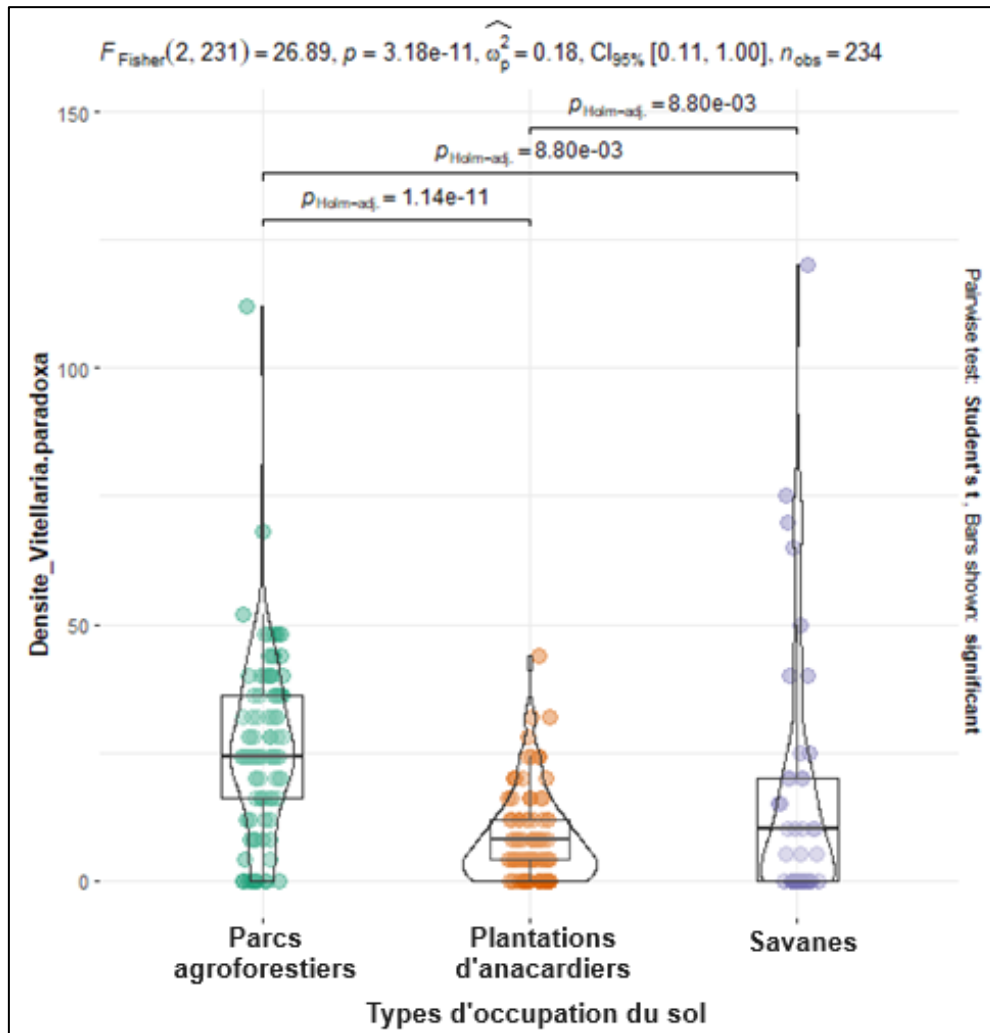


Figure 30 : Densité du *Vitellaria paradoxa* dans les trois types d'occupation du sol investigués

Les boxplots montrent la médiane (ligne horizontale vers le milieu) ; CI_{95 %} est l'intervalle de confiance à 95 % ; n_{obs} est le nombre d'échantillons soumis au test ; p représente la p-value pour la comparaison des trois types d'occupation du sol ; p_{Holm-adj} indique des différences significatives dans la comparaison par paires après le test post hoc de Bonferroni-Holm. Les gros points représentent les parcelles par types d'occupation du sol (vert : parcelle de parcs agroforestiers, Orange : parcelle de plantation d'anacardiens et violet : parcelles de savanes).

7.2.6 Densité de *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don

Pour la densité de *Parkia biglobosa*, la figure 31 montre que les savanes ont enregistré la densité la plus élevée avec $16,34 \pm 16,73$ tiges/ha. Dans les parcs agroforestiers, la densité de l'espèce est de $7,16 \pm 9,05$ tiges/ha. Les plantations d'anacardiens ont enregistré la plus faible densité qui est de $2,71 \pm 4,38$ tiges/ha. Les analyses statistiques ont révélé une différence significative entre les moyennes de la densité de *Parkia biglobosa* dans les trois types d'occupation du sol.

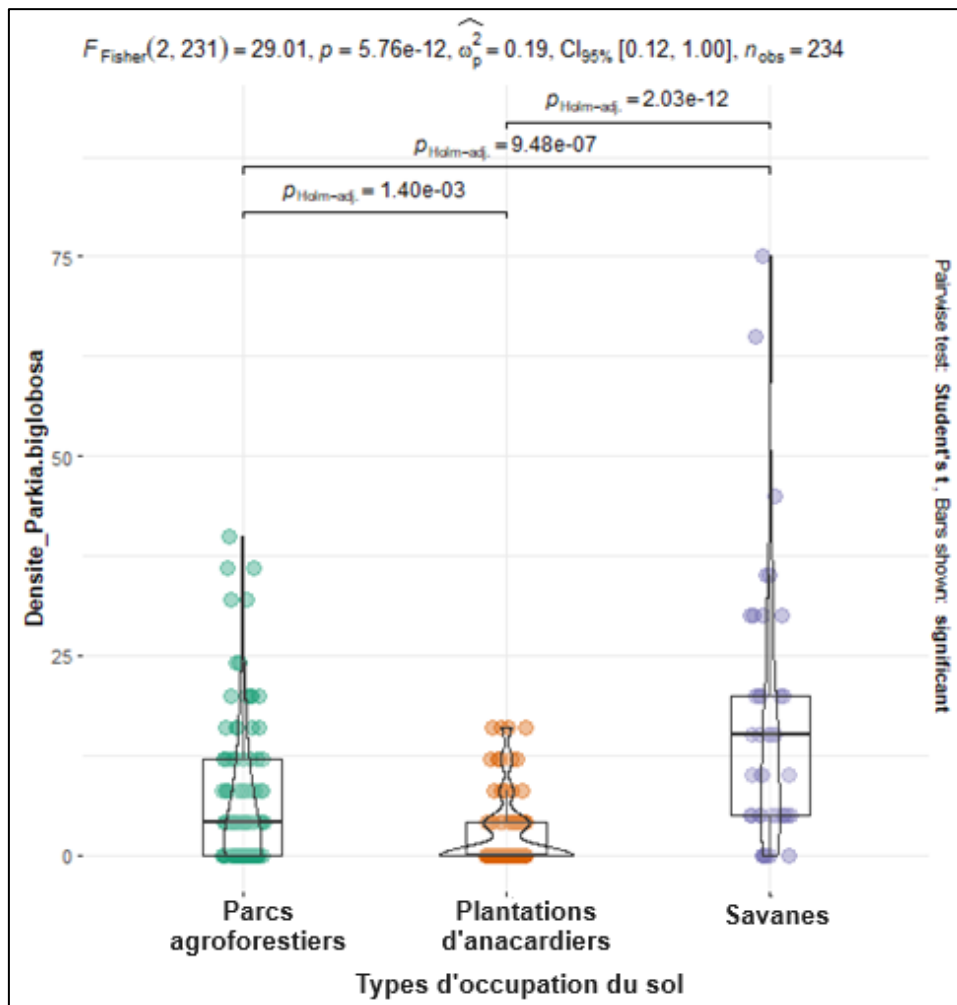


Figure 31 : Densité du *Parkia biglobosa* dans les trois types d'occupation du sol investigués

Les boxplots montrent la médiane (ligne horizontale vers le milieu) ; $CI_{95\%}$ est l'intervalle de confiance à 95 % ; n_{obs} est le nombre d'échantillons soumis au test ; p représente la p-value pour la comparaison des trois types d'occupation du sol ; $p_{Holm-adj}$ indique des différences significatives dans la comparaison par paires après le test post hoc de Bonferroni-Holm. Les gros points représentent les parcelles par types d'occupation du sol (vert : parcelle de parcs agroforestiers, Orange : parcelle de plantation d'anacardiens et violet : parcelles de savanes).

7.3 Distribution des individus ligneux en classes de diamètres

La distribution des individus ligneux par classes de diamètres montre que toutes les classes sont représentées dans les trois types d'occupation du sol (Figure 32). Dans les parcs agroforestiers, on a noté une prédominance des individus de gros diamètres, compris entre]40-50] cm et]50-+] cm (56,61 %). Il en est de même dans les plantations d'anacardiens où 46,94 % des individus inventoriés ont des diamètres de plus de 50 centimètres. Ainsi, dans ces deux types d'occupation du sol, l'allure générale de la courbe est en « J » caractéristique d'un peuplement instable. Par contre, dans les savanes, Il apparaît une plus forte présence des

individus de petits diamètres [5-10] cm qui représentent 1500 tiges/ha, soit 50,39 % d'où une allure en « J » renversé caractéristique d'un peuplement stable.

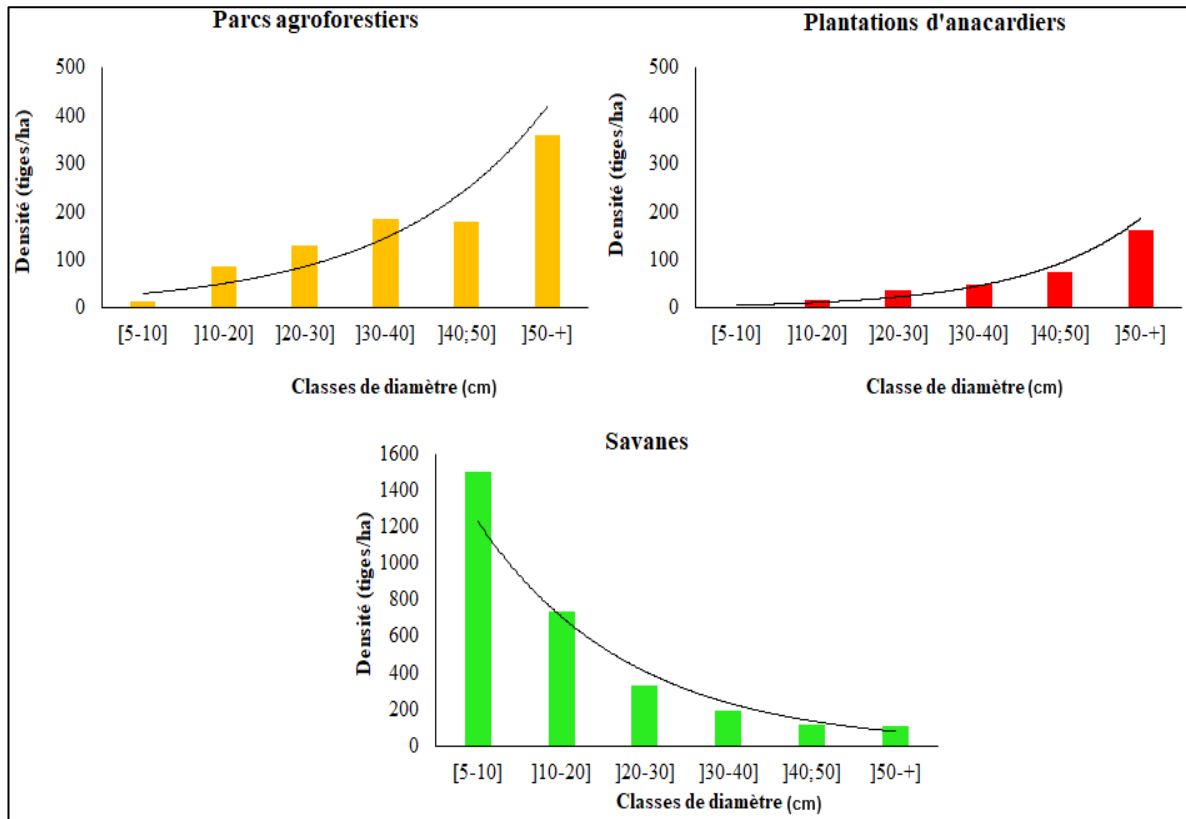


Figure 32 : Diagramme de distribution des individus ligneux en classes de diamètres selon le type d'occupation du sol

7.4 Ressemblances floristiques entre les trois types d'occupation du sol

La matrice de similarités établie à partir de l'indice de similarité de Jaccard montre que les espèces ligneuses des trois types d'occupation du sol sont très peu semblables entre elles (Tableau XII). En effet, l'indice de Jaccard est le plus élevé (50 %) entre les parcs agroforestiers et les plantations d'anacardiers. Il est de 35 % entre les savanes et les parcs agroforestiers. A l'opposé, la plus faible valeur de similarité a été observée entre les savanes et les plantations d'anacardiers, soit 28 % de ressemblance.

Tableau XII : Matrice de similarités floristiques de Jaccard entre les types d'occupation du sol

| Type d'occupation du sol | Parcs agroforestiers | Savanes | Plantations d'anacardiers |
|---------------------------|----------------------|---------|---------------------------|
| Parcs agroforestiers | 100 | - | - |
| Savanes | 35 | 100 | - |
| Plantations d'anacardiers | 50 | 28 | 100 |

Les valeurs sont exprimées en pourcentage

7.5 Relations entre les différents indices de biodiversité et les trois types d'occupation du sol étudiés

L'Analyse en Composante Principale (ACP) a permis de déterminer les relations qui existent entre les différents indices de biodiversité et les trois types d'occupation du sol étudiés (Figure 33). Il ressort que 66,80 % de la variabilité totale sont expliquées par les deux premiers axes dont 50,40 % par l'axe 1 et 16,40 % par l'axe 2. La corrélation des variables aux axes est donnée dans les tableaux XIII et XIV. L'axe 1 est fortement corrélé à l'indice de diversité de Shannon ($r = 0,96$), au nombre total d'espèces ($r = 0,90$), à l'équitabilité de Pielou ($r = 0,67$), à la densité totale ($r = 0,84$ %), à la densité du Néré ($r = 0,54$) et à la surface terrière ($r = 0,56$). Pour ce qui est de l'axe 2, il est fortement corrélé à la densité du Karité ($r = 0,85$) et à la surface terrière ($r = 0,50$).

Ces résultats mettent en évidence, le long de l'axe 1, la succession des placettes des trois types d'occupation du sol, de la gauche vers la droite. Ainsi, nous avons, du côté positif de l'axe 1, les placettes de savanes riches en espèces, très diversifiées avec une répartition plus régulière ainsi qu'une densité élevée des individus. A l'opposé, se trouvent les placettes des parcs agroforestiers et des plantations d'anacardiens, moins riches, où les individus ne sont pas équitablement répartis et sont moins denses. Sur l'axe 2, nous avons, du côté positif, les parcs agroforestiers qui sont corrélés positivement à la densité du Karité et du Néré et à la surface terrière traduisant la présence de gros individus et une densité élevée du Néré et du karité dans ces milieux. Pour ce qui concerne les placettes des plantations d'anacardiens, elles sont négativement corrélées à la densité du Karité, du Néré et à la surface terrière traduisant la faible abondance de ces deux espèces dans ces milieux.

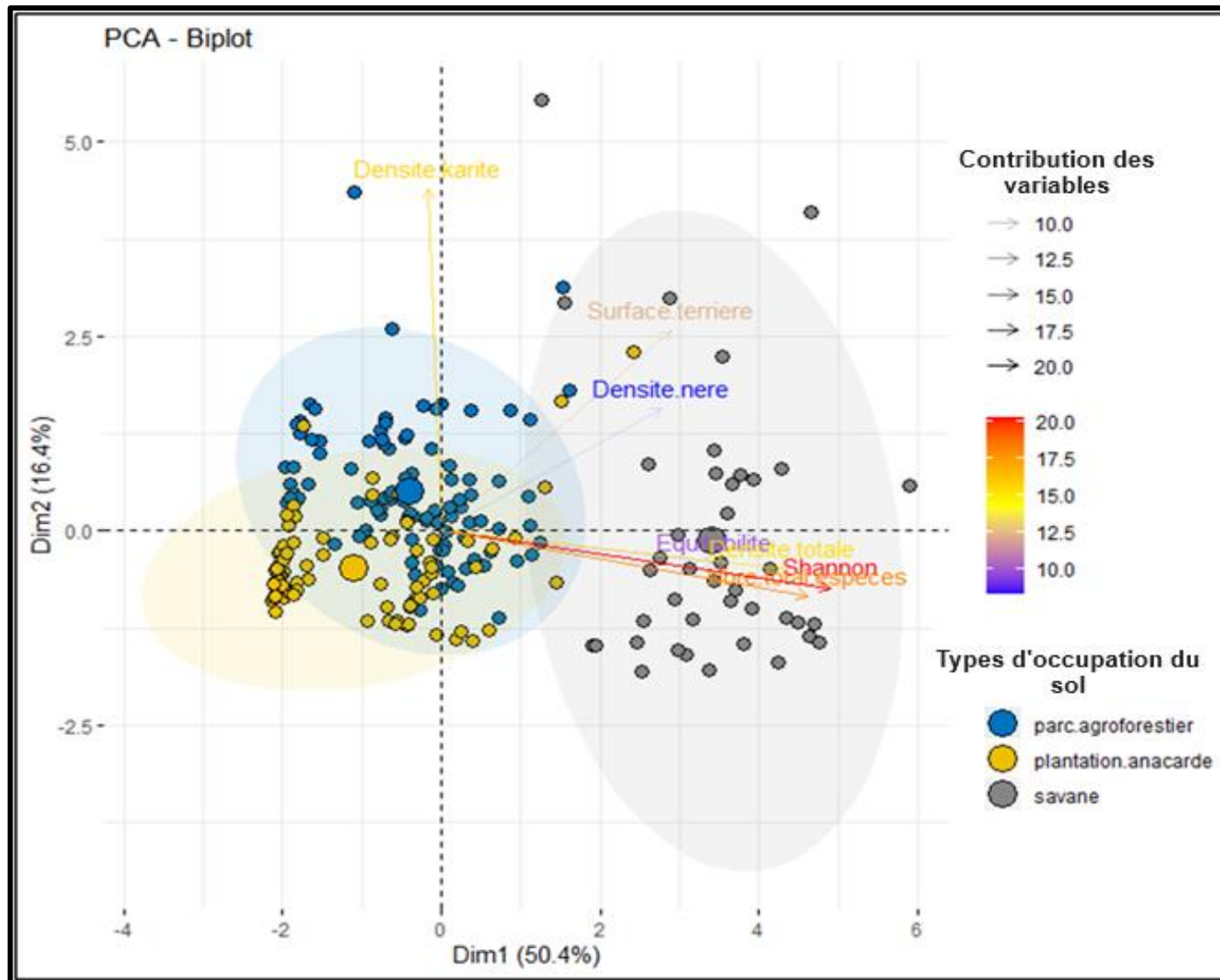


Figure 33 : Plan 1 et 2 de l'ACP réalisée sur les 241 placettes en fonction des indices de diversité floristique et structurale.

Tableau XIII : Valeurs propres des variables descriptives des types d'occupations du sol selon les axes de l'ACP

| Paramètres | Axe 1 | Axe 2 | Axe 3 | Axe 4 | Axe 5 |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Valeurs propres | 3,53 | 1,15 | 0,92 | 0,68 | 0,60 |
| Pourcentage d'inertie (%) | 50,40 | 16,40 | 13,20 | 9,73 | 8,57 |
| Pourcentage cumulé d'inertie (%) | 50,40 | 66,80 | 80,00 | 89,73 | 98,30 |

Tableau XIV : Corrélations des variables utilisées avec les principaux axes de l'ACP

| Variabes | Axe 1 | Axe 2 | Axe 3 | Axe4 | Axe 5 |
|---------------------------------------|-------------|-------------|-------|-------|-------|
| Indice de Shannon | 0,96 | -0,14 | 0,01 | 0,15 | 0,04 |
| Indice d'équitabilité | 0,67 | -0,08 | -0,48 | 0,47 | 0,26 |
| Nombre d'espèces | 0,90 | -0,16 | 0,35 | -0,02 | -0,00 |
| Densité totale (tiges/ha) | 0,84 | -0,09 | 0,43 | -0,19 | 0,01 |
| Densité Néré (tiges/ha) | 0,54 | 0,30 | -0,45 | -0,58 | 0,23 |
| Densité Karité (tiges/ha) | -0,03 | 0,85 | 0,35 | 0,20 | 0,30 |
| Surface terrière (m ² /ha) | 0,56 | 0,50 | -0,20 | 0,08 | -0,61 |

7.6 Typologie des parcs agroforestiers dans les localités de la zone d'étude

La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) réalisée sur les cinq premiers axes factoriels de l'Analyse Factorielle Multiple (AFM) révèle 72,73 % de l'inertie totale dont 56,10 % sont restituées par les deux premiers axes (Figure 34). Ces deux axes sont alors suffisants pour identifier les caractéristiques les plus pertinentes pouvant discriminer les différents types de parcs agroforestiers. Ainsi, la CAH des 100 placettes de parcs agroforestiers, basée sur la richesse floristique, la surface terrière, la densité, la diversité de Shannon, l'équitabilité de Pielou, la densité du Néré, la densité du Karité et les espèces associées, a discriminé trois grands types de parcs agroforestiers dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire (Figure 35, 36 et 37). Il s'agit des parcs à Karité, parcs mixtes et les parcs à Néré. Le tableau XV donne les caractéristiques de chacun des types de parcs agroforestiers.

Les parcs à Karité représentent 50 % des parcs agroforestiers recensés et sont caractérisés par une abondance de *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn. (Karité), en moyenne 36 pieds/ha. Ils sont cependant moins diversifiés (Indice de Shannon = 0,32) avec une équitabilité faible. On

trouve dans les parcs à Karité, en plus du Karité, des espèces telles que *Azadirachta indica* A. Juss., *Cola cordifolia* (Cav.) R. Br., *Ficus platyphylla* Delile et *Sterculia setigera* Delile.

Les parcs agroforestiers mixtes sont essentiellement à *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn. (en moyenne 21 pieds/ha) et *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. Ex G. (en moyenne 10 pieds/ha). Ces parcs sont les plus diversifiés avec une répartition plus équitable des individus ligneux. Les espèces associées sont *Daniellia oliveri* (Rolfe) Hutch. & Dalziel, *Ficus platyphylla* Delile, *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss., *Tamarindus indica* L., *Vitex doniana* Sweet et *Mangifera indica* L.

Enfin, les parcs à Néré sont essentiellement constitués de Nérés (*Parkia biglobosa*). On y trouve en moyenne 23 pieds de Néré à l'hectare. Dans ce type de parcs, il y a en moyenne deux espèces associées : *Azalia africana* Pers. et *Anacardium occidentale* L.

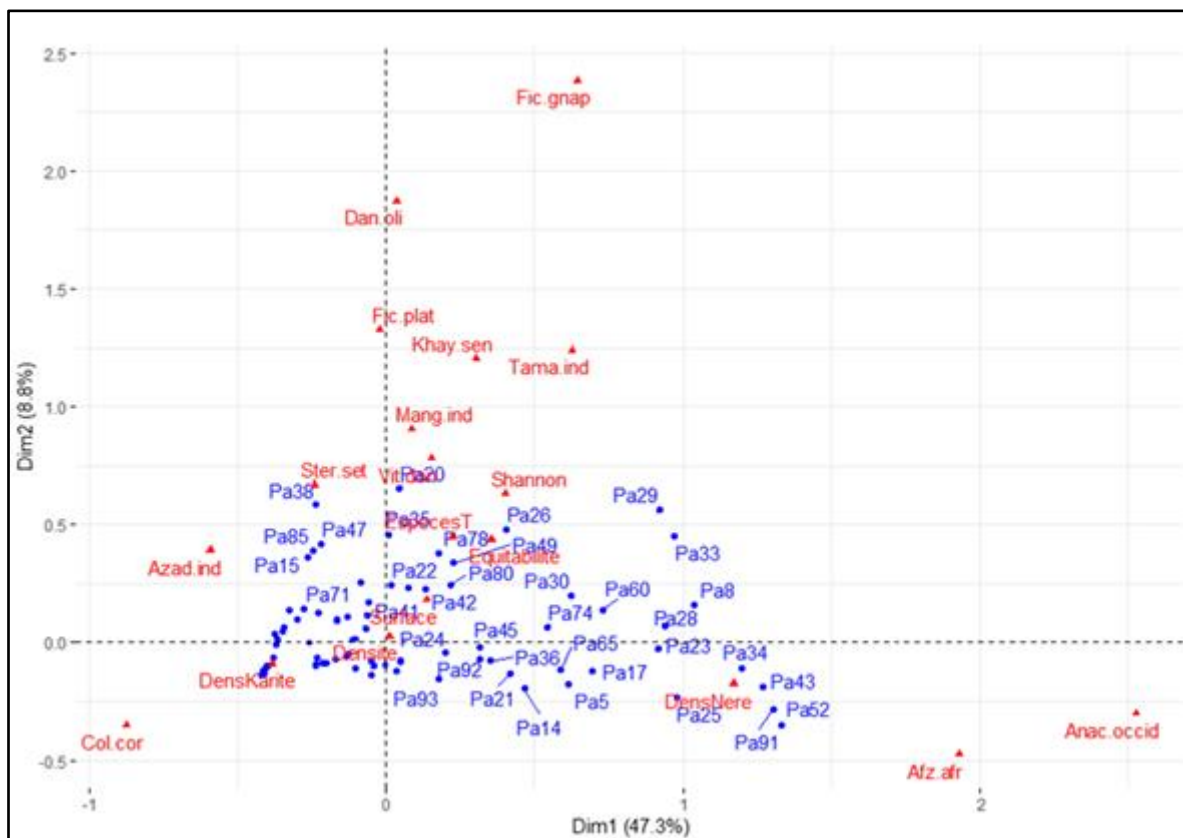


Figure 34 : Distribution dans les plans 1 et 2 de l'AFM des placettes de parcs agroforestiers et des espèces associées

Vit.don : *Vitex doniana*, Khay.sen : *Khaya senegalensis*, Fic.gnap : *Ficus gnaphalocarpa*, Col.cor : *Cola cordifolia*, Afz.afr : *Azalia africana*, Azad.ind : *Azadirachta indica*, Anac.occid : *Anacardium occidentale*, Fic.plat : *Ficus platyphylla*, Mang.ind : *Mangifera indica*, Ster.set : *Sterculia setigera*, Dan.ali : *Daniellia oliveri*, Tama.ind : *Tamarindus indica*. DensKarite : Densité du Karité, DensNere : Densité du Néré, Surface : Surface terrière.

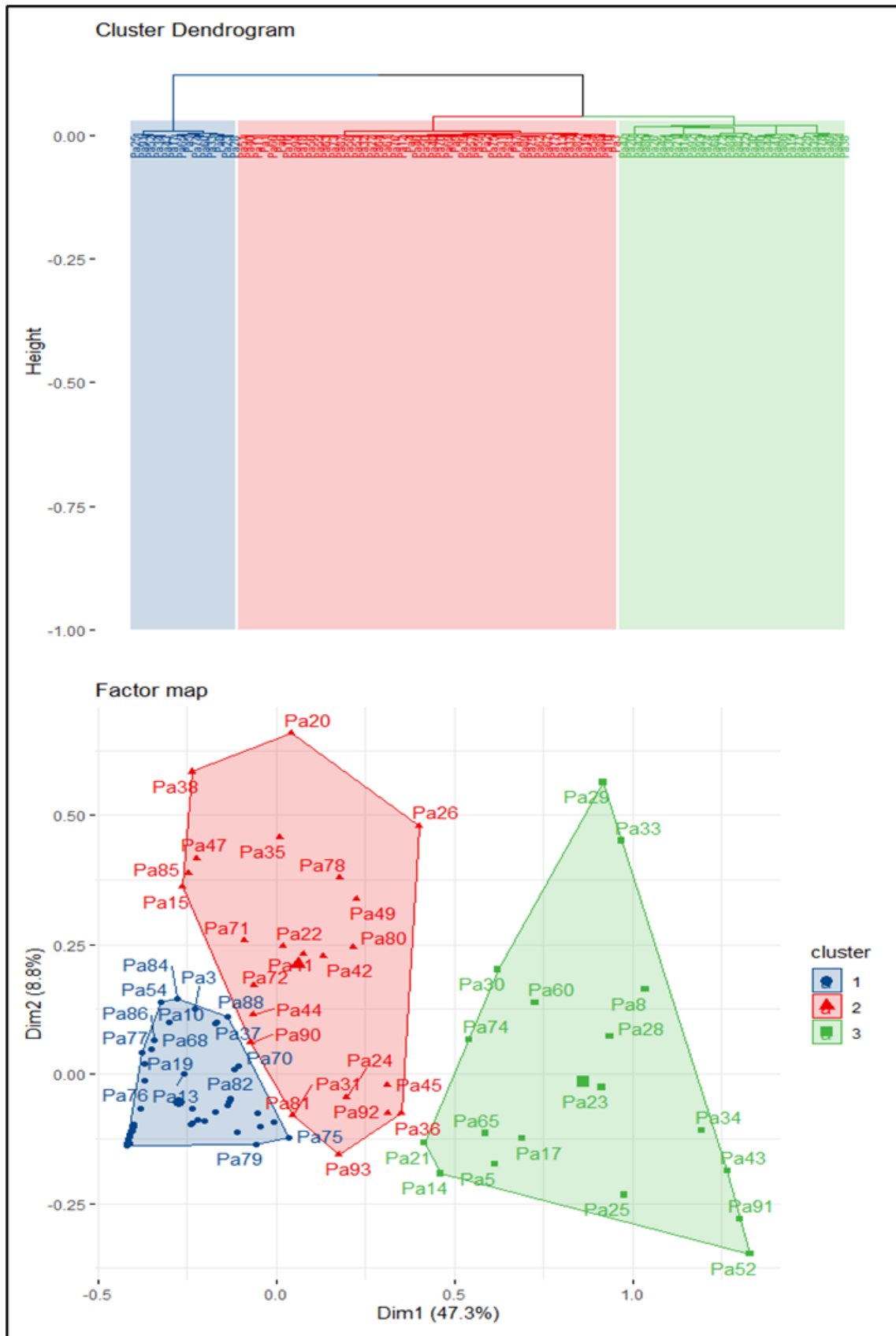


Figure 35 : Classification Ascendante Hiérarchique des placettes de parcs agroforestiers

Cluster représente les types de parcs agroforestiers. Le petit carré bleu représente les parcs à Karité, le carré rouge représente les parcs mixtes et le carré vert représente les parcs à Néré.



Figure 36 : Vue d'un parc agroforestier à *Vitellaria paradoxa* (karité) à Tengréla



Figure 37 : Vue d'un parc agroforestier à *Parkia biglobosa* (nééré) à Tengréla

Tableau XV : Caractéristiques floristiques des trois types de parcs agroforestiers issus de la Classification Hiérarchique Ascendante

| Paramètres floristiques | Parc à Karité n = 52 | Parc mixte n = 28 | Parc à Néré n = 20 | P-value |
|---------------------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|---------|
| Indice | | | | |
| Shannon | 0,32 ± 0,28 | 0,95 ± 0,31 | 0,77 ± 0,38 | 1,15*** |
| Équitabilité de Pielou | 0,38 ± 0,30 | 0,85 ± 0,09 | 0,74 ± 0,28 | 5,86*** |
| Richesse spécifique | 1,90 ± 0,87 | 3,29 ± 1,40 | 2,78 ± 1,16 | 2,98*** |
| Densité (tiges/ha) | 40,69 ± 15,79 | 35,33 ± 11,81 | 37,11 ± 15,81 | NS |
| Densité Néré (tiges/ha) | 2,62 ± 3,53 | 10,00 ± 5,44 | 23,22 ± 9,12 | 2*** |
| Densité Karité (tiges/ha) | 35,92 ± 14,62 | 20,83 ± 7,27 | 2,78 ± 10,22 | 8,47*** |
| Surface terrière (m ² /ha) | 0,81 ± 0,60 | 0,80 ± 0,52 | 0,93 ± 0,44 | NS |

* p < 0,05, ** p < 0,01, *** p < 0,001

7.7 Typologie des plantations d'anacardiens dans les localités d'étude

La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) réalisée sur les cinq premiers axes factoriels de l'AFM révèle 73,19 % de l'inertie totale dont 47,19 % sont restituées par les deux premiers axes. Ainsi, la CAH des 100 placettes de plantations d'anacardiens, basée sur l'âge, la richesse floristique, la densité des espèces associées, la diversité de Shannon, l'équitabilité de Pielou, la densité en nééré, la densité en karité et les espèces associées a permis de discriminer trois types de systèmes agroforestiers à anacardiens. Il s'agit des systèmes agroforestiers à anacardiens et Karité, des systèmes agroforestiers à anacardiens, Karité et Néré et des systèmes agroforestiers à anacardiens et Néré (Figure 38 et 39). Le tableau XVI donne les caractéristiques de chacun des trois types de systèmes agroforestiers à anacardiens.

Les systèmes agroforestiers à anacardiens et Karité ont en moyenne 14 ans et représente le tiers des plantations recensées. Ils sont caractérisés par une très forte densité en *Vitellaria paradoxa* (Karité) en moyenne 16 pieds/ha et une très faible densité en *Parkia biglobosa*. On trouve dans ce type de parc agroforestier en moyenne 1 pied à l'hectare de Néré. Ils sont moins diversifiés (Indice de Shannon = 0,28) avec une faible valeur d'équitabilité de Pielou (0,31). On trouve dans ces parcs, en plus de l'anacardier et le Karité, les espèces associées telles que *Tamarindus indica* L., *Vitex doniana* Sweet, *Cola cordifolia* (Cav.) R. Br. et *Sterculia setigera* Delile.

Les systèmes agroforestiers à anacardiens, Néré et Karité sont les plus âgées (en moyenne 20 ans). Ils sont moins denses que celles des deux parcs (en moyenne 10 pieds/ha). Aussi, il y a une densité très faible de *Parkia biglobosa* (Néré) avec une moyenne de 1 pied/ha (Figure 40). Il y a également une faible densité de *Vitellaria paradoxa* (Karité) avec une moyenne de 3

pieds/ha. On trouve dans ces parcs, en plus de l'anacardier, le Karité et le Néré, les espèces telles que *Daniellia oliveri* (Rolfe) Hutch. & Dalziel, *Prosopis africana* (Guill., Perrot et Rich.) Taub. et *Sterculia setigera* Delile.

Enfin, les systèmes agroforestiers à anacardiers et Néré sont constitués par les plantations d'anacardiers les plus jeunes, ayant en moyenne 10 ans. On y trouve en moyenne 12 pieds de Néré à l'hectare. On trouve dans ces parcs, en plus de l'anacardier et le Néré, les espèces telles que *Adansonia digitata* Linn., *Lannea acida* A. Rich., *Mangifera indica* L. et *Acacia dudgeonii* Holland.

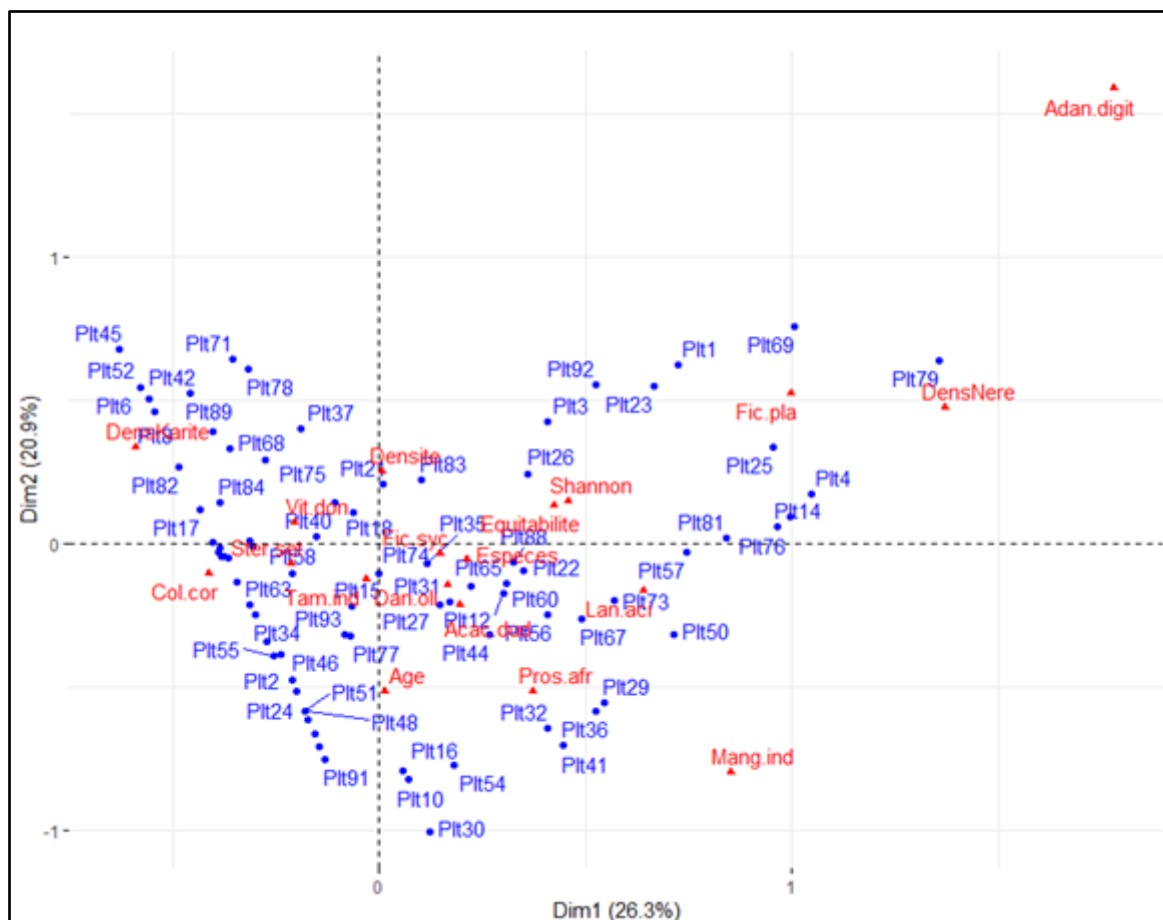


Figure 38 : Distribution dans les plans 1 et 2 de l'AFM des placettes de plantations d'anacardiers et des espèces associées

Legende : Vit.don = *Vitex doniana*, Col.cor = *Cola cordifolia*, Fic.pla = *Ficus platyphilla*, Mang.ind = *Mangifera indica*, Ster.set = *Sterculia setigera*, Dan.ali = *Daniellia oliveri*, Tama.ind = *Tamarindus indica*. Adan.digit = *Adansonia digitata*, acac.dud = *Acacia dudgeonii*, DensKarite = Densité Karité, DensNere = Densité Néré.

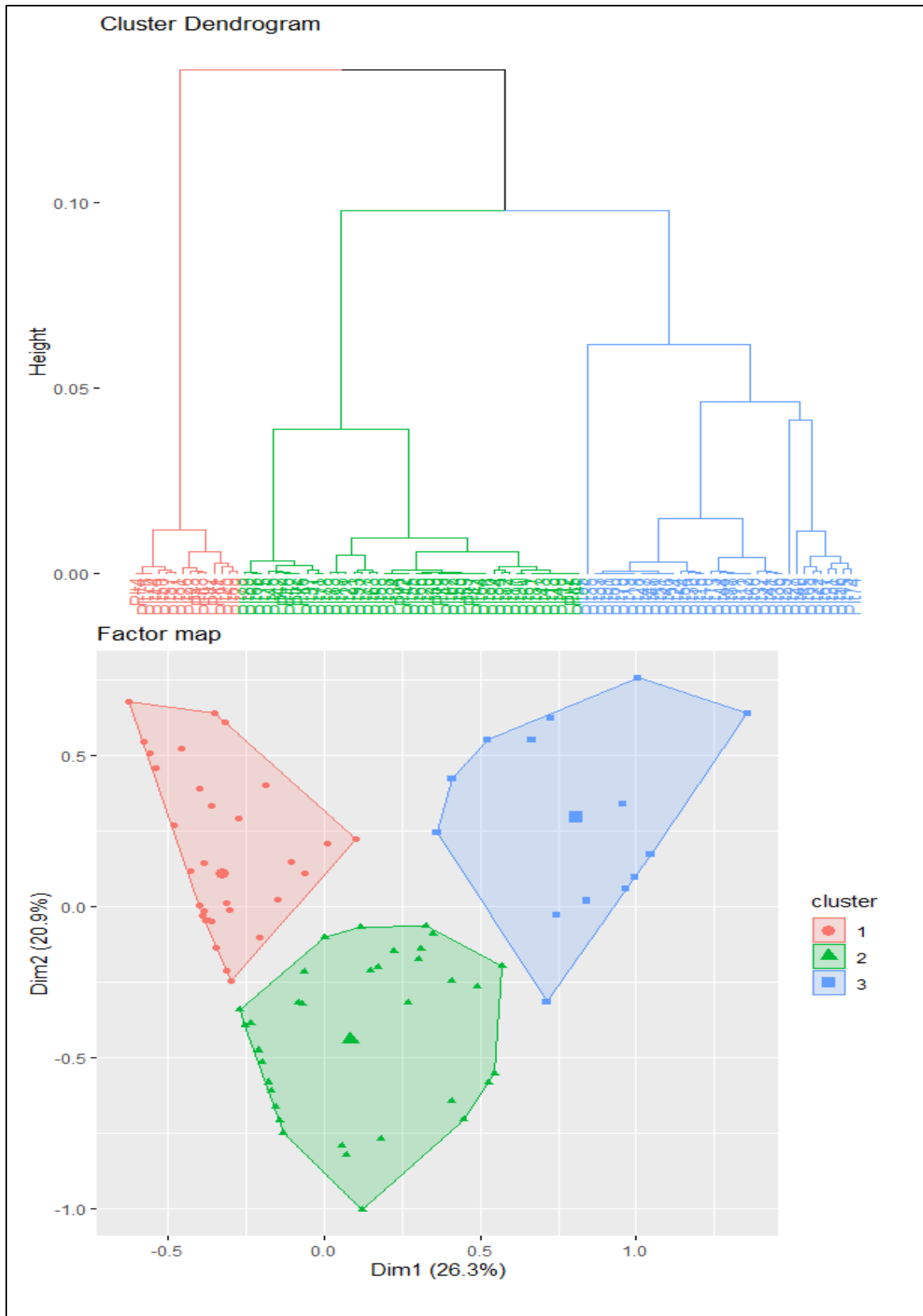


Figure 39 : Classification Ascendante Hiérarchique des placettes de plantations d’anacardiers

Cluster représente les types de plantations d’anacardiers. Le petit carré bleu représente les parcs à anacardiers et Karité, le carré rouge représente les parcs à anacardiers, Karité et Néré et enfin le carré vert représente les parcs à Néré.



Figure 40 : Vue d'un système agroforestier à anacardiers et Néré dans le département de Ouangolodougou

Tableau XVI : Caractéristiques floristiques des trois types de plantations d'anacardiers issus de la Classification Hiérarchique Ascendante

| Paramètres | Type 1 n=39 | Type 2 n=40 | Type 3 n= 21 | P-value |
|---------------------------|----------------|----------------|-----------------|---------|
| Age (ans) | 14,08 ± 6,89 | 19,80 ± 5,01 | 10,68 ± 4,67 | 0,05* |
| Indice de Shannon | 0,28 ± 0,39 | 0,44 ± 0,56 | 0,57 ± 0,48 | 0,04* |
| Equitabilité de Pielou | 0,31 ± 0,38 | 0,43 ± 0,48 | 0,58 ± 0,45 | 0,04* |
| Richesse spécifique | 1,64 ± 0,93 | 1,93 ± 1,47 | 2,14 ± 1,1 | NS |
| Densité (tiges/ha) | 12,97 ± 9,50 | 9,80 ± 8,96 | 18,86 ± 9,59 | 0,001** |
| Densité Néré (tiges/ha) | 0,72 ± 1,80 | 1,50 ± 1,96 | 11,71 ± 3,31 | 1,1*** |
| Densité Karité (tiges/ha) | 16,00 ± 8,20 | 3,10 ± 2,63 | 3,43 ± 4,66 | 3,42*** |

* p < 0,05 ; ** p < 0,01 ; *** p < 0,001.

Type 1 : Systèmes agroforestiers à anacardiers et Karité ; Type 2 : Systèmes agroforestiers à anacardiers, Karité et Néré ; Type 3 : Systèmes agroforestiers à anacardiers et Néré.

7.8 Discussion

7.8.1 Implication des plantations d'anacardiers à la dégradation de la biodiversité dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire

Les résultats obtenus sur les diversités floristiques et structurales ont montré que les plantations d'anacardiers ont un impact négatif sur la diversité ligneuse dans les localités de Tengréla, Ouangolodougou et Tienko. D'abord au niveau de la diversité qualitative, les plantations d'anacardiers sont moins riches que les parcs agroforestiers. Au total 39 espèces ont été inventoriées dans les parcs agroforestiers contre 30 dans les plantations d'anacardiers. Ce résultat pourrait se justifier par le fait que lors de la mise en place des plantations d'anacardiers, les exploitants agricoles procèdent à l'élimination quasi-totale des espèces associées ne privilégiant que très peu d'espèces. Ils penseraient que l'ombrage des arbres associés constitue un frein au bon développement des anacardiers. Ainsi, seules les espèces présentant un intérêt économique et/ou social tel que le Karité et le Néré sont épargnées. Cela est justifié par le calcul de l'indice de valeur d'importance qui a montré qu'à l'instar des parcs agroforestiers, les espèces épargnées lors de la mise en place des plantations sont dominées par *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn. et *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don. Par contre, le calcul des paramètres structuraux pour ces deux espèces a montré que la densité de pieds épargnés dans les plantations d'anacardiers reste significativement inférieure à celle des parcs agroforestiers. Ce résultat traduit la vulnérabilité des deux espèces dans les plantations d'anacardiers due aux pressions anthropiques en particulier à l'extension des surfaces cultivées, l'abattage de certains pieds de ces espèces et l'entretien régulier des parcelles (Habou *et al.*, 2020 ; Mbayetom *et al.*, 2021). Par ailleurs, dans les localités étudiées, la diversité floristique et l'équipartition des individus dans les plantations d'anacardiers sont faibles par rapport aux parcs agroforestiers. Pour ce qui concerne la densité totale, nos résultats ont montré que les parcs agroforestiers ont une densité de tiges élevée, contrairement, aux plantations d'anacardiers. La stratégie des paysans est d'éliminer tous les individus en surnombre, en ne retenant que quelques pieds d'arbres sur la parcelle. Koulibaly *et al.* (2016) ont montré que la cause principale de la réduction de la densité des espèces forestières dans les plantations d'anacardiers est liée au désherbage régulier des plantations par les populations. Tous ces résultats démontrent l'impact néfaste des plantations d'anacardiers sur la diversité floristique et la structure de la végétation dans les localités étudiées. A l'instar de la zone soudanienne, les recherches de Akpa (2015) dans la zone de transition-forêt de la Côte d'Ivoire, ont montré également que les plantations

d'anacardiens ont un impact néfaste sur la diversité et la structure des espèces végétales dans le Nord-est de la Côte d'Ivoire.

7.8.2 Nouvelle structuration des systèmes agroforestiers existants dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire

Six types de systèmes agroforestiers ont été définis dans les localités de Tengréla Ouangolodougou et Tienko dont trois types de parcs agroforestiers et trois types de systèmes agroforestiers à base d'anacardiens. Les trois types de parcs agroforestiers identifiés sont les parcs à dominance Karité (Type 1), les parcs mixtes à Karité et Néré (Type 2) et le troisième type de parc (type 3) est à dominance de Néré. Quant aux systèmes agroforestiers à base d'anacardiens, ils comprennent le système à base d'anacardiens et Karité (type 4). La forte densité de Karité dans ce groupe pourrait s'expliquer par le fait que la majorité de ces plantations ont été installée sur des parcelles de parcs à Karité. Toutefois, la densité des Karités dans ce groupe reste inférieure à celle trouvée dans les parcs à Karité qui est en moyenne de 35,92 pieds à l'hectare. Le cinquième type (type 5) est un système mixte à base d'anacardiens, Karité et Néré. Sa composition montre que ce système a eu pour précédent cultural le parc mixte à Néré et Karité. Enfin, le dernier type de système agroforestier (type 6) est un système à base d'anacardiens et Néré. La forte densité de néré pourrait s'expliquer par le fait que ces plantations ont été installées sur des parcelles de parcs à néré. Ce type de système s'apparente beaucoup au deuxième système. Cependant on y trouve une densité de néré plus faible comparé au type 2. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les exploitants agricoles estiment que le néré est un arbre à fort ombrage qui impact négativement le rendement des cultures. Les pieds sont alors détruits afin de permettre la bonne croissance des anacardiens. En comparant à d'autres travaux réalisés sur les parcs agroforestiers, nos résultats sont contraires à ceux de Boffa (2000) ; Diarrassouba *et al.* (2009) et Boffa (2015). En effet, ces auteurs, ont identifié trois types de parcs agroforestiers dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire à savoir les parcs à Karité (*Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn), les parcs à Néré (*Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don) et les parcs à *Faidherbia albida*. (Delile) A.Chev.) Cette dissimilarité pourrait s'expliquer d'une part par les méthodes d'analyses utilisées. Dans cette étude nous avons utilisées une analyse multivariée prenant en compte de nombreux paramètres alors que ces auteurs se sont basés sur l'observation visuelle, les enquêtes auprès des populations et la revue de la littérature. D'autre part, les plantations d'anacardiens n'ont pas été prises en compte par ces auteurs. Pourtant vue le développement actuel de l'anacarde dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire, il est important de reconsidérer la thématique de système à parc agroforestier dans cette zone.

Conclusion partielle

L'étude de la diversité floristique et structurale dans les trois types d'occupation du sol (parcs agroforestiers, savanes et plantations d'anacardiens) dans les trois localités (Tienko, Ouangolodougou et Tengréla) a montré une prédominance des espèces microphanérophytes (mp) et des espèces de la zone Soudano-Zambéziennes (SZ). Les espèces telles que *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don et *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn. sont les plus abondantes dans les trois types d'occupation du sol. Par ailleurs, la diversité et les caractéristiques structurales de la végétation ligneuse décroissent des savanes aux plantations d'anacardiens. La comparaison des indices de biodiversité entre les trois types d'occupation du sol a montré que les plantations d'anacardiens sont les moins diversifiés, les moins denses et dont les individus ligneux sont inégalement repartis, comparés aux parcs agroforestiers et aux savanes.

Par ailleurs, *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don et *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn. sont moins abondants dans les plantations d'anacardiens que dans les parcs agroforestiers.

Ainsi, ces résultats confirment l'hypothèse initiale qui stipule que les plantations d'anacardiens ont un impact néfaste sur la diversité et la structure des espèces ligneuses de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire. Toutefois, la typologie des parcs agroforestiers et des plantations d'anacardiens a permis d'identifier six types de systèmes agroforestiers : les parcs à Karité, les parcs à Karité et Néré, les parcs à Néré, les systèmes agroforestiers à anacardiens et Karité, les systèmes agroforestiers à anacardiens, Karité et Néré et les systèmes agroforestiers à anacardiens et Néré.

Chapitre 8. Variabilité climatique de 1990 à 2020 dans les localités d'étude et stratégies d'adaptation des agriculteurs

8.1 Variabilité climatique de 1990 à 2020 dans les localités d'étude

8.1.1 Variabilité interannuelle des précipitations annuelles de 1990 à 2020

Les hauteurs pluviométriques annuelles ont été calculées pour les trois localités sur la période 1990-2020 (Figure 41). L'examen des graphes indique une forte variabilité et une tendance à la hausse de la pluviométrie annuelle depuis 2010 par rapport à la moyenne des trente années qui est de 1047 mm à Ouangolodougou, 1147 mm à Tengréla et 1230 mm à Tienko. En outre, la statistique Z du test de Mann-Kendall et le Z_{sp} de Rho de Spearman pour Ouangolodougou ($Z = + 1,767$; $Z_{sp} = + 0,345$), Tengréla ($Z = 2,515$; $Z_{sp} = 0,467$) et Tienko ($Z = 1,801$; $Z_{sp} = 0,327$) indiquent une tendance positive de la pluviométrie annuelle pour toutes les localités (Tableau XVII, XVIII et XIX). Cependant, cette croissance n'est pas significative au seuil de 5 %. Pour ce qui est de la pente de Sen, les valeurs positives confirment l'augmentation des hauteurs pluviométriques annuelles sur la période d'étude.

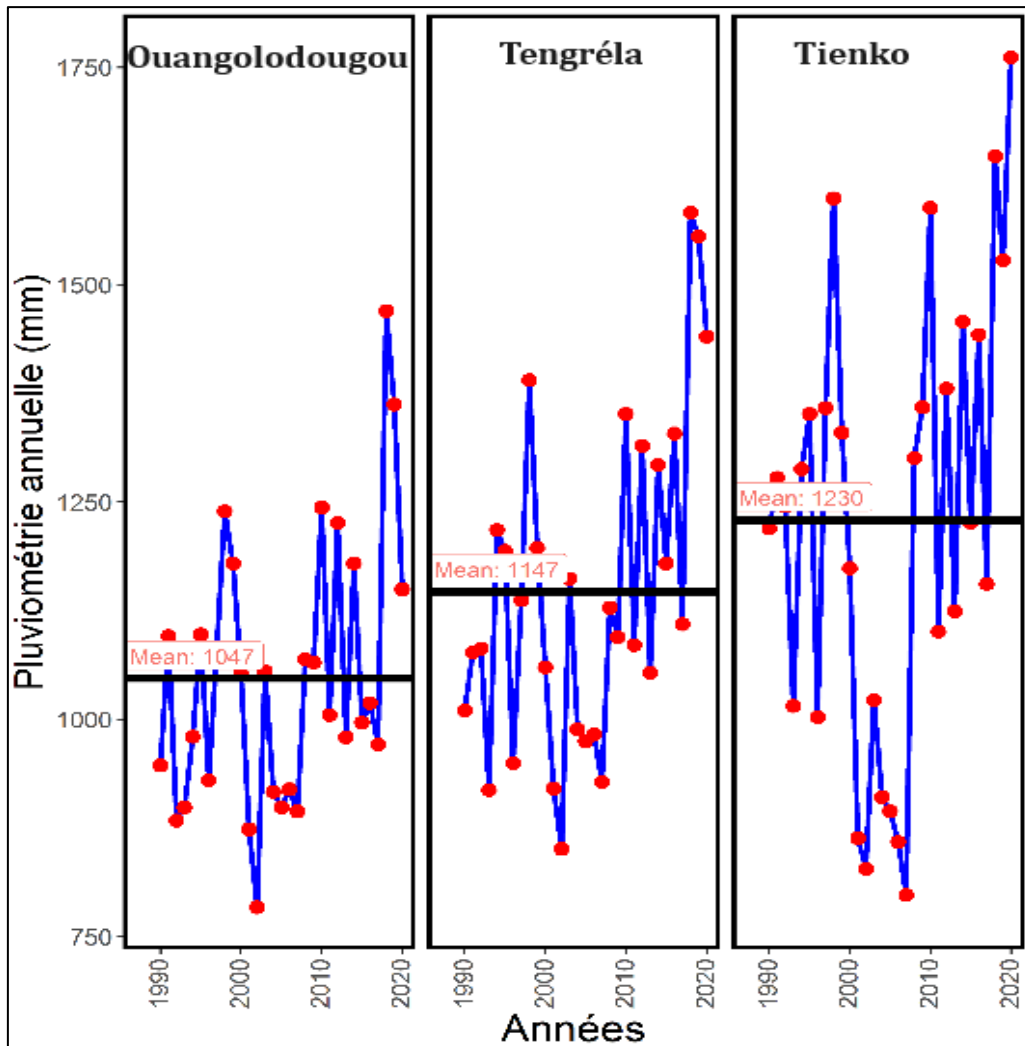


Figure 41 : Evolution des hauteurs pluviométriques annuelles dans les trois localités étudiées de 1990 à 2020

Tableau XVII : Tests appliqués aux indices de pluie et de température à Ouangolodougou

| Indices | Mann-Kendall | | Rho de Spearman | P-value | Pente de Sen |
|--------------------------|--------------|---------|-----------------|---------|--------------|
| | (Z) | p-value | (Zsp) | | |
| Précipitation (mm) | 1,767 | 0,077 | 0,345 | 0,057 | + 5,909 |
| Saison culturale (jours) | - 0,646 | 0,518 | - 0,128 | 0,492 | - 0,312 |
| Jours pluvieux (jours) | - 0,459 | 0,646 | - 0,117 | 0,529 | - 0,142 |
| Séquences sèches (jours) | 0,259 | 0,795 | 0,090 | 0,627 | 0,000 |
| Tmax (°C) | 1,189 | 0,234 | 0,185 | 0,316 | 0,021 |
| Tmin (°C) | 0,237 | 0,811 | 0,016 | 0,928 | 0,002 |

+ et - indiquent respectivement les tendances positive et négative. Les valeurs significatives au seuil de 5 % sont affectées d'un astérisque. * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$. Tmin : Température minimale, Tmax : Température maximale.

Tableau XVIII : Tests appliqués aux indices de pluie et de température à Tengréla

| Indices | Mann- | p-value | Rho de Spearman | P-value | Pente de Sen |
|--------------------------|-------------|---------|-----------------|---------|--------------|
| | Kendall (Z) | | (Zsp) | | |
| Précipitation (mm) | 2,515 | 0,011* | 0,467 | 0,008** | 10,170 |
| Saison culturale (jours) | 0,408 | 0,683 | 0,064 | 0,731 | 0,250 |
| Jours pluvieux (jours) | - 0,663 | 0,506 | - 0,127 | 0,494 | - 0,214 |
| Séquences sèches (jours) | 1,990 | 0,046* | 0,369 | 0,040* | 0,142 |
| Tmax (°C) | 0,407 | 0,683 | 0,085 | 0,644 | 0,003 |
| Tmin (°C) | 1,546 | 0,121 | 0,293 | 0,108 | 0,010 |

+ et - indiquent respectivement les tendances positive et négative. Les valeurs significatives au seuil de 5 % sont affectées d'un astérisque. * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$. Tmin : Température minimale, Tmax : Température maximale.

Tableau XIX : Tests appliqués aux indices de pluie et de température à Tienko

| Indices | Mann- | p-value | Rho de Spearman | P-value | Pente de Sen |
|--------------------------|-------------|---------|-----------------|---------|--------------|
| | Kendall (Z) | | (Zsp) | | |
| Précipitation (mm) | +1,801 | 0,071 | +0,327 | 0,072 | +8,938 |
| Saison culturale (jours) | +0,782 | 0,434 | +0,123 | 0,507 | +0,391 |
| Jours pluvieux (jours) | - 0,647 | 0,517 | - 0,124 | 0,505 | - 0,176 |
| Séquences sèches (jours) | +1,332 | 0,182 | +0,267 | 0,145 | +0,058 |
| Tmax (°C) | +0,407 | 0,683 | +0,083 | 0,654 | +0,006 |
| Tmin (°C) | +0,543 | 0,586 | +0,079 | 0,671 | +0,004 |

+ et - indiquent respectivement les tendances positive et négative. Les valeurs significatives au seuil de 5 % sont affectées d'un astérisque. * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$. Tmin : Température minimale, Tmax : Température maximale.

8.1.2 Variabilité interannuelle de la durée de la saison culturale de 1990 à 2020

La figure 42 indique l'évolution de la durée de la saison culturale dans les trois localités. Il ressort une forte variabilité et une tendance au raccourcissement de la durée de la saison culturale à Ouangolodougou. Cette tendance à la baisse est confirmée par le Z de Mann-Kendall ($Z = -0,646$), Zsp de Rho de Spearman ($Zsp = -0,128$) et la valeur de la pente de Sen également négative ($-0,312$) (Tableau XVII). Par contre les localités de Tengréla et de Tienko présentent des tendances au prolongement de la durée de la saison culturale, avec respectivement, les valeurs Z de Mann-Kendall de 0,408 et 0,782, Zsp de Rho de Spearman de 0,064 et 0,123. Quant à la pente de Sen, elle était de 0,250 à Tengréla et 0,391 à Tienko (Tableaux XVIII

et.XIX) Les tests statistiques appliqués n'ont cependant pas montré de différence significative au seuil de 5 %.

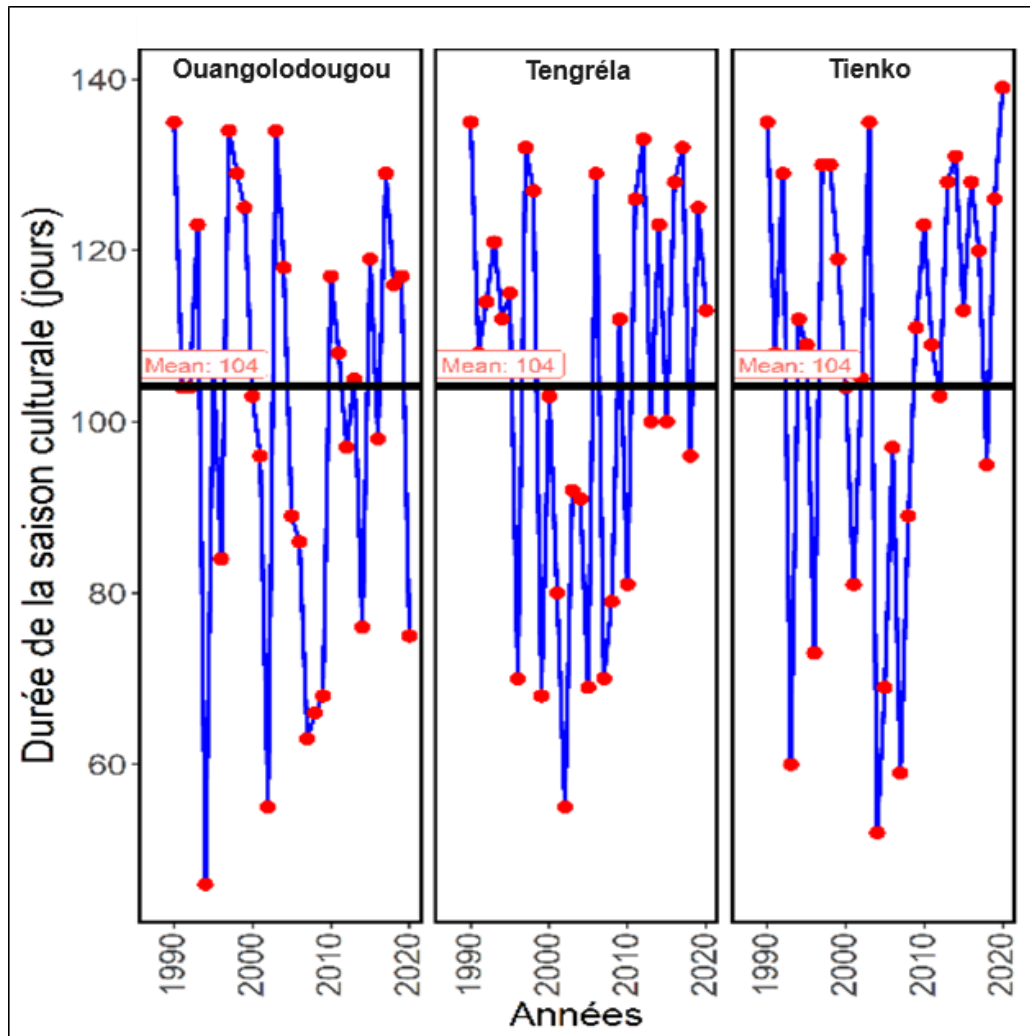


Figure 42 : Evolution de la durée de la saison culturale dans les trois localités étudiées de 1990 à 2020

8.1.3 Variabilité interannuelle du nombre de jours pluvieux de 1990 à 2020

L'évolution du nombre de jours pluvieux ($RR \geq 1,0$ mm) sur les 31 années est présentée par la Figure 43. Il apparaît une baisse du nombre de jours pluvieux dans les trois localités. Au cours des cinq dernières années, des valeurs en dessous de la moyenne qui est de 205 jours à Ouangolodougou, 185 jours à Tengréla et 188 jours à Tienko, ont été observées. Cette tendance a été confirmée par les valeurs de Z de Mann-Kendall négatif pour Ouangolodougou ($Z = -0,459$), Tengréla ($Z = -0,663$) et Tienko ($Z = -0,647$). Pour ce qui est des valeurs Zsp de Rho de Spearman, elles sont également négatives pour Ouangolodougou ($Z_{sp} = -0,117$), Tengréla ($Z_{sp} = -0,127$) et Tienko ($Z_{sp} = -0,123$). La tendance est la même pour la pente de Sen dont les

valeurs sont de -0,142 ; -0,214 et -176, respectivement, pour Ouangolodougou, Tengréla et Tienko (Tableau XVII, XVIII et XIX). Toutefois, les valeurs des tests statistiques montrent que cette baisse n'est pas significative au seuil de 5 %.

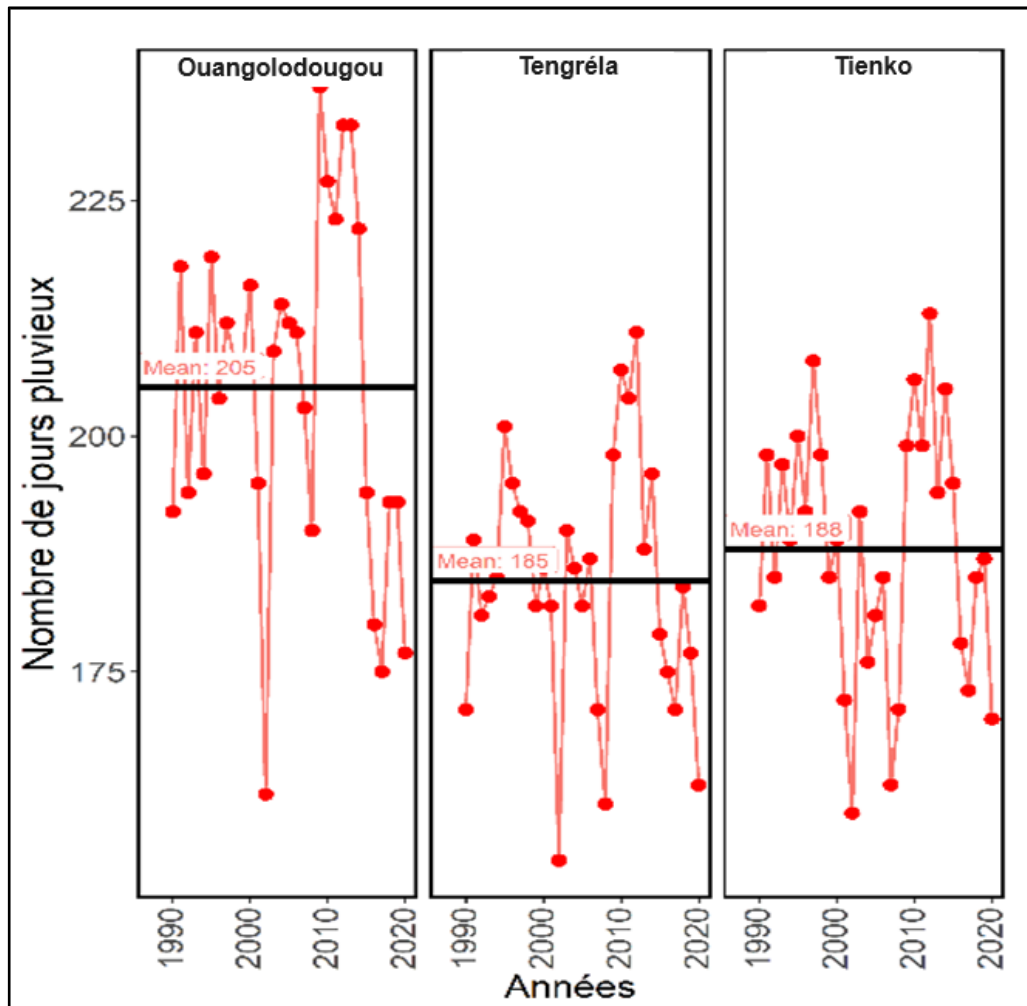


Figure 43 : Evolution du nombre de jours pluvieux dans les localités de la zone d'étude de 1990 à 2020

8.1.4 Occurrence des séquences sèches entre les jours pluvieux de 1990 à 2020

La figure 44 présente l'évolution des séquences sèches dans les trois localités. Que ce soit à Ouangolodougou, Tengréla ou Tienko, l'évolution des séquences sèches pendant la saison culturale montre une tendance à la hausse. Cette tendance a été confirmée par les valeurs positives du Z de Mann-Kendall ($Z = 0,259$; $Z = 1,990$ et $Z = 1,332$) et le Zsp de Rho de Spearman ($Z_{sp} = 0,090$; $Z_{sp} = 0,369$ et $Z_{sp} = 0,267$) respectivement pour Ouangolodougou, Tengréla et Tienko. Toutefois, cette hausse n'est pas significative dans les différentes localités exceptée Tengréla (Tableaux XVII, XVIII et XIX).

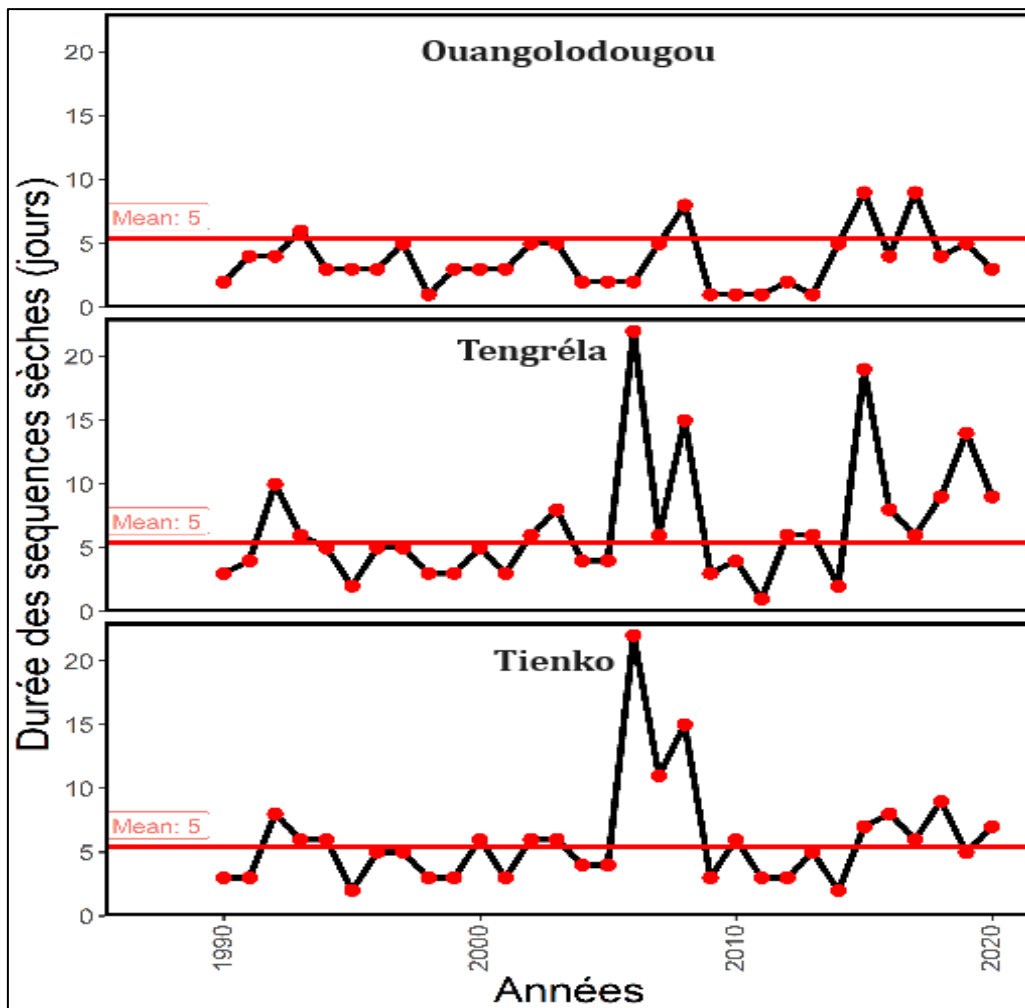


Figure 44 : Evolution des séquences sèches dans les trois localités étudiées de 1990 à 2020

8.1.5 Variabilité interannuelle de la température maximale et minimale annuelle de 1990 à 2020

8.1.5.1 Variabilité interannuelle des températures maximales et minimales annuelles à Ouangolodougou

La figure 45 présente l'évolution des températures minimales et maximales de 1990 à 2020 à Ouangolodougou. La température minimale a varié de 20,74 °C à 22,26 °C avec une moyenne de 21,43 °C. Quant à la température maximale, elle a varié de 32,08 °C à 34,87 °C avec une moyenne de 33,29 °C. De 1990 à 2020, on a observé une augmentation de la température minimale et maximale. Le tableau XVII montre des valeurs positives de Z de Mann-Kendall (+ 1,189 et + 0,237), de Z_{sp} de Spearman (+ 0,185 et + 0,016) et la pente de Sen (+ 0,021 et 0,002) respectivement pour les températures maximales et minimales. Cependant ces hausses ne sont pas statistiquement significatives au niveau du seuil de 5 %.

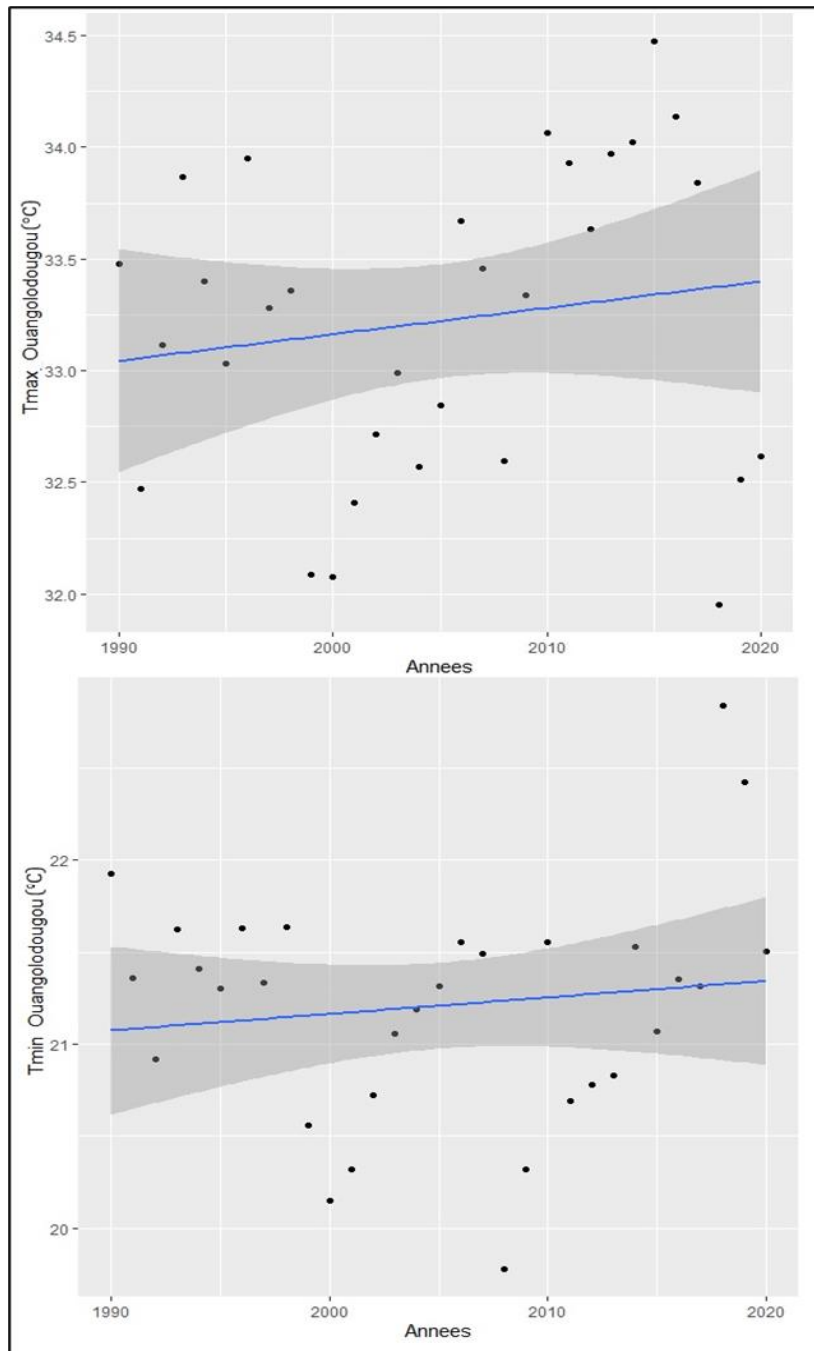


Figure 45 : Evolution des températures maximales et minimales dans le département de Ouangolodougou de 1990 à 2020

8.1.5.2 Variabilité interannuelle des températures maximales et minimales annuelles à Tengréla de 1990 à 2020

L'évolution des températures de 1990 à 2020 à Tengréla est présentée dans la figure 46. La température minimale a varié de 20,57 °C à 22,12 °C. Quant à la température maximale, elle a varié de 32,52 °C à 34,96 °C. On observe une augmentation de la température minimale et maximale avec des valeurs positives de Z de Mann-Kendall de + 0,407 et + 1,546), de Zsp de

Spearman de +0,085 et de +0,293) et de la pente de Sen de + 0,003 et de + 0,010) (Tableau XVIII). Cependant, ces hausses ne sont pas statistiquement significatives au niveau du seuil de 5 %.

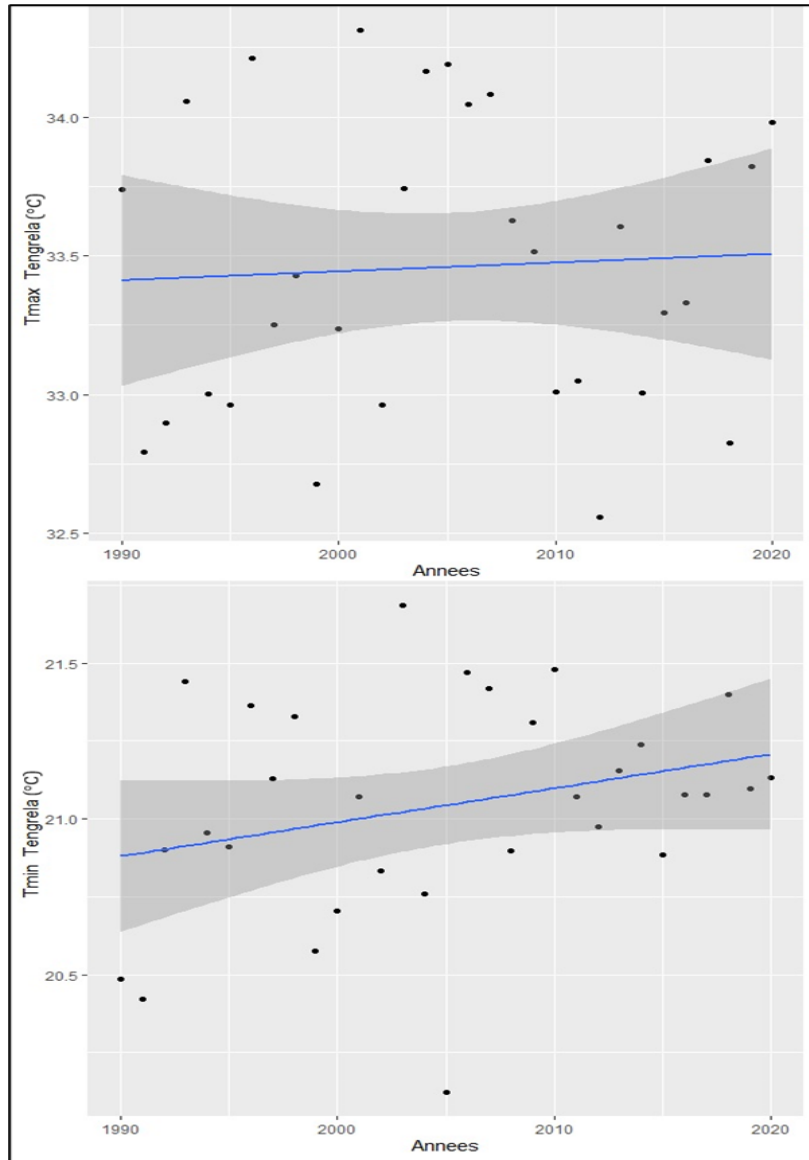


Figure 46 : Evolution des températures maximales et minimales dans le département de Tengréla de 1990 à 2020

8.1.5.3 Variabilité interannuelle des températures maximales et minimales annuelles à Tienko de 1990 à 2020

La Figure 47 montrent l'évolution de la température minimale et maximale de 1990 à 2020 à Tienko. La température minimale a varié de 19,52 °C à 21,90 °C avec une moyenne de 20,55 °C. Quant à la température maximale, elle a varié de 31,17 °C à 34,82 °C avec une moyenne de 32,67 °C. Le Tableau XIX montre des valeurs positives de Z Mann-Kendall (+

0,407 et + 0,543), de Zsp de Spearman (+ 0,803 et + 0,079) et de la pente de Sen (+ 0,006 et 0,004), respectivement pour les températures maximale et minimale. Cependant, ces hausses ne sont pas statistiquement significatives au niveau du seuil de 5 %.

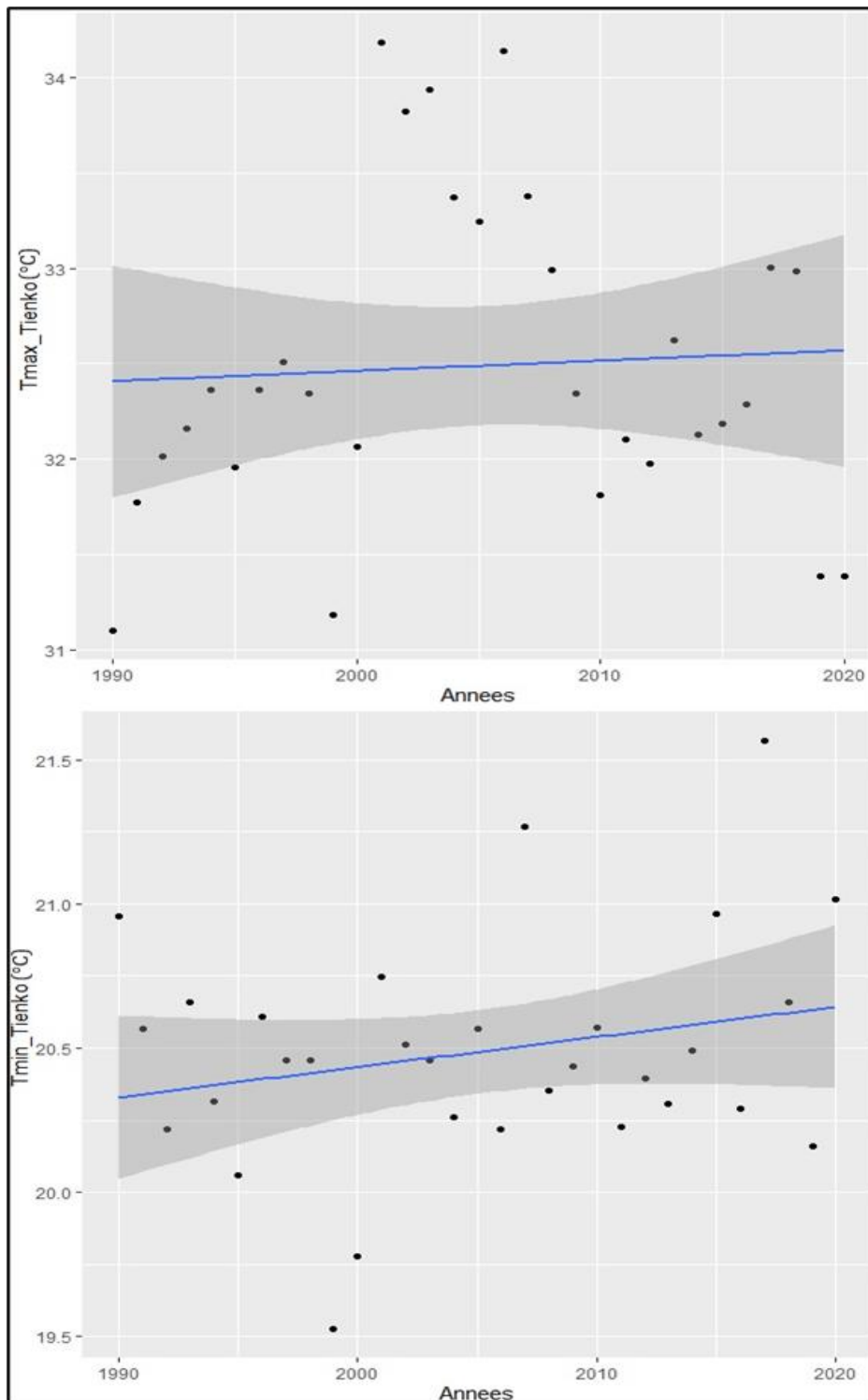


Figure 47 : Evolution de la température maximale et minimale à Tienko de 1990 à 2020

8.2 Stratégies d'adaptation des agriculteurs à la variabilité climatique dans les localités d'étude de 1990 à 2020

8.2.1 Profil des chefs d'exploitations agricoles

Le profil des chefs d'exploitations agricoles interviewés est résumé dans le tableau XX. La plupart d'entre eux (81,88 %) sont des hommes avec 88,46 % à Ouangolodougou, 89,91 % à Tengréla et 68 % à Tienko. Les chefs d'exploitants agricoles des trois localités ont un niveau d'instruction relativement faible. Plus de la moitié (67,60 %) d'entre eux n'a pas été scolarisée. Cependant, ils ont de nombreuses années d'expérience en agriculture qui sont en moyenne de 30 ans pour ceux de Ouangolodougou, 26 ans pour ceux de Tengréla et 26 ans pour ceux de Tienko. En ce qui concerne le nombre moyen de personnes travaillant dans l'exploitation agricole, il est d'environ 16 personnes à Ouangolodougou, 18 personnes à Tengréla et 1 personnes à Tienko.

8.2.2 Caractéristiques des exploitations agricoles

Les caractéristiques des exploitations agricoles sont consignées dans le Tableau XXI. Deux modalités d'acquisition des terres ont été citées par les exploitants agricoles, à savoir l'héritage et le don. L'héritage, cité par 81,53 % des exploitants agricoles, constitue le principal mode d'obtention de la terre dans l'ensemble de la zone d'étude. La superficie moyenne emblavée à Ouangolodougou est de 14,37 ha, de 16,33 ha à Tengréla et de 11,39 ha à Tienko. Par ailleurs, on trouve en moyenne 4,77 têtes de bœufs de trait par exploitation agricole à Ouangolodougou, 8,70 têtes à Tengréla et 5,29 têtes à Tienko. Les cultures pratiquées dans les trois localités sont dominées par l'anacardier, le coton, le maïs, le riz, l'arachide et le sésame.

Tableau XX : Caractéristiques sociodémographiques des chefs d'exploitation agricoles dans les trois localités étudiées

| Variables | | Ouangolodougou n = 85 | Tengréla n = 102 | Tienko n = 100 |
|---|-----------------------------|--------------------------|---------------------|-------------------|
| Age moyen (ans) | | 51,56 | 48,01 | 49,04 |
| Expérience agricole moyenne (ans) | | 30,53 | 26,55 | 26,39 |
| Nombre moyen de personnes par exploitation agricole | | 15,94 | 17,83 | 14,71 |
| Niveau d'éducation (%) | Programme d'alphabétisation | 0,00 | 1,83 | 2,00 |
| | Aucun | 70,51 | 77,98 | 54,00 |
| | École coranique | 14,10 | 3,67 | 19,00 |
| | Primaire | 12,82 | 14,68 | 20,00 |
| | Secondaire | 2,56 | 1,83 | 5,00 |
| Sexe (% de personnes interviewés) | Féminin | 11,54 | 10,09 | 32,00 |
| | Masculin | 88,46 | 89,91 | 68,00 |

n : Nombre d'exploitants agricoles interrogés

Tableau XXI : Caractéristiques des exploitations agricoles dans les localités de la zone d'étude

| | | Ouangolodougou n = 85 | Tengréla n = 102 | Tienko n = 100 |
|---|----------|--------------------------|---------------------|-------------------|
| Superficie moyenne emblavée (ha) | | 14,37 | 16,33 | 11,39 |
| Nombre moyen de bœufs par exploitation agricole | | 4,77 | 8,70 | 5,29 |
| Mode d'acquisition des terres (%) | Don | 1,28 | 18,3 | 32 |
| | Héritage | 98,72 | 81,7 | 68 |
| Principales cultures (%) | Anacarde | 93,59 | 88,1 | 100 |
| | Mais | 89,74 | 89,9 | 88 |
| | Riz | 79,49 | 57,8 | 78 |
| | Coton | 76,92 | 75,2 | 29 |
| | Arachide | 61,54 | 21,1 | 46 |
| | Sorgho | 11,54 | 36,7 | 0 |
| | Mil | 6,41 | 12,8 | 1 |
| | Fonio | 0 | 5,5 | 3 |
| | Sésame | 41,02 | 0 | 0 |

n : Nombre d'exploitants agricoles interrogés

8.2.3 Perception de la variabilité climatique par les chefs d'exploitations agricoles

Les chefs d'exploitation agricoles ont bien perçu la variabilité climatique dans leur localité et ont clairement mentionné les différentes manifestations. Les manifestations les plus récurrentes sont illustrées par la figure 48. La principale manifestation de la variabilité climatique concerne les précipitations. Quelle que soit la localité, le raccourcissement de la durée de la saison des pluies (75,95 % des citations) et l'irrégularité des précipitations (84,67 %) pendant la saison des pluies sont les manifestations de la variabilité les plus mentionnées par les exploitants agricoles. Toutefois, selon les localités, d'autres manifestations ont été fréquemment mentionnées, comme l'augmentation de la température observée principalement à Tienko et Tengréla, la prolongation de la sécheresse et l'augmentation de l'intensité des pluies observées à Ouangolodougou. Toutes ces différentes manifestations de la variabilité climatique ont eu des impacts sur les cultures, notamment, les cultures vivrières telles que le maïs, le riz, le sorgho et surtout le mil.

Pour ce qui concerne le nombre d'années d'observation du changement, la plupart des chefs d'exploitation agricoles (44,87 %, 36,63 % et 45 % respectivement de Ouangolodougou, Tengréla et Tienko) affirment avoir constaté la variabilité climatique il y a de cela 5 à 10 ans (Figure 49). Par ailleurs, 34,62 % des chefs d'exploitations agricoles de Ouangolodougou; 25,74 % de Tengréla et 41 % de Tienko, affirment avoir constaté la variabilité climatique au cours des cinq dernières années

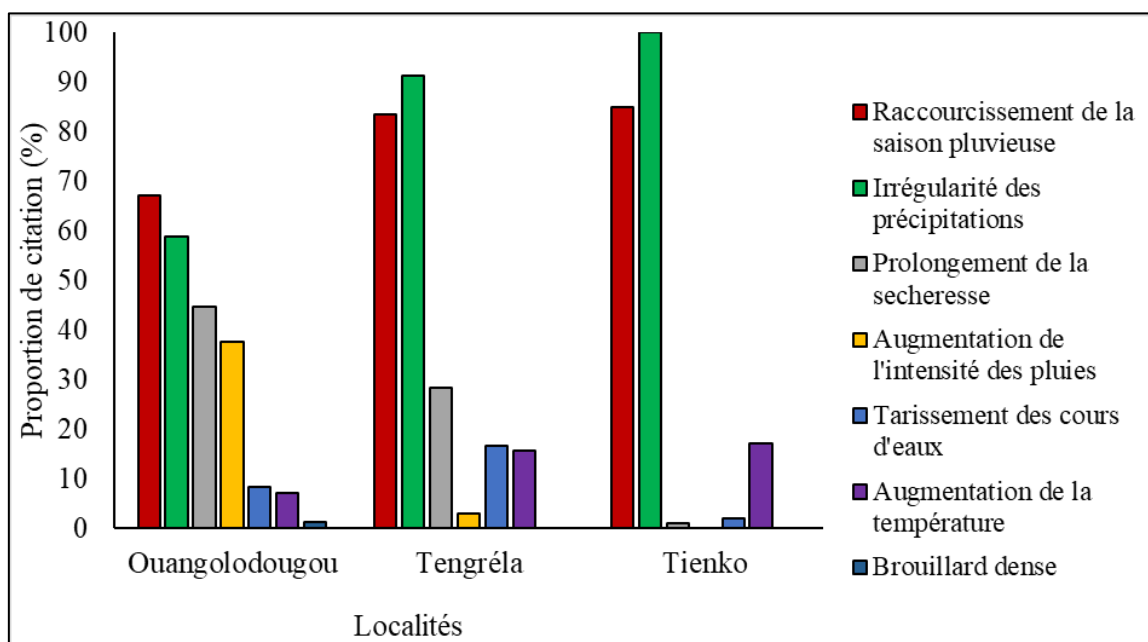


Figure 48 : Histogramme de la perception des manifestations de la variabilité climatique par les agriculteurs de la zone d'étude

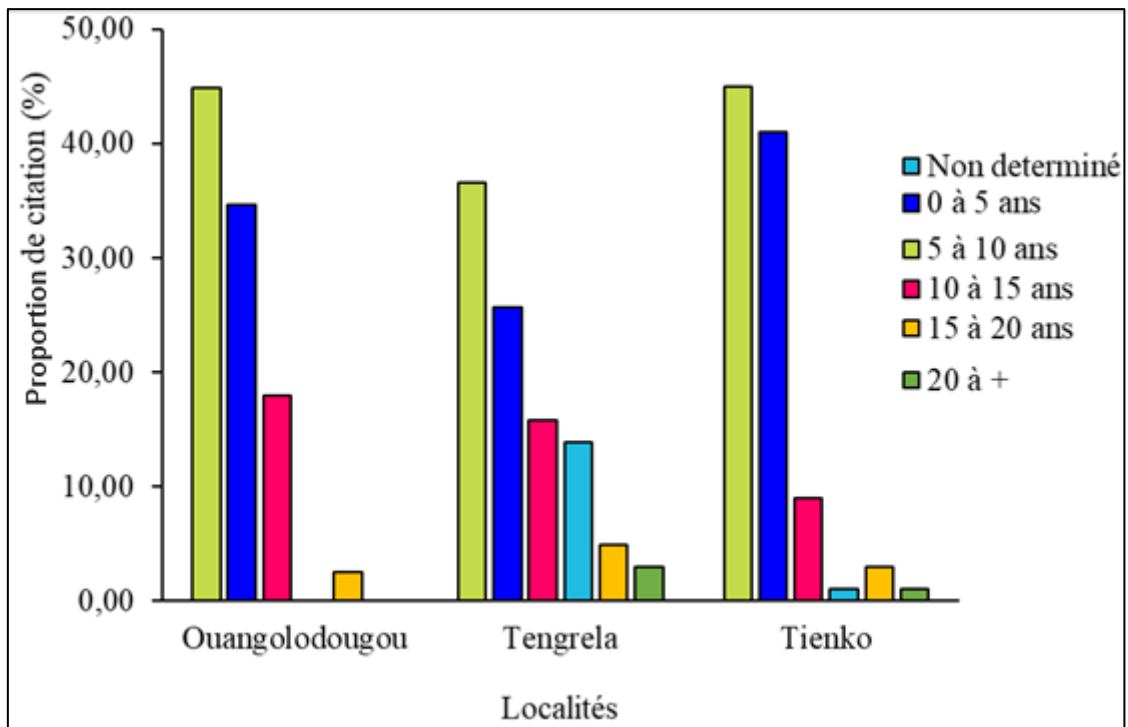


Figure 49 : Histogramme du nombre d'années de la perception de la variabilité climatique par les agriculteurs de la zone d'étude

8.2.4 Causes de la variabilité climatique selon les chefs d'exploitations agricoles

Deux causes de la variabilité climatique sont citées par les chefs d'exploitations agricoles. Elles ont varié d'une localité à une autre (Figure 50). A Ouangolodougou (81,16 %) et Tengrela (73,27 %) des chefs d'exploitation agricoles affirment que le déboisement est la principale cause de la variabilité climatique. A Tienko, par contre, 18 % des chefs d'exploitations agricoles ont évoqué le non-respect des us et coutumes. Par ailleurs, 16 % des chefs d'exploitations agricoles à Ouangolodougou, 24,75 % à Tengrela et 18 % à Tienko ignorent les causes de la variabilité climatique.

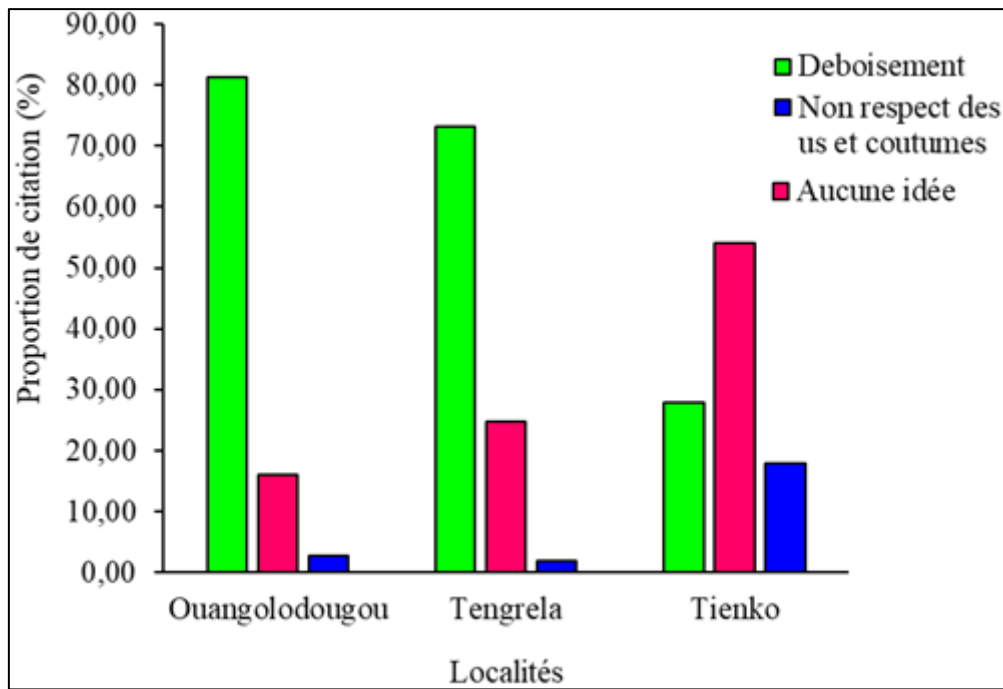


Figure 50 : Histogramme des causes de la variabilité climatique citées par les agriculteurs de la zone d'étude

8.2.5 Impacts de la variabilité climatique sur l'agriculture dans la zone d'étude

Les impacts mentionnés par les chefs d'exploitations agricoles sont illustrés par la figure 51. L'assèchement des cultures a été cité par 49,41 % par les exploitants agricoles de Ouangolodougou, 62,74 % par ceux de Tengrela et 88 % par ceux de Tienko, comme le principal impact de la variabilité climatique sur les cultures (Figure 52). En plus, le bouleversement du calendrier agricole a également été mentionné par 88,70 %, 66,67 % et 45 % des chefs d'exploitations agricoles respectivement à Ouangolodougou, Tengrela et Tienko. Le troisième impact mentionné le plus important est l'inondation des cultures, par 89,41 %, 23,52 % et 10 % des chefs d'exploitations agricoles, respectivement, à Ouangolodougou, Tengrela et Tienko. Cependant, il existe des spécificités dans certaines localités. C'est le cas de la mauvaise germination des semences, mentionnées par 35 % des exploitants agricoles de Tienko.

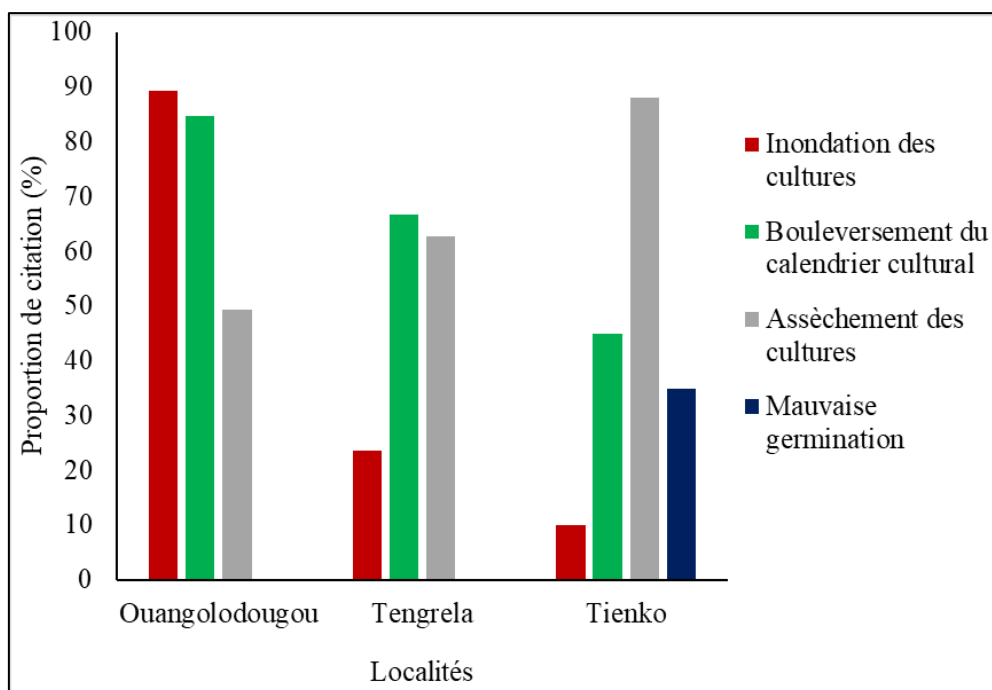


Figure 51 : Impacts de la variabilité climatique dans les localités de la zone d'étude



Figure 52 : Vue d'un champ de maïs asséché à Tienko

8.2.6 Pratiques agricoles adoptées par les agriculteurs pour faire face à la variabilité climatique dans les localités d'étude

En réponse aux diverses manifestations de la variabilité climatique dans les trois localités étudiées, les chefs d'exploitations agricoles ont adopté de nombreuses stratégies afin

de limiter les effets négatifs sur les exploitations (Figure 53). Au total, 16 stratégies d'adaptation ont été signalées dans les trois localités (Tableau XXII). L'adaptation du calendrier cultural est la principale stratégie commune aux trois localités, puisqu'elle est appliquée par 90,59 % des exploitants agricoles de Ouangolodougou, 88,23 % de ceux de Tengréla et 81 % des exploitants agricoles de Tienko. En plus de cette stratégie, 85,89 %, 88,23 % et 87 % des exploitants agricoles respectivement à Ouangolodougou, Tengréla et Tienko ont opté pour la culture de l'anacardiers. Par ailleurs, 43,52 % des exploitants agricoles de Ouangolodougou, 74,50 % de Tengréla et 50 % de Tienko ont adopté des pratiques agroforestières.

Au-delà de ces stratégies communes aux trois localités, l'adoption de certaines stratégies d'adaptation varie d'une localité à l'autre. A Ouangolodougou, la majorité des exploitants agricoles utilisent des semences améliorées (91,76 %) et font une diversification des cultures sur leur parcelle agricole (27,06 %). A Tengréla, les exploitants agricoles sont plus enclins à utiliser la fumure organique à base de bouse de bœuf (45,1 %), les engrais chimiques pour l'amélioration des sols (45,1 %). En outre, les exploitants agricoles de cette localité ont de plus en plus recours à la traction animale pour labourer leurs parcelles (13,72 %), le brulage des tiges de coton sur la parcelle agricole (10,78 %) ainsi que la rotation de cultures (11,76 %). Enfin, à Tienko, les exploitants agricoles préfèrent étendre la surface agricole (20 %).



Figure 53 : Aperçus de quelques stratégies d'adaptation des exploitants agricoles dans les trois localités étudiées (Enquête de terrain, Timité 2019-2020)

A : Parcelle agroforestière à base de Karité à Tengréla ; B : Parcelle de culture en préparation avec du fumier organique à Tengréla ; C : Diversification des cultures sur une parcelle agricole (maïs-Sorgho-coton) à Ouangolodougou ; D : Conversion d'une parcelle dédiée aux cultures vivrières en plantations d'anacardiens.

Tableau XXII : Stratégies d'adaptation des agriculteurs à la variabilité climatique dans les localités de la zone d'étude

| Stratégies d'adaptation | Proportion de citations par localité (%) | | |
|---|--|-----------------------|---------------------|
| | Ouangolodougou (n = 85) | Tengréla (n = 102) | Tienko (n = 100) |
| Abandon de certaines cultures sensibles à la sécheresse | 3,53 | 5,88 | 11 |
| Adaptation du calendrier des cultures | 90,59 | 88,23 | 81 |
| Pratique de l'agroforesterie | 43,52 | 74,50 | 50 |
| Augmentation de la taille des billons | 4,7 | 3,92 | 0 |
| Augmentation de la surface des cultures | 3,53 | 8,82 | 20 |
| Changement d'activité | 0 | 0 | 1 |
| Diversification des cultures | 27,06 | 0,98 | 23 |
| Culture d'anacardiens | 85,89 | 88,23 | 87 |
| Utilisation de variétés améliorées | 91,76 | 25,49 | 39 |
| Replantation | 0 | 0 | 1 |
| Rotation des cultures | 2,35 | 11,76 | 2 |
| Traction animale | 0 | 13,72 | 12 |
| Utilisation de la cendre de tiges de coton | 0 | 10,78 | 2 |
| Utilisation du fumier organique | 11,76 | 45,1 | 9 |
| Utilisation d'engrais chimiques | 1,18 | 45,1 | 14 |
| Utilisation de pesticides | 11,76 | 12,74 | 14 |

8.3 Discussion

8.3.1 Tendances climatiques dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire

Les résultats obtenus de la variabilité climatique ont indiqué une hausse des hauteurs pluviométrique dans les localités de Ouangolodougou, Tengréla et Tienko au cours de cette étude. Ce retour à des conditions plus humides pourrait s'expliquer dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire par la réhabilitation des terres dégradées suite aux nombreux travaux de récupération et de restauration des sols réalisés. De plus en plus, les exploitants agricoles de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire s'intéressent à la culture d'anacardiens qui est une culture ligneuse pérenne qui à l'âge adulte peut se comporter comme une vraie forêt. Brown & Crawford (2009) estiment que le changement de l'occupation des sols est responsable en partie du reverdissement dans les régions arides et semi-aride de l'Afrique de l'ouest. En effet, Kouman *et al.* (2022) ont observé un léger retour des précipitations au cours de la décennie 2011-2020 dans le Nord-Est de la Côte d'Ivoire qui à l'instar de notre zone d'étude connaît une

forte expansion de la culture de l'anacardier. Par ailleurs, un retour à une augmentation des hauteurs pluviométriques a été signalé par de nombreuses études menées dans plusieurs pays de l'Afrique subsaharienne notamment celle de Nouaceur & Murarescu (2020), au Burkina Faso, Sénégal et Mauritanie et Bodian (2014) dans la zone soudanienne Sud et Nord du Sénégal. Toutefois, l'augmentation des hauteurs pluviométriques dans la zone soudanienne est négativement corrélée à l'évolution du nombre de jours de pluie. L'analyse du nombre de jours pluvieux dans les différentes stations a montré une baisse. Nos résultats sont similaires à ceux de Kouman *et al.* (2022) qui ont également montré une diminution du nombre de jours pluvieux au Nord-Est appartenant à la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire. La diminution du nombre de jours de pluie relevée dans les localités étudiées s'inscrit globalement dans la tendance de l'évolution des jours pluvieux observée partout en Afrique (Aguilar *et al.*, 2009 ; Mubiru *et al.*, 2018). Selon ces auteurs, le nombre de jours de pluie semble avoir diminué à partir des années 1970 dans de nombreuses régions d'Afrique. Par ailleurs, une hausse du nombre de jours secs consécutifs a été observé dans les localités étudiées. Selon Kouman *et al.* (2022), le nombre de jours secs consécutifs est un marqueur de la présence de la sécheresse dans une région. Elle est également un facteur de menace pour les ressources en eau. Ainsi, son augmentation dans une localité devrait être une préoccupation, surtout dans une zone comme la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire où la source de revenu de la population est principalement basée sur l'agriculture (Timité *et al.*, 2022). Par ailleurs, on note une augmentation des températures minimales et maximales dans les localités étudiées. Nos résultats sont similaires aux tendances des températures en Afrique de façon générale et en Côte d'Ivoire en particulier. En effet, la régression linéaire appliquée aux données de température dans de nombreuses régions de la Côte d'Ivoire de 1961 à 2010 donne une augmentation régulière avec un taux absolu de 1,6 °C au cours des 50 années (Yao *et al.*, 2013). Au cours du siècle dernier, l'évolution des températures en Afrique a montré une tendance plus rapide que le réchauffement climatique (GIEC, 2007 ; Mubiru *et al.*, 2018). Au vu de tout ce qui précède, nous ne pouvons pas évoquer un changement climatique vu que les tendances ne sont pas statistiquement significatives. Cependant, cette zone est soumise à une forte variabilité climatique qui pourrait impacter négativement les exploitations agricoles familiales dans le futur.

8.3.2 Perception de la variabilité climatique par les agriculteurs de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire

Tous les exploitants agricoles ont perçu la variabilité du climat à travers des manifestations telles que l'irrégularité des pluies, le raccourcissement de la saison des pluies,

l'apparition de poches de sécheresse pendant la saison des pluies et l'augmentation de la chaleur. L'identification de ces différentes manifestations climatiques démontre que les exploitants agricoles sont conscients de la modification du climat dans leur localité. Ces principales manifestations ont été les plus citées par les exploitants agricoles car elles déterminent la bonne ou la mauvaise saison agricole (Ouédraogo *et al.*, 2010 ; Dasmané *et al.*, 2016). Dedjan (2010) a trouvé que ces manifestations climatiques récentes ont été les plus ressenties par les exploitants agricoles dans la zone soudanienne du Bénin.

La perception de la variabilité climatique par les chefs d'exploitations agricoles dans les localités étudiées corrobore parfaitement les tendances observées avec l'analyse des données climatiques des 31 dernières années, sauf pour les hauteurs pluviométriques et la durée de la saison culturale. En effet, contrairement aux dires de la majorité des chefs d'exploitations agricoles qui ont mentionné une irrégularité voire la baisse des hauteurs pluviométriques, les analyses ont montré une augmentation des hauteurs pluviométriques depuis 2008 suivi d'une prolongation de la saison des pluies dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire. La perception inadéquate de la saison par les chefs d'exploitations agricoles pourrait s'expliquer par l'occurrence de périodes sèches pendant la saison des pluies suivie d'une forte variabilité pluviométrique observée ces dernières années dans les différentes localités. En effet, le cumul de la pluviométrie annuelle ne détermine pas à lui seul la faiblesse ou l'importance des rendements agricoles (Djohy *et al.*, 2015). D'autres facteurs tels que le retard dans l'installation des pluies, des poches de sécheresse en pleine saison pluvieuse ou un prolongement de saison entraînent un bouleversement du calendrier agricole, et par conséquent une baisse des rendements agricoles (Djohy *et al.*, 2015). A l'instar de la zone soudanienne, la mauvaise perception de l'évolution de la saison des pluies par les chefs d'exploitations agricoles a été révélée dans des études menées dans les zones sahélienne et soudanienne du Niger (Nassourou *et al.*, 2018). Cette discordance serait le fait que les chefs d'exploitations agricoles se focalisent sur les événements négatifs d'une série caractérisée par sa forte variabilité. Ainsi, la forte variabilité des paramètres pluviométriques a conduit à une perturbation du calendrier agricole chez les exploitants agricoles de la zone d'étude dans la zone soudanienne en Côte d'Ivoire.

Contrairement à la mauvaise perception de certains paramètres pluviométriques, les perceptions des chefs d'exploitations agricoles sur l'augmentation de la température dans leur localité corroborent parfaitement les données scientifiques. En effet, la température dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire connaît une forte variabilité (Timité *et al.*, 2022). Cette variation des paramètres météorologiques (température, pluviométrie) a eu des impacts négatifs sur les activités agricoles. Par exemple, l'occurrence de séquences sèches au sein de la saison

des pluies semble provoquer le dessèchement de la jeune plante au stade primaire de sa croissance, notamment pour des cultures vivrières comme le maïs, principale culture vivrière de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire. Pourtant, dans les localités étudiées, le maïs est cultivé par près de 89,19 % des chefs d'exploitations. Par ailleurs, l'augmentation de la température peut influencer la durée de la saison de croissance des cultures tout en réduisant le cycle de croissance (Sultan *et al.*, 2013). De plus, elle pourrait avoir un impact significatif sur le bilan hydrique tout en augmentant le stress hydrique dû à une évaporation plus importante surtout dans les régions où l'eau est souvent un facteur limitant (Faye *et al.*, 2019). En outre, les températures plus élevées accélèrent le rythme de développement des cultures, ce qui se traduit globalement par une augmentation des besoins en eaux des cultures (Beucher & Bazin, 2012).

8.3.3 Résilience des agriculteurs face à la variabilité climatique dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire

Face à la variabilité climatique et ses effets néfastes sur les cultures dans les localités de Ouangolodougou, Tengréla et Tienko, les exploitants agricoles ont mis en place de nombreuses stratégies. Ces stratégies d'adaptation adoptées par les exploitants agricoles face aux fluctuations climatiques pourraient s'expliquer par leur bonne perception des différentes manifestations de la variabilité climatique. Par ailleurs, cela pourrait être justifié par les nombreuses années d'expériences agricoles (28 ans en moyenne) des exploitants agricoles. En effet, avec l'expérience, les agriculteurs prennent davantage conscience des problèmes auxquels ils sont confrontés au cours du temps (Zaatra, 2021). Parmi les stratégies adoptées par les exploitants agricoles dans la zone d'étude, la plus pratiquée était l'adaptation du calendrier cultural à travers la modification des dates de semis. En effet, le début du mois de mai était la période durant laquelle, la plupart des exploitants agricoles effectuaient les semis. Cependant, avec la perturbation des pluies, les semis sont effectués à la fin du mois de mai, voire au mois de juin. Les exploitants agricoles ont mentionné la technique d'adaptation du calendrier cultural comme étant efficace dans la mesure où elle permet aux cultures de réduire ou d'annuler les effets induits par le stress hydrique comme l'avaient signalé Ouédraogo *et al.* (2010), au cours de ses travaux au Burkina Faso. Malgré ses avantages, le décalage des dates de semis peut réduire le temps disponible pour la maturation des cultures et donc entraîner un retard dans le développement des cultures ; ce qui peut réduire potentiellement le rendement final (Zaatra, 2021). Par ailleurs, la variabilité climatique a contraint de nombreux chefs d'exploitation à acquérir des bœufs de trait avec un nombre moyen de 4,77 têtes à Ouangolodougou, 8,70 têtes à Tengréla et 5,29 têtes à Tienko. En effet, l'utilisation des bœufs permet aux exploitants

agricoles de labourer rapidement et facilement de grandes surfaces, augmentant ainsi la surface cultivable (Beucher & Bazin, 2012). De plus, la traction animale permet de réaliser de grands billons en un temps plus court. L'augmentation de la taille des billons est adoptée par les chefs d'exploitations agricoles car cette stratégie permet non seulement de limiter les dégâts causés en cas d'inondations en formant des canaux de drainage des eaux des champs pour faciliter leur évacuation. Mais aussi, elle permet le captage de l'eau en raison de la capacité des billons à retenir l'eau de pluie et à contrôler le ruissellement par rapport au travail du sol conventionnel (Neset *et al.*, 2019).

Une autre stratégie des chefs d'exploitations agricoles consiste à abandonner les cultures qu'ils considèrent plus sensibles à la variabilité climatique au profit de cultures plus résistantes. Ils privilégient les cultures à maturation précoce ou les semences améliorées à cycle court pour lesquelles les techniques de production ont été améliorées, comme le maïs, le riz à cycle court et le coton, au détriment des cultures à cycle long comme le mil, l'igname, le sorgho et le manioc. En plus de ces stratégies, certains chefs d'exploitations agricoles utilisent du fumier fabriqué à partir de la bouse de bœufs ou de déchets ménagers pour optimiser leur production. Le fumier joue un rôle de fertilisant organique et permet de maintenir une bonne structure du sol (Lupwayi *et al.*, 1999). Toutefois, même si la majorité des chefs d'exploitations agricoles connaissent les avantages du fumier pour améliorer les rendements des cultures, seuls 25 % ont les moyens matériels et financiers de le pratiquer. Ainsi, d'autres chefs d'exploitations agricoles se penchent vers la diversification des cultures. La diversification des cultures est l'une des options d'adaptation la plus importante en agriculture car elle permet non seulement de compenser les pertes économiques potentielles sur certaines cultures mais aussi de garantir un minimum de revenu (Lema & Majule, 2009). Ainsi, de nombreux chefs d'exploitations agricoles, notamment les hommes, s'intéressent de plus en plus à la culture d'anacardiens qui, en plus d'être résistante à la sécheresse, apporte des revenus financiers pour compenser les pertes causées par le déclin de la production des cultures vivrières. En outre, dans certaines localités de la zone soudanienne comme à Tengréla, la rotation culturale est beaucoup pratiquée. La rotation des cultures est basée sur l'organisation de la succession ordonnée et répétée des cultures sur une même parcelle. Elle est surtout mise en pratique avec le coton et le maïs dans la localité de Tengréla. Selon Lupwayi *et al.* (1999), la rotation préserve la structure du sol et sa teneur en matières organiques, tout en réduisant les dommages causés par les agents pathogènes et les maladies ainsi que la baisse de la qualité de la production. Une autre des stratégies adoptées demeure le brulage des tiges de coton sur la parcelle agricole. Cette activité consiste à réunir les tiges de coton par petits tas sur la parcelle et procéder au brulage après la

saison de récolte. Selon les enquêtés, elle permet d'enrichir le sol pour la prochaine saison culturale. Plusieurs chefs d'exploitations agricoles ont témoigné de la bonne productivité des cultures réalisées sur les parcelles où les tiges ont été brûlées. Enfin la pratique de l'agroforesterie est de plus en plus adoptée par 56, 79 % des exploitants agricoles selon les résultats de cette étude. Les espèces conservées sur la parcelle fournissent de nombreux services écosystémiques permettant de réduire l'impact de la variabilité climatique. Les fruits de ces espèces servent de nourriture pendant la période de soudure, quand les graines sont commercialisées sur le marché local et régional, rapportant ainsi des revenus supplémentaires aux exploitants agricoles particulièrement les femmes. Lors de la phase d'enquête, les femmes interrogées ont révélé que le Karité peut rapporter jusqu'à 100 000 CFA/an et le Néré jusqu'à 150 000 FCFA/an. Selon Seghieri & Harmand (2019), l'agroforesterie constitue l'une des solutions d'utilisation durable de ressources naturelles limitées et d'adaptation aux changements globaux démographiques, économiques et climatiques.

Conclusion partielle

La variabilité climatique et ses impacts sur les exploitations agricoles de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire a consisté à déterminer, d'une part, les évolutions interannuelles de la précipitation et de la température sur la période 1990 à 2020 afin de relever l'ampleur de la variabilité climatique dans les localités de Ouangolodougou, Tengréla et Tienko, d'autre part, à déterminer la perception ainsi que les stratégies d'adaptation des exploitants agricoles. Les résultats ont montré une hausse des hauteurs pluviométriques, une hausse de la température et une augmentation de la durée des séquences sèches entre les jours pluvieux. Les pratiques agricoles de la zone d'étude étant fortement dominées par les cultures pluviales, ces fluctuations de la pluviométrie et la température ont eu des impacts négatifs sur l'agriculture. Ce constat a été confirmé par la quasi-totalité des exploitants agricoles des trois localités étudiées. Les impacts cités sont, par ordre d'importance la perturbation du calendrier cultural, l'assèchement des cultures, l'inondation des cultures et la mauvaise germination des semences. En réponse aux impacts négatifs de la variabilité climatique sur les cultures, les exploitants agricoles ont adopté comme stratégies la modification des dates de semis, la diversification des cultures sur la parcelle agricole, l'utilisation de semences améliorées, l'utilisation de fumure organique à base de bouse de bœuf, l'adaptation du calendrier agricole et surtout la mise en culture de spéculations plus résistantes à la sécheresse. Ces différentes stratégies appliquées par les exploitants agricoles de la zone d'étude ont été mises en œuvre sur la base de leurs connaissances locales et aussi grâce aux conseils d'autres exploitants agricoles de la localité.

Ainsi, ces résultats confirment l'hypothèse initiale qui stipule que la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire est confrontée à une forte fluctuation climatique.

**CONCLUSION GENERALE,
RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES**

Cette étude avait pour objectif d'évaluer les impacts de la dynamique des plantations d'anacardiens sur les parcs agroforestiers. Les résultats ont montré une régression annuelle des parcs agroforestiers de 3,12 % dans la localité de Tengréla, 2,13 % dans celle de Ouangolodougou et 1,51 % à Tienko. A l'opposé, une augmentation annuelle des plantations d'anacardiens de 18,37 %, 15,95 % et 24,26 % a été observée respectivement à Tengréla, Ouangolodougou et Tienko de 1990 à 2020. Par ailleurs, des superficies des parcs agroforestiers ont été converties en plantations d'anacardiens pendant cette période avec des proportions de 14,26 %, 13,19 % et 14,25 %, respectivement à Tengréla, Ouangolodougou et Tienko. Ces résultats confirment ainsi la première hypothèse de l'étude qui stipule que l'expansion des plantations d'anacardiens dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire a entraîné la régression des superficies des parcs agroforestiers traditionnels.

En outre, l'analyse des indices de diversité floristiques et des paramètres structuraux a montré que la richesse floristique est de 39 espèces dans les parcs agroforestiers contre 30 espèces dans les plantations d'anacardiens. Aussi, les parcs agroforestiers sont plus diversifiés, avec une meilleure équi-répartition des individus ligneux associés par rapport aux plantations d'anacardiens. Pour ce qui est de la densité des espèces ligneuses, les parcs agroforestiers ont enregistré une densité moyenne de 38,28 tiges/ha contre 15,01 tiges/ha pour les plantations d'anacardiens. Ainsi, ces résultats révèlent que les plantations d'anacardiens ont un impact néfaste sur la diversité et la structure des espèces ligneuses dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire.

L'étude a consisté à analyser également les impacts des variations climatiques sur les exploitations agricoles dans les trois localités (Tengréla, Ouangolodougou et Tienko). Les résultats ont montré une hausse des hauteurs pluviométriques, une diminution du nombre de jours pluvieux et une hausse du nombre de jours secs consécutifs. Les pratiques agricoles étant fortement dominées par les cultures pluviales, ces différentes manifestations de la pluviométrie ont eu des impacts négatifs sur les exploitations agricoles. Les impacts mentionnés sont la perturbation du calendrier des cultures, la réduction du rendement des cultures due à la dessiccation, l'inondation et la mauvaise germination des semences. En réponse aux impacts négatifs de la variabilité climatique sur les cultures, les agriculteurs ont adopté, comme stratégies d'adaptation principales, la modification des dates de semis, la diversification des cultures sur les mêmes parcelles agricoles, l'utilisation de semences améliorées, l'utilisation de fumure organique à base de bouse de bœuf, l'adaptation du calendrier agricole, et l'affectation des terres à des cultures plus résistantes à la sécheresse et la conversion des terres en plantations d'anacardiens. Ces différentes stratégies utilisées par les agriculteurs dans ces trois localités ont

été mises en œuvre sur la base de leurs connaissances empiriques, de leur expérience personnelle, mais aussi grâce aux conseils d'autres exploitants agricoles de la localité. Ainsi, ces derniers résultats confirment la troisième et la quatrième hypothèse de l'étude qui stipulent que la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire est confrontée à une forte variabilité climatique et pour y faire face, les agriculteurs ont eu recours à de nombreuses stratégies d'adaptation.

Recommandations

Au vu de la dégradation progressive des parcs agroforestiers et de leur conversion en plantations d'anacardiens, nous recommandons :

- aux différents ministères chargés de l'agriculture et de l'environnement, de faire la promotion et la valorisation des produits tirés des parcs agroforestiers en améliorant les prix d'achat de ces produits. Par ailleurs, il serait intéressant de mettre la problématique liée à la dégradation des parcs agroforestiers au cœur des initiatives sur le plan local et national.
- aux structures agronomiques spécialisées et organisations non gouvernementales d'encadrement agricoles, de mener des campagnes de sensibilisation qui permettront d'alerter les populations locales sur l'état de dégradation des parcs agroforestiers. Elles pourraient encourager davantage les exploitants agricoles à la pratique de l'agroforesterie au sein des exploitations agricoles en leur fournissant des plants à introduire dans leurs exploitations agricoles. Par ailleurs, les exploitants agricoles étant particulièrement affectés par la variabilité pluviométrique et thermique, il serait alors nécessaire que les stratégies déjà adoptées par les exploitants agricoles soient renforcées.

Perspectives

A l'issue de ces travaux, des études complémentaires s'avèrent nécessaires pour poursuivre cette importante étude. Ces études concerneront :

- l'évaluation du stock de carbone dans les trois types d'occupations du sol afin d'analyser leurs contributions à l'atténuation des effets des gaz à effet de serre.
- la modélisation de l'impact de la variabilité climatique sur les exploitations agricoles à l'horizon 2030, 2040 et 2050.

REFERENCES

- Abegg C., Bayala J., Belem M. & Kalinganire A. (2006). Facteurs socio-économiques influençant la biodiversité ligneuse des parcs agroforestiers de deux villages du plateau central du Burkina Faso. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 157(1) : 17-23.
- Adjanohoun E. (1964). Végétation des savanes et des rochers découverts en Côte d'Ivoire centrale. Mémoire N° 7, ORSTOM, Paris (France), 178 p.
- Adou Yao C.Y. (2005). Pratiques paysannes et dynamique de la biodiversité dans la Forêt Classée de Monogaga (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Muséum National d'Histoire Naturelle, (Paris, France), 233 p.
- Agbanou B.T., Djafarou A., Paegelow M. & Tente B. (2018). Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol en zone d'agriculture extensive : cas du secteur Natitingou-Boukoumbe au nord-ouest du Bénin. *In* : Mélanges en hommage aux professeurs Thomas Omer, Houssou Sègè Christophe et Houndaga Cossi Jean. La géographie au service du développement durable, Abomey- Calavi, Bénin : 22-34.
- AGRHYMET (2011). Return of heavy downpours and floods in a context of changing climate. Climate change in the Sahel. A challenge for sustainable development. Numéro spécial, Niamey, Niger, 42 p.
- Aguilar E., Barry A.A., Brunet M., Ekang L., Fernandes A., Massoukina M., Mbah J., Mhanda, A., Do Nascimento D., Peterson T.C. (2009). Changes in temperature and precipitation extremes in western central Africa, Guinea Conakry, and Zimbabwe, 1955-2006. *Journal of Geophysical Research.*, 114 : 1-11.
- Aké-Assi L. (2001). Flore de la Côte d'Ivoire 1, catalogue systématique, biogéographique et écologie. Conservatoire et Jardin botanique, Boisseria 58, Genève (Suisse), 396 p.
- Akpa Y.L. (2015). Impact of cashew expansion on Land Use / Land Cover change and carbon stocks in the forest-savanna transition zone, North-East Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, Université Kwame Nkrumah (Kumasi, Ghana), 188 p.
- Akpo E.L. & Grouzis M. (1996). Influence du couvert sur la régénération naturelle de quelques espèces ligneuses. *Webbia*, 50(2) : 247-263.
- Akpoti K., Antswi E.O & Kabo-bah A.T. (2016). Impacts of rainfall variability, land use and land cover change on stream flow of the Black Volta Basin, West Africa. *Hydrology*, 26 (3) : 1-24.
- Alexandre D.Y. (2002). Initiation à l'agroforesterie en zone sahélienne : les arbres des champs du Plateau Central au Burkina Faso. Éditions IRD et Karthala, Paris (France), 234 p.

- Allé U.C.Y., Vissoh P.V., Guibert H., Agbossou E.K. & Afouda A.A. (2013). Relation entre perceptions paysannes de la variabilité climatique et observations climatiques au Sud-Bénin. *VertigO*, 13(3) : 1-20.
- Ancey V. (1996). Trajectoires pastorales et politiques économique d'élevage : éleveurs transhumants dans le nord de la Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat, École des Hautes Études en Sciences Sociales, (Paris, France), 416 p.
- ARECA (2006). Bilan diagnostic et perspectives de développement de la filière anacarde en Côte d'Ivoire, Rapport général de l'atelier national sur la filière anacarde, Abidjan, 48p.
- Ati O., Stigter C.J. & Oladipo E.O. (2002). A comparison of methods to determine the onset of the growing season in northern Nigeria. *International Journal of Climatology*, 22 : 731-742.
- Aubréville A. (1965) Principe d'une classification des formations végétales tropicales. *Adansonia*, (2) : 153-196
- Audouin S. & Gonin A. (2014). L'anacarde : produit de la globalisation, moteur de la territorialisation, l'exemple du Sud du Burkina Faso. *EchoGéo*, 29 : 1-15.
- Avenard J.M. (1971). Carte réalisée à partir de photographies aériennes. *In* : Le milieu naturel de Côte d'Ivoire. Mémoires ORSTOM, 50, Paris (France) : 9-72.
- Avenard J-M., Eldin M., Girard G., Sircoulon J., Touchebeuf P., Guillaumet JL., Adjanohoun E. & Perraud A. (1971). Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. ORSTOM, 50, Paris (France) : 161-263.
- Avit J-B.L.F., Pedia P.L. & Sankaré Y. (1999). Diversité biologique de la Côte d'Ivoire. Rapport Synthèse, MEF, 276 p.
- Ba M., Bourgoïn J., Thiaw I. & Soti V. (2018). Impact des modes de gestion des parcs arborés sur la dynamique des paysages agricoles, un cas d'étude au Sénégal. *VertigO*, 18(2) : 1-25.
- Bahri S. (1992). L'agroforesterie, une alternative pour le développement de la plaine alluviale de l'Amazonie : l'exemple de l'île de Careiro, thèse de Doctorat, université de Montpellier (Montpellier, France), 204 p.
- Bai J., Chen X., Dobermann A., Yang H., Cassman K.G. & Zhang F. (2010). Evaluation of Nasa Satellite-and Model-Derived Weather Data for Simulation of Maize Yield Potential in China. *Agronomy Journal*, 102 : 9-16.

- Bakayoko A. (1999). Comparaison de la composition floristique et de la structure forestière de parcelles de la Forêt Classée de Bossématié dans l'Est de la Côte d'Ivoire. Mémoire DEA, Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 72 p.
- Balaguru B., Britto S.J., Nagamurugan N., Natarajan D. & Soosairaj S. (2006). Identifying conservation priority zones for effective management of tropical forest in Eastern Ghats of India. *Biodiversity and Conservation*, 15 : 1529-1543.
- Banque mondiale (2018). Pour que Demain ne Meure Jamais : La Côte d'Ivoire face au Changement Climatique (français). 61 p. Disponible en ligne : <http://documents.worldbank.org/curated/en/470341530853819903/Pour-que-Demain-ne-Meure-JamaisLa-Cote-dIvoire-Face-au-Changement-Climatique> (consulté le 5 juin 2022).
- Barima Y.S.S., Barbier N., Bamba I., Traore D., Lejoly J. & Bogaert J. (2009). Dynamique paysagère en milieu de transition forêt-savane ivoirienne. *Bois et forêts des Tropiques*, 299(1) : 15-25.
- Barmo S., Amani A., Soumana I., Ichaou A., Karim S. & Mahamane A. (2019). Structure et diversité des parcs agroforestiers adjacents à la forêt protégée de Baban Rafi, Niger-Afrique de l'Ouest. *Afrique Science*. 15(2) : 166-185.
- Bassett T.J. (2002). Le coton des paysans, une révolution agricole (Côte d'Ivoire 1980–1999). IRD éditions, (Paris France), 292 p.
- Bassett T.J. (2017). Le boom de l'anacarde dans le bassin cotonnier du Nord ivoirien. *Afrique contemporaine*, 3 : 59-83.
- Bayala J., Kalinganire A., Tchoundjeu Z., Sinclair F. & Garrity D. (2011). Conservation agriculture with trees in the West African Sahel – a review. ICRAF Occasional Paper 14, World Agroforestry Centre, Nairobi, p 57.
- Bayouhd M. (2013). Apprentissage de connaissances structurelles à partir d'images satellitaires et de données exogènes pour la cartographie dynamique de l'environnement Amazonien. Thèse de Doctorat, Université des Antilles et de la Guyane (Guyane française, France), 154 p.
- Begni G., Escadafal R., Fontannaz D. & Hong-Nga N.A-T. (2005). La télédétection au service de l'étude et de la surveillance de l'environnement planétaire. In : La télédétection : un outil pour le suivi et l'évaluation de la désertification. Edition Les Petites Affiches, Montpellier (France) : 1-4.

- Belem M., Bognounou O., Ouedraogo S.J., Maiga A.A. (1996). Les ligneux à usages multiples dans les jachères et les champs du Plateau Central du Burkina Faso. *Biodiversité, friches et jachères*, 38(1) : 251-272.
- Bellefontaine R., Petit S., Pain-Orcet M., Deleporte P. & Bertault J.G. (2001). Les arbres hors forêt : Vers une meilleure prise en compte. Cahier FAO Conservation, 35. FAO, Rome, Italie, 231 p.
- Bellier L., Gillon D., Gillon Y., Guillaumet J.L. & Perraud A. (1968). Recherches sur l'origine d'une savane incluse dans le bloc forestier du Bas-Cavally (Côte d'Ivoire) par l'étude des sols et de la biocénose. *Cahiers de l'ORSTOM, Série Biologie*, 10 : 65-93.
- Bender F.D. & Sentelhas P.C. (2018). Solar Radiation Models and Gridded Databases to Fill Gaps in Weather Series and to Project Climate Change in Brazil. *Advances in Meteorology*, (2018): 1-15.
- Bengali M.M. (2018). Perceptions de l'agroforesterie par les paysans et paysannes du groupement mixte de Bissiga, dans la région du Plateau Central, au Burkina Faso. Mémoire de Master, Université Laval (Laval, Canada), 90 p.
- Berhane A., Hadgu G., Worku W. & Abrha B. (2020). Trends in extreme temperature and rainfall indices in the Semi-Arid areas of Western Tigray, Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 9(3) : 1-20.
- Bernadet P. (1986). Élevage et agriculture dans les savanes du nord, Les mécanismes sociaux d'un conflit, *Politique africaine*, 24 : 29-40.
- Bernatchez C. (2007). Amélioration de la qualité du produit et des procédés de production du beurre de karité biologique et de la logistique des opérations en Afrique : cas du Burkina Faso. Thèse de Doctorat, université du Québec à Trois-Rivières, Québec, 210 p.
- Besse P. (2010). Exploration Statistique Multidimensionnelle Data Mining, Editions Cedex, Toulouse, France, 104 p.
- Beucher O. & Bazin F. (2012). L'agriculture en Afrique face aux Défis du Changement Climatique ; Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie : Québec, QC, Canada, p 170.
- Bhagwat S.A., Willis K.J., Birks H.J.B. & Whittaker R.J. (2008). Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity? *Trends in ecology & evolution*, 23(5) : 261-267.
- Biaou S., Houeto F., Gouwakinnou G., Biaou S.S.H., Awessou B., Tovihessi S. & Tete R. (2019). Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol de la forêt classée de

- Ouénou-Bénou au Nord Bénin. *Conférence OSFACO sur les images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique*, 13-15 mars 2019, Cotonou, Bénin, pp 13-32.
- Bidou J.E., Koukperé A. & Droy I. (2019). L'évolution des parcs à karité au Bénin : inégalités de genre et désenchantement du monde. *L'espace géographique*, 48(2) : 138-152.
- Blondel J. (1979). *Biologie et écologie*. Edition Masson & Cie, Paris, France, 173 p.
- Bodian A. (2014). Caractérisation de la variabilité temporelle récente des précipitations annuelles au Sénégal (Afrique de l'Ouest). *Physio-Géo*, 8 : 297-312.
- Boffa J.M. (2015). Opportunities and challenges in the improvement of the shea (*Vitellaria paradoxa*) resource and its management. Occasional Paper 24. World Agroforestry Centre. Report submitted to the Global Shea Alliance, Nairobi, 54 p.
- Boffa J.M. (2000). Les parcs agroforestiers en Afrique de l'Ouest : clés de la conservation et d'une gestion durable. *Unisylva*, 51(1) : 12-17.
- Boko K.A.N., Cissé G., Koné B. & Séri D. (2016). Variabilité climatique et changements dans l'environnement à Korhogo en Côte D'Ivoire : Mythes Ou Réalité ? *European Scientific Journal*. 12(5) : 158-176.
- Boko M., Niang I.A., Nyong C., Vogel A., Githeko M., Medany B. & Osman-Elasha R.T (2007). Africa Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Editions Cambridge University Press, Cambridge, (Angleterre) : 433-467.
- Bondé L., Ouédraogo O., Kagembèga F. & Boussim J. I. (2013). Impact des gradients topographique et anthropique sur la diversité des formations ligneuses soudaniennes. *Bois & Forêts Des Tropiques*, 318(1) : 15-25.
- Bonn F. & Rochon G. (1992). *Précis de télédétection. Principes et méthodes*. Presse Universitaire du Québec, AUPELF, 485 p.
- Bouko S.B., Sinsin B. & Soulé G.B. (2007). Effets de la dynamique d'occupation du sol sur la structure et la diversité des forêts claires et savanes du Bénin. *Tropicultura*, 25(4) : 221-227.
- Brown O. & Crawford A. (2009). *Changements climatiques et sécurité en Afrique*, Editions IIDD, Winnipeg (Manitoba) Canada, 28p.
- Buffoni L., Maugeri M. & Nanni T. (1999). Precipitation in Italy from 1833-1996. *Theoretical Applied Climatology*, 63 : 33-40.

- Caloz R. & Collet C. (2001). Précis de télédétection : traitements numériques d'images de télédétection- Volume 3, Edition Presses de l'Université de Québec, 340 p.
- Camara B. (2018). Caractérisation agroécologique et socio-économique des parcs agroforestiers à *Elaeis guineensis* jacq. et *faidherbia albida* (del.) chev. et leurs influences sur la productivité du riz pluvial en Basse Casamance (Sénégal) Thèse de Doctorat, Université Assane Seck de Ziguinchor (Ziguinchor, Sénégal), 138 p.
- CCIC (2021). Communication de la Côte d'Ivoire à la 79ème plénière du comité consultatif international du coton. Rapport final, Washington DC, 4 p.
- CCNUCC (1992). Convention-cadre des nations unies sur les changements climatiques. PNUE/OMS, Genève, Suisse, 31 p.
- CCT (2003). Notions fondamentales de télédétection. Centre canadien de télédétection, Canada, 266 p.
- Cecchi P. (2007). L'eau en partage : les petits barrages de Côte d'Ivoire. Editions IRD, Paris (France), 300 p.
- CGES (2020). Projet d'Amélioration de la Prestation des Services dans l'Education (PAPSE). Rapport finale, CGES-PAPSE, Abidjan, Côte d'Ivoire, 167 p.
- CGES (2016). Projet de renforcement de l'alimentation en eau potable en milieu urbain (PREMU). Rapport final, Abidjan, Côte d'Ivoire, 137 p.
- Chandler W.S., Hoell J.M., Westberg D., Whitlock C.H., Zhang T. Jr. & Stackhouse, P.W. (2011). *NASA's Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER) Web Services; American Meteorological Society 91st Annual Meeting, 26 January 2011, Seattle, Washington, USA.*
- Chaouche K., Neppel L., Dieulin C., Pujol N., Ladouche B., Martin E., SALAS D. & Caballero Y. (2010). Analyses of precipitation, temperature and evapotranspiration in a French Mediterranean region in the context of climate change. *Geosciences*, 342 : 234-243.
- Chardy P. & Glémarec M. (1977). Évolution dans le temps des peuplements des sables envasés en baie de Concarneau (Bretagne). *In : Biologie des organismes benthiques.* Edition Pergame, Bordeaux (France) : 165-172.
- CIRES (2022). Mission de formulation d'un programme pour l'accélération des objectifs de développement durable dans le Bounkani et le Tchologo. Rapport final, Abidjan, Côte d'Ivoire, 109 p.
- COLEACP (2021). Purée de mangue et pulpe de mangue découpée de la Côte d'Ivoire. Profil de marché, 12 p.

- Cuvilliez M. (2015). Diagnostic agraire préalable à la création d'un centre de formation en agriculture pour l'installation de jeunes agriculteurs dans le département du Nyong et Mfoumou, Centre Cameroun. Mémoire de Master, Agrocampus Ouest, (Montpellier, France), 107 p.
- Dabin B., Leneuf N. & Riou G. (1960). Carte pédologique de la Côte d'Ivoire au 1/2.000.000. Direction des sols, ORSTOM, Abidjan, Côte d'Ivoire, 31 p.
- Daget. P. & Godron M. (1982). Analyse de l'écologie des espèces dans les communautés. Editions Masson, Paris (France), 163 p.
- Dahmen E.R. & Hall M.J. (1990). Screening of hydrological data: Tests for stationarity and relative consistency. ILRI, Publication 49, Wageningen, Pays-Bas, 58 p.
- Dan Guimbo I., Ambouta K. J. M., Mahamane A. & Larwanou M. (2011). Germination et croissance initiale de *Neocarya macrophylla* (Sabine) Prance, une espèce oléagineuse du Niger. *Tropicultura*, 29(2) : 88-93.
- Dasmané B., Adjima T. & Hien V. (2016). Changement climatique en zones Nord soudanienne et Sub sahélienne du Burkina Faso. *Revue d'écologie (Terre Vie)*, 71 : 35-58.
- Davranche A & Taïbi A.N. (2015). Les changements d'occupation et d'usage du sol, des processus multidimensionnels qui affectent la biodiversité. *In* : Pour une Géographie de la Conservation, Mathevet R, Godet L (eds). Editions l'Harmattan, Paris (France) : 1-11.
- Dedjan Y.J. (2010). Changements Climatiques et Évolution des Périodes de Semis des Principales Cultures dans l'Alibori : Cas des Communes de Malanville et de Banikoara. Thèse de doctorat, Université de Parakou (Parakou, Bénin), 168 p.
- Dedzoe C. D., Senayah J. K. & Asiamah R. D. (2001). Suitable Agro-ecologies for Cashew (*Anacardium Occidentale* L.) Production in Ghana. *West African Journal of Applied Ecology*, 1 (2) : 103-117.
- Desjardins R. (2000). La télédétection : perspective analytique. Editions ESTEM, Paris (France), 226 p.
- Diarrassouba N., Fofana J.L., Bakayoko A., N'guessan A. & Sangare A. (2009). Influence des systèmes agraires sur la dynamique de régénération naturelle du karité : *Vitellaria paradoxa* CF *gaernt* (Sapotaceae) en Côte D'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 21(1) : 49-58.
- Diarrassouba N., Yao Saraka D.M., Alui K.A., Ble P.A. & Kouamé N.M.T. (2020). Comment restaurer les parcs à karité dégradés par la technique de Régénération Naturelle Assistée (RNA). *Afrique Science*, 16(1) : 307-314.

- Diedhiou M. A., Faye E., Ngom D. & Toure M. A. (2014). Identification et caractérisation floristiques des parcs agroforestiers du terroir insulaire de Mar Fafaco (Fatick, Sénégal). *Journal of Applied Biosciences*, 79(1) : 6855-6866.
- Dimobe K., Wala K., Batawila K., Dourma M., Woegan Y. A. & Akpagana K. (2012). Analyse spatiale des différentes formes de pressions anthropiques dans la réserve de faune de l'Oti-Mandouri (Togo). *Vertigo*, 14 : 1-51.
- Djogbenou, C. P., Glèlè Kakai, R., Arouna, O., & Sinsin, B. (2011). Analyse des perceptions locales des aménagements forestiers participatifs au Bénin. *Vertigo*, 11(1), 1–16.
- Djohy G., Edja A. & Nouatin G. (2015). Variation climatique et production vivrière : La culture du maïs dans le système agricole péri-urbain de la commune de Parakou au Nord-Bénin. *Afrique Sciences*, 11 : 183-194.
- Donoso P.J. & Otero L.A. (2005). Hacia una definición de país forestal: ¿Dónde se sitúa Chile?. *Revista Bosque*, 26 (3) : 5-18
- Dro B., Soro D., Koné M. W., Bakayoko A. & Kamanzi K. (2013). Evaluation de l'abondance de plantes médicinales utilisées en médecine traditionnelle dans le Nord de la Côte d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 17(3) : 2631-2646.
- Duchaufour P. (1970). Précis de pédologie. 13^e Editions Masson et Cie, Paris, France, 481p.
- Douffi K.G.C., Koné M., Silué S.S., Soro F.A., N'guessan Y.J., Koffi I. & Coulibaly L. (2020). Cartographie de l'occupation du sol et dynamique des anacardiens de la sous-préfecture de Napié, au nord de la Côte d'Ivoire. *Journal of Research in Environmental and Earth Sciences*. 6(2) : 35-46.
- Dupraz C. & Liagre F. (2008) Agroforesterie. Des arbres et des cultures. Éditions France agricole, Paris (France), 456 p.
- Dupriez H. & De Leener P. (1993). Arbres et agricultures multiétagées d'Afrique. Editions Terre et vie. Paris, France, 280 p.
- Durrieu L., Madron D., Gbalet P. E. & Tomini. (2015). Gestion durable des ressources forestières, Rapport pour les états généraux de la forêt, de la faune et des ressources en eau, BNETD, Abidjan, 88 p.
- Eastman J.R. (2001). Guide to GIS et image processing, Idrisi 32, release 2. *Clarks Labs*, (2) : 144-181.
- EIES (2016a). Projet de développement intégré du wassoulou-Côte d'Ivoire. Rapport finale, Abidjan, Côte d'Ivoire, 183 p.

- EIES (2016b). Mise à jour de l'étude d'impact environnemental et social : Projet aurifère de Sissingue (Tengréla). Rapport final, Abidjan, Côte d'Ivoire, 306 p.
- Eldin M. (1971). Le climat en Côte-d'Ivoire. *In* : Le milieu naturel de la Côte-d'Ivoire. Mémoires ORSTOM, Paris (France) : 73-108.
- Ernest A.K., Blaise K.Y., Michel K.A., Gbombélé S., Nagnin, S. & Biémi. J (2013). Étude de la variabilité hydro climatique et de ses conséquences sur les ressources en eau du Sud forestier et agricole de la Côte d'Ivoire : Cas de la région d ' Abidjan-Agboville. *International Journal of Pure Applied Biosciences*, 1 : 30-50.
- Fandohan B. (2011). Conservation biology of *Tamarindus indica* (Fabaceae) in Benin, West Africa. Thèse de Doctorat, Université de Abomey-Calavi, Benin, 227 p.
- FAO (2010). Implications du changement climatique pour la sécurité alimentaire et la gestion des ressources naturelles en Afrique. Edition FAO, Rome (Italie) : 3-7.
- FAOSTAT (2021). Données statistiques sur l'agriculture des pays membres de l'organisation. Données collectées via le Portail de statistiques mondiales de la FAO : <https://www.fao.org/faostat/fr/#home> (Consulté le 5 juin 2022).
- Fathi S. (2020). La télédétection, approche de calcul des paramètres spectraux : cas du bassin de la Seybouse (Nord-est Algérien), Mémoire de Master, faculte des sciences de la nature et de la vie et sciences de la terre et de l'univers, Algérie, 71 p.
- Faye A., Camara I., Noblet M., Mboup S.D. (2019). Evaluation de la vulnérabilité du secteur agricole à la variabilité et aux changements climatiques dans la région de Fatick : Secteur Agricole. Projet d'Appui Sci. aux Process. Plans National d'adaptation Dans les Pays Francoph. les Moins Avancés d'Afrique Subsaharienne. 100 p. Disponible en ligne https://climateanalytics.org/media/agri_paspna_sn_rapport_final_etude_vulnerabilite.pdf (consulté le 5 juin 2022).
- Faye M.D., Weber J.C., Mounkoro B., Dakouo J.M. (2010). Contribution of parkland trees to farmers' livelihoods: a case study from Mali. *Development in Practice*, 20(3) : 428-434.
- Felfili J.M., da Silva Júnior M.C., Sevilha A.C., Fagg C.W., Walter B.M.T., Nogueira P.E. & Rezende A.V. (2004). Diversity, floristic and structural patterns of cerrado vegetation in Central Brazil. *Plant Ecology*, 175(1) : 37-46.
- Fifanou V.G., Ousmane C., Gauthier B. & Brice S. (2011). Traditional agroforestry systems and biodiversity conservation in Benin (West Africa). *Agroforestry Systems*, 82 : 1-13.
- FIRCA (2018). *La Filière Riz*. Rapport, FIRCA, Abidjan (Côte d'Ivoire) : 12 p.

- FRA (2010). Evaluation des ressources forestières mondiales 2010. Rapport final, du Département des forêts/Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 60 p.
- Frontier S. (1976). Étude de la décroissance des valeurs propres dans une analyse en composantes principales : Comparaison avec le modèle du bâton brisé. *Journal of experimental marine Biology and Ecology*, 25(1) : 67-75.
- Ganamé M. (2021). Dynamique spatio-temporelle et potentiel du stock de carbone aérien des écosystèmes forestiers du Burkina Faso. Thèse de Doctorat, Université Joseph Ki-Zerbo, (Ouagadougou, Burkina Faso), 140 p.
- GIEC (2007). Résumé à l'intention des décideurs. In : Bilan 2007 des changements climatiques : Impacts, adaptation et vulnérabilité. Contribution du Groupe de travail II au quatrième Rapport d'évaluation. Rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 115 p.
- GIEC (2014). Changements Climatiques. Rapport de Synthèse, Contribution des Groupes de Travail I, II et III au cinquième Rapport D'évaluation du Groupe D'experts Intergouvernemental sur L'évolution du Climat ; Pachauri, R.K., Meyer, L.A., Editions GIEC, Genève, Suisse, 180 p.
- Girard M. C. (1999). Traitement des données de télédétection. Edition Dunod, Paris, France, 529 p.
- Glèlè K R., Sodjinou E. & Fonton N. (2006). Conditions d'application des méthodes statistiques paramétriques : application sur ordinateur. Bibliothèque Nationale, 94 p.
- Gocic M. & Trajkovic S. (2013). Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sens slope estimator statistical tests in Serbia. *Global and Planetary Change*, 100: 172-182.
- Goujon P., Lefèbvre A., Leturcq P.H., Marcellesi A.P. & Praloran J.C. (1973). Etude sur l'anacardier. *Revue Bois et Forêt des Tropiques*, 151 : 27-56.
- Gouma M.I. (2003). Analyse des négociations de l'OMC sur l'Agriculture pour la formation d'une politique appropriée au développement de la filière anacarde en Côte d'Ivoire. Mémoire professionnel, Université de Cocody, (Abidjan, Côte d'Ivoire), 46 p.
- Grimene C. (2018). Classification de l'occupation des terres agricoles par télédétection satellitaire. Mémoire de Master en gestion des territoires et développement local, Institut

- Agronomique Méditerranéen de Montpellier, Université Paul Valéry de Montpellier III, (Montpellier, France), 59 p.
- Guillaumet J.L. & Adjanohoun E. (1971). La végétation de la Côte d'Ivoire. *In* Le Milieu Naturel de Côte d'Ivoire. Avenard J-M.M., Eldin G., Girard J., Sircoulon P., Touchebeuf J-L., Guillaumet E., Adjanohoun A. & Perraud. A. Mémoires ORSTOM n° 50 : Paris (France) : 161-263.
- Guimbo I.D., Morou B., Rabiou H. & Larwanou M. (2016). Facteurs de pression sur les parcs agroforestiers à *Vitellaria paradoxa* et à *Neocarya macrophylla* dans le Sud-ouest du Niger (Afrique de l'Ouest). *Journal of Applied Biosciences*, 107 : 10407-10417.
- Guinko S. (1984). La végétation de la Haute -Volta. Thèse de doctorat ès- Sciences Naturelles, Université de Bordeaux III, (Bordeaux, France), 394 p.
- Guinko, S. (1997). Rôle des Acacias dans le développement rural au Burkina Faso et au Niger, Afrique de l'Ouest. L'homme et Le Milieu Végétal. *In* : Le Bassin Du Lac Tchad *ORSTOM*, Paris (France) : 35-51.
- Habou R., Massaoudou M., Abasse T., Mahamane A., Larwanou M. & Van Damme P. (2020). Structure et régénération des peuplements naturels de *Balanites aegyptiaca* (L) Del et *Ziziphus mauritiana* Lam suivant un gradient écologique dans la région de Maradi au Niger. *Afrika Focus*, 33(1): 83-104
- Hall J.B., Aebischer D.P., Tomlinson H.F., Osei-Amaning E. & Hindle J.R. (1996). *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn. A monograph. School of Agricultural and Forest Sciences. University of Wales Bangor (Royaume Uni), 105p
- Hallouz F., Meddi M., Mahe G., Karahacane H. & Ali Rahmani S. (2019). Tendances des précipitations et évolution des écoulements dans un cadre de changement climatique : bassin versant de l'oued Mina en Algérie. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 32(2): 83-114.
- Hountondji Y.C. (2008). Dynamique environnementale en zones sahélienne et soudanienne de l'Afrique de l'Ouest : Analyse des modifications et évaluation de la dégradation du couvert végétal, Thèse de doctorat, faculté des sciences, département des sciences et gestion de l'environnement, Université de Liège (Liège, Belgique), 153 p.
- Howden S. M., Crimp S. & Nelson R. (2010). Australian agriculture in a climate of change. *In*: Managing climate change: papers from the Greenhouse 2009 conference, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) Publishing, Collingwood (Australie) : 101-111.

- Hulse J.H. & Pearson O.E. (1979). CRDI Manuscript reports. Food and agricultural research – Its past and future contribution to agricultural, social and economic development. In CRDI. CRDI, [En ligne]. <http://idl-bnc.idrc.ca/dspace/bitstream/10625/3287/1/31376.pdf> (Page consultée le 10 mai 2022).
- Ibrahim B., Polcher J., Karambiri H. & Rockel B. (2012). Characterization of the rainy season in Burkina Faso and its representation by regional climate models. *Climate Dynamics*, 39 : 1287-1302.
- Izrael Y. (1991). Climate change impacts studies. The IPCC working group II report. In : Climate change, science, impact and policy. Cambridge University Press, Great Britain (Angleterre) : 83-86.
- Jaccard P. (1908). Nouvelles recherches sur la distribution florale. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles*, 44 : 223-270.
- Jensen J.R. (1983). Urban / suburban land use analysis. In : “Manual of Remote Sensing”. Edition Colwell, R.N. (ed.), Chapter 30, American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Falls Church, Virginia : 1571-1666.
- Kanga B.I. (2020). Vulnérabilité à la variabilité et au changement climatique et stratégies d'adaptation des producteurs de cacao du département de Daloa en Côte d'Ivoire. Mémoire de Master, Centre Régional AGRHYMET (Agrhymet, Niger), 81 p.
- Kendall M.G. (1975). Rank correlation methods. 4th Edition. Charles Griffin, Londres, Royaume-Uni, 202 p.
- Kho R.M. (2000). A general tree-environment-crop interaction equation for predictive understanding of agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 80(1) : 87-100.
- Kima S.A., Okhimamhe A.A., Kiema A., Zampaligre N. & Sule I. (2015). Adaptation aux impacts du changement climatique dans la zone subhumide du Burkina Faso, Afrique de l'Ouest : Perceptions des agro-pasteurs. *Pastoralisme*, 16 (5) : 1-14.
- Kockmann S. (2009). Mise en place d'une filière biologique de noix de cajou dans le Nord de la Côte d'Ivoire. Mémoires de fin d'étude, ISARA (Lyon, France), 96 p.
- Koffi S.Y. & Oura K.R. (2019). Les facteurs de l'adoption de l'anacarde dans le bassin cotonnier de Côte d'Ivoire, *Cahiers Agricultures*, 28(24) : 1-9
- Koffi Y.J. (2008). Impact écologique et socio-économique de la culture d'anacardiens dans le zanzan, Nord-est de la Côte d'Ivoire, Thèse unique de doctorat, Université Félix Houphouët BOIGNY (Abidjan, Côte d'Ivoire), 407 p.

- Koïta B. (1998). Végétation post-culturale en zone soudanienne du Sénégal. Influence des pratiques culturelles et des facteurs anthropiques sur la reconstitution végétale après abandon cultural. Thèse de Doctorat en Ecologie, Physiologie et Biologie, Université de Corse (Corse, France), 169 p.
- Konan C. & Ricau P. (2010). La filiere Anacarde en Côte d'Ivoire : Acteurs et Organisation. INADES-RONGEAD (Abidjan, Côte d'Ivoire), 36 p.
- Konan K.H. (2019). La Gestion participative, une solution à l'orpillage clandestin au Nord de la Côte d'Ivoire. *Revue Ivoirienne de Géographie des Savanes*, 7 : 2521-2125
- Koné B. (2017). Fièvre de l'or et le devenir des activités rurales dans le département de Tengréla (nord de la Côte d'Ivoire). *Revue Ivoirienne de Géographie des Savanes*, 1 : 2521-2125
- Koné C.H.K., Niamien J.M.C., Coulibaly K. & Kadio A. (2020). Biodiversité et statut de conservation des espèces végétales du site de la future zone agro-industrielle de Korhogo (Nord Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 28(2) : 468-477.
- Koné M. (2001). Analyse de la chaîne de valeur du secteur anacarde de la Côte d'Ivoire. Initiative du Cajou Africain (iCA), Abidjan, Côte d'Ivoire, 76 p.
- Koné M., Mawoudoudji N.A., Soro N.J.M., Ouattara O. (2020). Etude sur la diversification du cacao et de la noix de cajou. Rapport final, version de novembre 2020, Abidjan, Côte d'Ivoire, 95 p.
- Koné M., Tuo Y., Yapo M. L., Soro Y. A., Dosso N. & Kambou B. (2018). Pratiques culturelles et diversité des insectes en cultures vivrières à Korhogo (Nord, Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(6) : 2644-2652.
- Koua K.A.N. (2021). Dynamiques du paysage d'une zone de contact forêt-savane et migration agricole pour la culture cacaoyère à l'Ouest de la Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, Université Jean Lorougnon Guédé, (Daloa, Côte d'Ivoire), 135 p.
- Koua K.A.N., Barima Y.S.S., Kpangui K.B. & Bamba I. (2020). Impact of cocoa farming on the landscape in rural and state-owned areas of West Côte d'Ivoire. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 50(2) : 128–137.
- Kouakou A.T.M. (2019). Dynamiques spatio-temporelles du couvert végétal et diversité floristique de quelques parcs nationaux et forêts classées de Côte d'Ivoire dans un contexte de crises politico-militaires. Thèse de Doctorat en Ecologie végétale, Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa, Côte d'Ivoire), 352 p.

- Kouakou A.T.M., Barima Y.S.S., Konate S., Bamba I., Kouadio J.Y. & Bogaert J. (2017). Gestion des forêts domaniales en période de conflits : cas de la forêt classée du Haut-Sassandra, Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. *International Journal Of Biological and Chemical Sciences.*, 11(1) : 333-349.
- Kouamé F.N., Kouadio K.E., Kouassi K. & Poorter L. (2004). Floristic diversity of closed forests in Côte d'Ivoire. In : Poorter L., Bongers F., Kouamé F.N. et Hawthorne W.D. (eds). Biodiversity of West African forests. An ecological atlas of woody plant species. CABI Publishing (Angleterre) : 53-59.
- Kouamé N.F. (1998). Influence de l'exploitation forestière sur la végétation et la flore de la forêt classée du Haut-Sassandra (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat 3e Cycle, UFR Biosciences, Université Cocody- Abidjan (Abidjan, Côte d'Ivoire), 227 p.
- Kouao N.S.R. (2020). Analyse des mutations géographiques liées a la culture d'anacardiens dans les sous-préfectures de Diabo, Botro et Bodokro (centre de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 313 p.
- Kouassi A.M., Kouamé K.F., Koffi Y.B., Dje K.B., Paturel J.E. & Oulare S. (2010). Analyse de la variabilité climatique et de ses influences sur les régimes pluviométriques saisonniers en Afrique de l'Ouest : Cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire. *Cybergeo European Journal of Geography*, 1 : 1-10.
- Kouassi A.M., N'guessan B.T.M., Nassa R.A.K., Kouame K.F. & Biemi J. (2019). Modélisation statistique des débits d'étiage au sein du bassin versant du N'zi (Bandama, Côte d'Ivoire). *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies*, 33 : 119-136.
- Koulibaly A., Nicaise A., Diomandé M., Konaté I., Traoré D., Bill R. & Kouadio Y.J. (2016). Conséquences de la culture de l'anacardier (*Anacardium occidentale L.*) sur les caractéristiques de la végétation dans la région du Parc National de la Comoé (Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 17(4) : 1416-1426.
- Kouman K.D., Kabo-bah A.T., Kouadio B.H. & Akpoti K. (2022). Spatio-Temporal Trends of Precipitation and Temperature Extremes across the North-East Region of Côte d'Ivoire over the Period 1981–2020. *Climate*, 74(10) : 1-25.
- Kpangui K.B. (2015). Dynamique, diversité végétale et valeurs écologiques des agroforêts à base de cacaoyers de la sous-préfecture de Kokumbo (Centre de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat unique, Université Félix Houphouët-Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 227 p.

- Kpedenou K.D., Boukpassi T. & Tchamie T.T.K. (2016). Quantification des changements de l'occupation du sol dans la préfecture de Yoto (sud-est Togo) à l'aide de l'imagerie satellitaire Landsat. *Revue des Sciences de l'Environnement*, 13 : 137-156.
- Kpedenou K.D., Drabo O., Ouoba A.P., Da D.C.E. & Tchamie T.T.K. (2017). Analyse de l'occupation du sol pour le suivi de l'évolution du paysage du territoire Ouatchi au sud-est Togo entre 1958 et 2015. *Cahiers du Cerleshs*, 31(55) : 203-228.
- Krebs C. J. (1989). *Ecological Methodology*. Edition Harper & Row, New York (USA), 654 p.
- Lafleur M. (2008). Recherches et documentation des meilleures pratiques pour la gestion durable des parcs à karité en Afrique de l'ouest. Mémoire de Master, Université de Montréal (Montréal, Canada), 110 p.
- Lahmar R., Bationo B. A., Lamso N. D., Guéro Y. & Tottonell P. (2012). Tailoring conservation agriculture technologies to West Africa semi-arid zones: building on traditional local practices for soil restoration. *Field crops research*, 132 : 158-167.
- Lambin E.F., Turner B.L., Geist H., Agbola S.B., Angelsen A., Bruce J.W., Coomes O., Dirzo R., Fischer G., Folke C., George P.S., Homewood K., Imbernon J., Leemans R., Li X., Moran E.F., Mortimore M., Ramakrishnan P.S., Richards J.F., Skanes H., Stefan W., Stone G.D., Svedin U., Velkamp T., Vogel C. & Xu J. (2001). The causes of land-use land cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11(4) : 261-169.
- Landrot N. & Dufour S. (2015). Gestion durable de la faune et des ressources cynégétiques en Côte d'Ivoire. Rapport pour les Etats généraux de la forêt, de la faune et des ressources en eau, Abidjan, Côte d'Ivoire, 100 p.
- Lankoandé B., Ouédraogo A., Boussim I.J. & Lykke A.M. (2016). Natural stands diversity and population structure of *Lophira lanceolata* Tiegh. ex Keay, a local oil tree species in Burkina Faso, West Africa. *Agroforestry Systems*, 90 : 1-14
- Larwanou M., Saadou M. & Nonguierma A. (2005). Détermination du degré d'aridité bioclimatique de sept localités du département de Tillabéri (sud-ouest du Niger) : classement en zones bioclimatiques. *Science et changements planétaires / Sécheresse*, 16(2) : 107-114.
- Le Guen T. & de Morais L.T. (2001). Diversité des utilisations agricoles associées aux retenues d'eau du Nord de la Côte-d'Ivoire. *Les Cahiers d'Outre-Mer. Revue de géographie de Bordeaux*, 54(215) : 283-304.

- Le Guen T. (2004). Le développement agricole et pastoral du Nord de la Côte-d'Ivoire : Problèmes de coexistence. *Cahiers D'outre-Mer*, 57 : 259-288.
- Lebailly P., Lynn S. & Seri H. (2012). Etude pour la préparation d'une stratégie pour le développement de la filière anacarde en Côte d'Ivoire : Proposition d'une stratégie pour le développement de la filière anacarde. Rapport diagnostic, AGRER Consortium, Abidjan, Côte d'Ivoire, 92 p.
- Lebrun J.P. & Stork A.L. (1997). Enumération des plantes à fleurs d'Afrique Tropicale : Monocotyledones : Limncharitaceae à Poaceae, vol III, Edition des Conservatoire et Jardin botaniques, Genève, Suisse, 341 p.
- Leenhardt D., Angevin F., Biarnès A., Colbach N. & Mignolet C. (2010). Describing and locating cropping systems on a regional scale. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30 : 131-138.
- Leimgruber L., Kelly D.S., Steininger M.K., Brunner J., Müller T. & Songer M. (2005). Forest cover change patterns in Myanmar (1990-2000). *Environmental Conservation*, 32 : 356-364.
- Lema M.A. & Majule A.E. (2009). Impacts of climate change, variability and adaptation strategies on agriculture in semiarid areas of Tanzania: The case of Manyoni District in Singida Region, Tanzania. *Revue africaine des sciences et technologies de l'environnement*, 3(8) : 206-218.
- Lodoun T., Giannini A., Traoré P.S., Somé L., Sanon M., Vaksmann M. & Rasolodimby J.M. (2013). Changes in seasonal descriptors of precipitation in Burkina Faso associated with late 20th century drought and recovery in West Africa. *Environmental Development*, 5 : 96-108.
- Loupe D. & Faidutti R. (2000). Vue aérienne d'un parc agroforestier à *Faidherbia albida* aux environs du village de Dolekaha (Côte d'Ivoire) Parc agroforestier à *Adansonia digitata*, au Sénégal. *Unasylva*, 51 : 11-17.
- Lundgren B.O. & Raintree J.B. (1982). Sustained agroforestry. In: Nestel B. Edition Agricultural Research for Development: Potentials and Challenges in Asia. ISNAR, Hague, Suisse : 37-49.
- Lupwayi N.Z., Rice W.A. & Clayton G.W. (1999). Soil microbial biomass and carbon dioxide flux under wheat as influenced by tillage and crop rotation. *Canadian Journal of Soil Sciences*, 79(2) : 273-280.

- Maïga A. Y. (1990). Etude de la mortalité du karité. DRFH/INRZFH, Rapport final prolongation, Sotuba, Mali, 83 p.
- Mama A., Sinsin B., De Cannière C. & Bogaert J (2013). Anthropisation et dynamisation des paysages en zone soudanienne au nord du Bénin. *Tropicultura*, 31(1) : 78-88.
- Mann H.B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13(1) : 245-259.
- Mapongmetsem P.M., Nkongmeneck B.A., Rongoumi G., Dongock D.N. & Dongmo E.B. (2011). Impact des systèmes d'utilisation des terres sur la conservation de *Vitellaria paradoxa Gaerten. F.* (Sapotaceae) dans la région des savanes soudano-guinéennes. *International Journal of Environmental Studies*, 68(6) : 851-872.
- Mary F. & Besse F. (1996). Guide d'aide à la décision en agroforesterie. Tome 2 Fiches techniques. Edition GRET, Paris (France), 292 p.
- Mashapa C., Zisadza-Gandiwa P., Gandiwa E. & Kativu S. (2013). Abondance et structure du baobab africain (*Adansonia digitata*) sur différents types de sols dans le parc national de Gonarezhou, au Zimbabwe. *Journal international de la biodiversité*, 1 : 1-7.
- Massaoudou M., Larwanou M. & Mahamane S. (2015). Caractérisation des peuplements ligneux des parcs à *Faidherbia albida* (Del) A. Chev et à *Prosopis africana* (Guill., Perrot et Rich.) Taub du Centre-Sud Nigérien. *Journal of Applied Biosciences*, 94(1) : 8890-8906.
- Mather P.M. & Koch M. (2011). Computer processing of remotely-sensed images: an introduction. John Wiley & Sons, Hoboken (New Jersey), 97 p.
- Matson P.A., Parton W.J., Power A.G. & Swift M.J. (1997). Agricultural Intensification and Ecosystem Properties. *Science*, 277(5325) : 504-509.
- Mbaiyetom H., Tientcheu A.M.L., Tchamba M.N. & J Taffo J.B.W. (2021). Diversité floristique et structure de la végétation ligneuse des parcs arborés de la zone soudanienne du Tchad. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15(1) : 68-80.
- Mbayngone E., Thiombiano A., Hahn-Hadjali K. & Guinko S. (2008). Structure des ligneux des formations végétales de la Réserve de Pama (Sud-Est du Burkina Faso, Afrique de l'Ouest). *Flora et Vegetation Sudano-Sambesica*, 11 : 25-34.
- Meynard J.-M. (2017). L'agroécologie, un nouveau rapport aux savoirs et à l'innovation. *OCL*, 24(3) : 1-9.
- Miessan G.A., Jourda J.P., Ta M.Y., Koffi K., Kan J.K., Koffi F.K., Mahaman B.S Kouakou B.D. & Biemi J (2009). Diagnostic à la mi-saison sèche de l'état hydrique du bassin-

- versant de la Bagoé (milieu soudano-sahélien de Côte d'Ivoire) à l'aide d'images ETM+de Landsat. *Secheresse*, 20(3) : 253-61.
- MINEDD (2020). Plan National sécheresse de Côte d'Ivoire (2021-2025). Rapport final, Abidjan, Côte d'Ivoire. p. 131. Disponible en ligne : https://www.unccd.int/sites/default/files/country_profile_documents/PNS_Version%20finale_sept2020.pdf (consulté le 5 juin 2022).
- MINESUDD (2015). Programme National Changement Climatique (PNCC). Rapport final, Abidjan, Côte d'Ivoire, 79 p.
- Mitchell J.M. Jr., Dzerdzeevskii B., Flohn H., Hofmeyr W.L., Lamb H.H., Rao K.N. & Wallén C.C. (1966). Climatic change : Report of a working group of the Commission for Climatology. Note technique No 79, Organisation météorologique mondiale (OMM), Genève, Suisse, 79 p.
- Monnier Y. (1981). La poussière et la cendre. Paysages, dynamique des formations végétales et stratégies en Afrique de l'Ouest. Thèse de Doctorat d'État, Université de Paris 1, Paris, 251 p.
- Motiee H. & Mcbean E. (2009). An assessment of long term trends in hydrologic components and implications for water levels in Lake Superior. *Hydrology Research*, 40(6) : 564-579.
- Moussa M., Mahamane L. & Saadou M. (2015). Caractérisation des peuplements ligneux des parcs à *Faidherbia albida* (Del) A. Chev. et à *Prosopis africana* (Guill., Perrot et Rich.) Taub. du Centre-Sud Nigérien. *Journal of Applied Biosciences*, 94(1) : 8890-8906.
- Mubiru N.D., Radeny M., Kyazze F.B., Zziwad A., Lwasaa J., Kinyangie J. & Mungai C. (2018). Climate trends, risks and coping strategies in smallholder farming systems in Uganda. *Climate Risk Management*, 22 : 4-21.
- Munyemba K.F. & Bogaert J. (2014). Anthropisation et dynamique spatiotemporelle de l'occupation du sol dans la région de Lubumbashi entre 1956 et 2009. *Révue électronique de l'Université de Lubumbashi*, 1 : 3-23.
- Nacoulma B.M.I., Traoré S., Hahn K. & Thiombiano A. (2011). Impact of land use types on population structure and extent of bark and foliage harvest of *Azelia africana* and *Pterocarpus erinaceus* in Eastern Burkina Faso. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 3(3) : 62-72.
- Nair P. K. R. (1993). An introduction to Agroforestry. Kluwer Academic Publishers / ICRAF, Florida (USA), 499 p.
- Nair P.K.R. (1985). Classification of agroforestry systems. *Agroforestry systems*. 3(2) : 97-128.

- Nair R.P.K., Mohan Kumar B. & Nair V.D. (2009). Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of plant nutrition and soil science*. 172(1) : 10-23.
- Nantoumé H., Sidibé S., Cissé S., Cinq-Mars D., Kouriba A., Sanogo A., Olivier A. & Bonneville J. (2014). Préférences alimentaires des ovins : appétence des principales espèces de ligneux fourragers au sud-est du Mali. *Livestock Research for Rural Development*, 26(12) : 223-229.
- NASA (2002). Landsat-7 science data user's handbook. NASA Goddard Space Flight Center, 186 p.
- Nassa D.D.A. (2005). Commerce transfrontalier et structuration de l'espace au Nord de la Côte d'Ivoire. Géographie. Thèse de Doctorat, Université Michel de Montaigne - Bordeaux III (Bordeaux, France). 300 p.
- Nassourou L.M., Sarr B., Alhassane A., Balla A. & Traoré S. (2018). Perception et Observation : Les Principaux Risques Agro-Climatique de L'Agriculture Pluviale Dans L'Ouest du Niger. *VertigO-La Rev. Électronique En Sciences De L'environnement*, 18(1) : 1-36.
- Nelson R., Kokic P., Crimp S., Martin P., Meinke H., Howden S. M. & Nidumolu U. (2009). The vulnerability of Australian rural communities to climate variability and change: Part II - Integrating impacts with adaptive capacity. *Environmental Science and Policy*, 13 : 18–27.
- Neset T.S., Wiréhn L., Opach T., Glaas E. & Linnér B.O. (2019). Évaluation des indicateurs de vulnérabilité de l'agriculture au changement climatique : The case of Swedish agriculture. *Ecological Indicators*, 105 : 571-580.
- N'Guessan K. A., Kouakou K. E., Alui K. A. & Yao A. (2019). Stratégies et pratiques paysannes de gestion durable de la fertilité des sols dans le département de Korhogo au nord de la Côte d'Ivoire. *Afrique Sciences*, 15 : 245-258.
- Nouaceur Z. & Murarescu O. (2020). Rainfall variability and trend analysis of rainfall in west Africa (Senegal, Mauritania, Burkina Faso). *Eau*, 12 : 17-54.
- Nugawela P., Baldé A. & Poublanc C. (2006). La chaîne de valeurs anacarde au Sénégal ; Analyse et cadre stratégique d'initiative pour la croissance de la filière. Rapport final USAID, SAGIC, Sénégal, 78 p.
- Oke D.O. & Odebiyi K.A. (2007). Traditional cocoa-based agroforestry and forest species conservation in Ondo State, Nigeria. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 122(3) : 305-311.

- Oloukoi V., Mama J & Agbo F.B. (2006). Modélisation de la dynamique de l'occupation des terres dans le département des collines au Bénin. *Téledétection*. 6(4) : 305-323.
- OMM (2017). Directives de l'Organisation Mondiale de Météorologie pour le calcul des normales climatiques. Numéro 1203, Edition 2017, Genève 2, Suisse, 20 p.
- Oszwald J. (2005). Dynamique des formations agroforestières en Côte d'Ivoire (des années 1980 aux années 2000), Suivi par télédétection et développement d'une approche cartographique. Thèse de doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille, (Lille, France), 304 p.
- Oszwald J., Lefebvre A., de Sartre XA., Thales M. & Gond V. (2010). Analyse des directions de changement des états de surface des végétaux pour renseigner sur la dynamique du front pionnier de Maçaranduba (Pará, Brésil) entre 1997 et 2006. *Téledétection*, 9(2) : 97-111.
- Ouattara D., Kouame D., Tiebré M.S., Kouadio Y.J.C. & N'guessan K.E. (2016). Biodiversité végétale et valeur d'usage en zone soudanienne de la Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(3) : 1122-1138.
- Ouattara N. (2001). Situation des ressources génétiques forestières de la Côte d'Ivoire (Zone de Savanes). Atelier sous-régional FAO/IPGRI/CIRAF sur la conservation, la gestion, l'utilisation durable et la mise en valeur des ressources génétiques forestières de la zone sahélienne (Ouagadougou, 22-24 sept. 1998). Note thématique sur les ressources génétiques forestières. Document FGR/5F. Service de la mise en valeur des ressources forestières, Division des ressources forestières. FAO, Rome, Italie, 201 p. Disponible en ligne : <https://www.fao.org/publications/card/fr/c/91fbc99b-e6f8-53a1-9c54-15ceb21121cd/> (consulté le 5 juin 2022).
- Ouattara N.P-K. (2021). Agriculture à Base d'anacardiens et formes traditionnelles de mobilisation de la main d'œuvre agricole chez les Fohobélé au Centre-Nord de la Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, 17(21) : 265.
- Ouédraogo M., Dembélé Y. & Somé L. (2010). Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements des précipitations : Cas des paysans du Burkina Faso. *Sécheresse*, 21 : 87-96.
- Owen G. (2020). What makes climate change adaptation effective? A systematic review of the literature. *Global Environmental Change*, 62 (1) : 102071.

- Park S.E., Marshall N.A., Jakku E., Dowd A.M., Howden S.M., Mendham E., Fleming A. (2012). Informing adaptation responses to climate change through theories of transformation. *Global Environmental Change*, 22 (1) : 115-126.
- Pelissier P. (1979). L'arbre dans les paysages agraires de l'Afrique noir. *In* : le rôle des arbres au Sahel. Edition CRDI, Dakar (Sénégal) : 37-42.
- Perraud A. (1971). Les sols. *In* : le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Mémoires ORSTOM, 50, Paris (France) : 269-391.
- Piba S.C. (2016). Diversité floristique et potentiel en espèces sources de produits forestiers non ligneux de la forêt classée de Yapo-abbé : Contribution pour un aménagement durable. Thèse de doctorat, UFR Sciences de la Nature, Université Nangui Abrogoua, Abidjan (Côte d'Ivoire), 148 p.
- Pielou E.C. (1966). Species diversity and pattern diversity in the study of ecological succession. *Journal of theoretical biology*, 10 : 370-383.
- Pohlert T. (2020). Trend: non-parametric trend tests and change-point detection. *R package version*, 1 (4) : 1-18.
- Pontius J.R.G. (2000). Quantification error versus location in comparison of categorical maps. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66(8) : 1011-1016.
- Raison J.-P. (1988). Les parcs en Afrique : état des connaissances, perspectives de recherches. Document de travail. Editions EHESS, Paris, 117 p.
- Ramade F. (2003). Éléments d'Écologie : Écologie fondamentale. 3^{ème} édition, Dunod, Paris, France, 690 p.
- Raunkiaer C. (1934). The life forms of plants and statistical plant geography. Édition Oxford. University Press, Londres (Angleterre), 632 p.
- RCI (2014). Cinquième Rapport National sur la biodiversité, Abidjan, Côte d'Ivoire, 106p.
- Rey J.Y. (1998). La noix de cajou en Côte d'Ivoire en forte progression. *Fruitrop*. 51 : 12-13.
- RGPH (2021). Principaux Résultats du Rgph. 1 : 22. Disponible en ligne : <https://www.ins.ci/documents/rgph/ivoirien18plus.pdf> (consulté le 5 juin 2022).
- Rickards L. & Howden S.M. (2012). Adaptation transformationnelle : agriculture et changement climatique. *Science des cultures et des pâturages*, 63 (3) : 240-250.
- Rollet B. (1979). La régénération naturelle en forêts dense humide sempervirente de la plaine en Guyane Vénézuélienne. *Bois et Forêts des Tropiques*, 124 : 19 - 38.
- RONGEAD (2013). Connaitre et comprendre le marché international de l'anacarde. Document élaboré par RONGEAD à partir de son expérience d'appui à la filière anacarde,

- notamment dans le cadre de la mise en œuvre du service d'information et de conseil, Rongead, Abidjan, Côte d'Ivoire, 48 p.
- Roselt. & Oss. (2004). Fiches techniques pour la construction de quelques indicateurs écologiques et de la biodiversité végétale. Collection scientifique et technique ROSELT/OSS, Contribution Technique n°14, Montpellier (France), 65 p.
- Rosenfield G. H. & Fitzpatrick-Lins K. (1986). A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 52(2), 223-227.
- Roure G. (1958). Tourisme de la nature vivante en côte d'Ivoire : Paysages végétaux, animaux et humains. *Revue forestière française*, 1 : 289-309.
- Ruf F., Koné S. & Bebo B. (2019). Le boom de l'anacarde en Côte d'Ivoire : transition écologique et sociale des systèmes à base de coton et de cacao. *Cahiers Agricultures* 28(21): 1-12.
- Sabiiti E.N. & Cobina J. (1992). *Parkia biglobosa*: a potential multipurpose fodder tree legume in West Africa. *International Tree Crops Journal*, 17 : 271-279.
- Sadia C. (2014). Construire la Résilience au Changement Climatique par les Connaissances Locales : Le cas des Régions Montagneuses et des Savanes de Côte d'Ivoire, Abidjan (Côte d'Ivoire) : 1-28. Disponible en ligne : https://www.google.com.hk/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwi93vLcv5_5AhX4xTgGHWe3BmAQFnoECAwQAQ&url=https%3A%2F%2Fhalshs.archivesouvertes.fr%2Fhalshs-01081449%2Fdocument&usg=AOvVaw36okMwWUha72AIMS0nJ19X (consulté le 5 juin 2022).
- Sagna A. (2020). Importance socio-économique, structure et dynamique des parcs agroforestiers à *Elaeis guineensis* jacq. dans la région de Cacheu (Guinée Bissau). Thèse de Doctorat, UFR des Sciences et Technologies, Université Assane Seck de Ziguinchor (Ziguinchor, Sénégal), 128 p.
- Sagna B., Ngom D., Diedhiou M. A. A., Camara B., Goudiaby M., Mane A. S. & Le Coq Y. (2019). Importance socioéconomique des parcs agroforestiers à *Elaeis guineensis* Jacq. dans la région de Cacheu (Guinée-Bissau). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(7) : 3289-3306.

- Sallé G., Boussim J. & Raynald Roques A. (1991). Le karité : une richesse potentielle. Perspectives de recherche pour améliorer sa production. *Bois et forêts des tropiques*, 228(1) : 11-23.
- Samb C.O., Faye E, Dieng M, Sanogo D, Samba NSA, Koita B. (2018). Dynamique spatio-temporelle des plantations d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) dans deux zones agro-écologiques du Sénégal. *Afrique Science*, 14(3) : 365-377.
- Schlaepfer M.A., Runge M.C. & Sherman P.W. (2002). Ecological and evolutionary traps. *Trends in ecology & evolution*, 17(10) : 474-480.
- Schroth G., Krauss U., Gasparotto L., Duarte A.J., Vohland K. (2000). Pests and diseases in agroforestry systems of the humid tropics. *Agroforestry systems*, 50(3) : 199-241.
- Schulz J.J., Cayuela L.E., cheverria C., Salas B.J.M. (2010). Monitoring land cover change of the dryland forest landscape of Central Chile (1975-2008) *Applied Geography*, 30(3) : 436-447.
- SCN (2010). Seconde Communication Nationale sous la convention cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (Côte d'Ivoire), Abidjan, Côte d'Ivoire, 210 p.
- Seghieri J. & Harmand J.M. (2019). Agroforesterie et Services Écosystémiques en Zone Tropicale : Recherche de Compromis Entre Services D'Approvisionnement et Autres Services Écosystémiques. Mise à jour des sciences et technologies, Éditions Quae, Versailles (France), 251 p. Disponible en ligne : <http://library.oapen.org/handle/20.500.12657/23978> (consulté le 5 juin 2022).
- Seignobos C. (1988). Végétations anthropiques dans la zone soudano-sahélienne: la problématique des parcs. *Revue de géographie du Cameroun*, 1 : 1-23.
- Sen P.K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63 : 1379-1389.
- Sène A. (2004). Dynamique et gestion paysanne des parcs agroforestiers dans le bassin arachidier (Sénégal), édition IRD, Paris (France) : 186-199.
- Serpantié G., Bayala J., Helmfrid S. & Lamien N. (1996). Pratiques et enjeux de la culture du karité (*Butyrospermum paradoxum* Gaertn. F. Hepper) dans l'Ouest du Burkina Faso. Actes du colloque « La jachère, lieu de production », 2-4 octobre, Bobo Dioulasso, Burkina Faso, 72 p.
- Simonet G. (2015). Une brève histoire de l'adaptation : l'évolution conceptuelle au fil des rapports du GIEC (1990-2014). *Natures Sciences Sociétés*, 23 : 52-64.
- Simpson E.H. (1949). Measurement of diversity. *Nature*, 163(4148) : 688-688.

- Sinan A. & N.dri K.A. (2016). Impacts Socio-Economiques de la culture de l'anacarde dans La Sous-Prefecture d'Odienné (Côte d'Ivoire). *European Sciences Journal*. 12(32) : 369-383.
- Sirois A. (1998). A brief and biased overview of time series analysis or how to find that evasive trend. WMO report No. 133, WMO/EMEP Workshop on Advanced Statistical Methods and their Application to Air Quality Data Sets. Organisation météorologique mondiale, Helsinki, Finlande, 18 p.
- Sivakumar M. (1988). Predicting rainy season potential from the onset of rains in Southern Sahelian and Sudanian climatic zones of West Africa. *Agricultural and Forest Meteorology*, 42 : 295-305.
- Smit B. & Wandel J. (2006). Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3) : 282-292.
- Sneyers R. (1990). On the statistical analysis of series of observations. Organisation météorologique mondiale, Note technique No. 143, Genève, Suisse, 218 p.
- Soltani F. (2020). La télédétection, approche de calcul des paramètres spectraux : cas du bassin de la Seybouse (Nord-est Algérien). Mémoire de Master, Université du 8 mai 1945 Guelma (Algérie), 71 p.
- Soro G., Ahoussi E.K., Kouadio E.K., Soro T.D., Oulare S., Saley M.B & Biemi J. (2014). Apport de la télédétection à la cartographie de l'évolution spatio-temporelle de la dynamique de l'occupation du sol dans la région des Lacs (Centre de la Côte d'Ivoire). *Afrique Science*, 10(3) : 146-160.
- Soro S., Dornier M., Abreu F., Assidjo E., Yao B. & Reynes M. (2010). The cashew (*Anacardium occidentale*) industry in Côte d'Ivoire: analysis and prospects for development. *Fruits*, 66(9) : 237-246.
- Soulama S., Kadéba A., Nacoulma B.M.I., Traoré S., Bachmann Y. & Thiombiano A. (2015). Impact des activités anthropiques sur la dynamique de la végétation de la réserve partielle de faune de Pama et de ses périphéries (Sud-est du Burkina Faso) dans un contexte de variabilité climatique. *Journal of Applied Biosciences*, 87(1) : 8047– 8064.
- Spearman C.E. (1904). The proof and measurement of association between two things. *American Journal of Psychology*, 15 : 72-101.
- Spichiger R.E., Figeat V.V.S. & Jeanmonod D. (2002). Botanique systématique des plantes à fleurs : Une approche phylogénétique nouvelle des Angiospermes des régions

- tempérées et tropicales. Deuxième édition entièrement revue et augmentée. Press polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, Suisse, 213 p.
- Srivastava S.K., Singh K.P & Upadhyay R.S. (1986). Dynamique de croissance des racines fines du teck (*Tectona grandis* Linn. F.). *Revue canadienne de recherches forestières*, 16(6) : 1360-1364.
- Stern B.R., Parsons D., Stern D. & Torgbor F. Guide climatique R-Instat, 2021, 283 p. Disponible en ligne : <https://drive.google.com/file/d/1YG5NMWov5qPbU9CKZDgaPcEgT4Oelduo/view> (consulté le 30 mai 2022).
- Sturm H.J. (2000). Les parcs agraires - Reflet de l'histoire du peuplement. *Berichte des Sonderforschungsbereichs*, 268(14) : 405-408
- Sultan B., Roudier P., Quirion P., Alhassane A., Muller B., Dingkuhn M., Ciais P., Guimberteau M., Traore S. & Baron C. (2013). Assessing climate change impacts on sorghum and millet yields in the Sudanian and Sahelian savannas of West Africa. *Environmental Research Letters*, 8 : 1-9.
- Taibi S., Meddi M., Mahé G. & Assani A. (2015). Relationships between atmospheric circulation indices and rainfall in Northern Algeria and comparison of observed and RCM-generated rainfall. *Theoretical Applied Climatology*, 127 : 241-257.
- Tano A.M. (2012). Crise cacaoyère et stratégies des producteurs de la sous-préfecture de Meadji au sud-ouest ivoirien. Economies et finances. Thèse de Doctorat, Université Toulouse le Mirail - Toulouse II (Toulouse, France), 261 p.
- Tarama W.J.I., Yameogo J.T., Tankoano B. & Somé N.A. (2023). Diversité et structure floristique des formations végétales dans la forêt classée de Kuinima en zone soudanienne du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 17(1): 50-62.
- Tassin J. (1990). Agroforesterie et conservation des sols dans les régions chaudes, Montpellier. Edition Nature et Progrès, Avignon, France, 140 p.
- Timité N., Kouakou A.T.M., Bamba I., Barima Y.S.S & Bogaert J. (2022). Climate Variability in the Sudanian Zone of Côte d'Ivoire: Weather Observations, Perceptions, and Adaptation Strategies of Farmers. *Sustainability*, 14(16) : 1-25.
- Togola A., Diallo D., Dembélé S., Barsett H. & Paulsen B. S. (2005). Ethnopharmacological survey of different uses of seven medicinal plants from Mali, (West Africa) in the regions Doila, Kolokani and Siby. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 1(1) : 1-9.

- Torquebiau E., Mary F. & Sibelet N. (2002). Les associations agroforestières et leurs multiples enjeux. *Bois et Forêts des Tropiques*, 271(1) : 23-35.
- Toyi M.S.S., Eda F., Barima Y.S.S., Bamba I. & Sinsin B. (2018). Dynamique paysagère de la Forêt Classée de la Lama au sud du Bénin. *Tropicultura*, 36(2) : 217-231.
- Tramblay Y., EL Adlouni S. & Servat E. (2013). Trends and variability in extreme precipitation indices over North Africa. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13 : 3235-3248.
- Tuo G. (2007). Analyse de la filière anacarde en Côte d'Ivoire : stratégie de développement et de lutte contre la pauvreté. Mémoire de D.E.A en Sciences économiques, Université de Bouaké, Côte d'Ivoire, 35 p.
- Veldman, J.W., Buisson E., Durigan G., Fernandes G.W., Le Stradic S., Mahy G., Negreiros D., Overbeck G.E., Veldman R.G., Zaloumis N.P., Putz F.E. & Bond W.J. (2015). Toward an old-growth concept for grasslands, savannas, and woodlands. *Frontiers in Ecology and the Environment* 13 : 154–162.
- Vergara N.T. (1987). Agroforestry: a sustainable land use for fragile ecosystems in the humid tropics. In "Agroforestry: realities, possibilities and potentials". Edition H.L. Gholz, Dordrecht (Pays-Bas) : 7-21.
- Vittek M., Brink A., Donnay F., Simonetti D. & Desclée B. (2014). Land Cover Change Monitoring Using Landsat MSS/TM Satellite Image Data over West Africa between 1975 and 1990. *Remote Sensing*, 6: 658-676.
- Vogel E. & Meyer R. (2018). Chapter 3 - Climate change, climate extremes, and global food production - adaptation in the agricultural sector. In: Zommers Z., Alverson K. Resilience: the science of adaptation to climate change. Elsevier, Amsterdam (Pays Bas) : 31-49.
- Vroh B.T.A., Cissé A., Adou Yao C.Y., Kouamé D., Koffi K.J., Kpangui K.B. & Koffi B.J.C. (2015). Relations entre la diversité et la biomasse aérienne des espèces arborescentes dans les agroforêts traditionnelles à base de cacaoyers : cas de la localité de Lakota (Côte d'Ivoire). *African Crop Science Journal*, 23(4) : 311-326
- Wafu T.G., Kenji O. & Fotsing J.M. (2008). Analyse spatio-temporelle de l'occupation du sol dans le parc national de Waza entre 1986 et 2001 (Nord Cameroun). *Revue française de photogrammétrie et de télédétection*, 189 : 40-50.
- Wala K., Sinsin B., Guelly K. A., Kokou K. & Akpagana K. (2005). Typologie et structure des parcs agroforestiers dans la préfecture de Doufelegou (Togo). *Sécheresse*, 16(3) : 209-216.

- Westberg D.J., Stackhouse P.W., Crawley D.B., Hoell J.M., Chandler W.S. & Zhang T. (2013). An analysis of NASA's merriam meteorological data to supplement observational data for calculation of climatic design conditions. *ASHRAE Trans*, 119 : 210–221
- Wezel A., Casagrande M., Celette F., Vian J.-F., Ferrer A. & Peigné J. (2014). Agroecological practices for sustainable agriculture. *Agronomy for sustainable Development*, 34(1) : 1-20.
- Yao K.B., Konan J.L., Gnahore F. & Savey P. (2021). Rapport sur l'aménagement hydro-agricole– t01, Ferkessédougou, 347 p.
- Yao N.R., Oule A.F. & N'Goran K.D. (2013). Etude de vulnérabilité du secteur agricole face aux changements climatiques en Côte d'Ivoire. Rapport final du Ministère de l'Environnement, de la Salubrité Urbaine et du Développement Durable, 105 p.
- Yoman N.K.M. (2016). Les petits barrages pastoraux dans le département de Ferkessédougou : utilisation agricole et pastorale. Thèse Unique de Doctorat, UFR Communication Milieu et Société, Université Alassane Ouattara (Bouaké, Côte d'Ivoire), 353 p.
- Youness G. & Saporta G. (2004). Une méthodologie pour la comparaison de partitions. *Revue de statistique appliquée*, 52(1) : 97-120.
- Young A. (1989). Agroforestry for soil conservation. International Council for Research in Agroforestry, Wallingford (Royaume Uni), 318 p.
- Yue S. & Wang C.Y. (2002). Regional streamflow trend detection with consideration of both temporal and spatial correlation. *International Journal of Climatology*, 22 : 933-946.
- Zaatra A. (2021). Vulnérabilité des exploitations agricoles et préférences d'adaptation au changement climatique dans le territoire du Pays Haut Languedoc et vignoble (PHLV). Thèse de doctorat, Université Montpellier (Montpellier, France), 282 p.
- Zakari S., Toko II., Thomas O., Djaouga M. & Arouna O. (2018). Application de la télédétection et du SIG au suivi des formations végétales de la Forêt Classée des Trois Rivières au Nord-Est du Bénin. *European Scientific Journal*, 14(15) : 450-469.
- Zammit O. (2008). Détection de zones brûlées après un feu de forêt à partir d'une seule image satellitaire SPOT 5 par techniques SVM. Thèse de Doctorat, Université de Nice-Sophia Antipolis (France), 147 p.
- Zanh G.G., Kpangui K.B., Barima Y.S.S. & Jan B. (2019). Migration and agricultural practices in the peripheral areas of côte d'ivoire state-owned forests. *Sustainability*, 11(22) : 1–13.

Zerbo I., Bernhardt-Römermann M., Ouédraogo O., Hahn K. & Thiombiano A. (2016). Effects of Climate and Land Use on Herbaceous Species Richness and Vegetation Composition in West African Savanna Ecosystems. *Journal of Botany*, 1 : 1-11.

ANNEXES

Annexe 1 : Modèle de fiche de questionnaire des chefs d'exploitations agricoles renseignée

ENQUETES SUR LES SYSTEMES AGROFORESTIERS SOUDANIENS

Rubrique 0 : Identification de la localité

Numéro de la fiche : N° 26 Date : 01 / 04 / 2019
 Département : Tanghata Village / Cpt : Mdasso Contact : 54 62 1989

Rubrique 1 : Identification de l'enquêté

- 1) Quel est votre nom ? Diarraboula Mousya Sexe ? 1 (Masculin = 1 Féminin = 2)
 3) Quel est votre âge ? 55
 4) Depuis combien d'années vivez-vous dans le village ? 50
 5) Quelle est votre ethnie ? Senoufo
 6) Quelle est votre religion ? 2 1=Chrétien ; 2=Musulman ; 3=Animiste ; 4=Autres si autre préciser.....
 7) Quelle est votre situation matrimoniale ? 1 Marié(e) = 1 Célibataire = 2 Veuf (ve) = 3 Divorcé(e) = 4
 8) Etes-vous propriétaire d'une exploitation agricole ? 1 Oui = 1 Non = 2
 9) Combien de personnes avez-vous au sein de votre exploitation agricole ?
 Hommes..... 6 Femmes..... 8 Enfants..... 5
 10) Quel est votre niveau d'instruction ? 1 Aucun = 1 Primaire = 2 Secondaire = 3 Supérieur = 4 École coranique = 5 Alphabétisation fonctionnelle ; 7=Autre si autre préciser.....
 11) Quelle est la seconde activité que vous exercez ? Forgeron
 12) En quelle période pratiquez-vous cette activité ? 2
 Saison pluvieuse = 1 Saison sèche = 2 Toute l'année = 3

Rubrique 2 : Identification des pratiques culturales

- 13) Comment avez-vous acquis votre exploitation ? 1 Héritage = 1 Achat = 2 Location = 3 Don = 4 Autres = 5 précisez.....
 14) Quelle est la superficie totale de votre exploitation (ha) ? 20
 15) Depuis combien d'années êtes-vous cultivateur ? 50
 16) Quels sont les types de cultures principales que vous pratiquez ? Pérennes Vivrières Maraichères
 Anacarde = 1 Coton = 2 Mangue = 3 Autres = 4 Si autres précisez :
 Arachide = 1 Sorgho = 2 Mil = 3 Niébé = 4 Igname = 5 Maïs = 6 Riz = 7 Autres = 8 Si autres précisez :
 Gombo = 1 Aubergine = 2 Piment = 3 autres = 4 Si autres précisez :
 17) Comment mettez-vous ces cultures sur la parcelle ? 1/2
 Monoculture pérenne = 1 Monoculture vivrière = 2 Monoculture maraichères = 3 Association pérenne-vivrière = 4 Association pérenne-maraichère = 5 Association pérenne-vivrière-maraichère = 6 Association vivrière-maraichère = 7
 18) Pourquoi ? Les cultures ne sont pas toutes compatibles
 19) Quel est le précédent cultural de votre exploitation agricole de cultures pérennes?.....
Anacard. champs de maïs et de coton
 20) Pourquoi avez-vous reconvertir votre parcelle ? rentabilité et économique
 21) Quel est l'âge de vos cultures pérennes ? Anacarde 06 Manguier Autres
- 22) Pourriez-vous nous donner les informations suivantes relatives à vos principales cultures?

| Cultures | Surface cultivée (ha) | | Production (kg) | | Part en réserve alimentaire (kg) | Devenir des résidus 1=itière 2=fourrage 3=paillasse 4=énergie 5= autres (préciser) |
|----------|-----------------------|------|-----------------|------|----------------------------------|---|
| | 2017 | 2018 | 2017 | 2018 | | |
| Amaraude | 5 | 5 | 800 | 500 | Aucun | Aucun |
| Coton | 10 | 10 | 7T | 2T | Aucun | 1, potasse |
| Maïs | 5 | 5 | 7,5T | 7T | 4T | 1, 2 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

23) Les femmes de l'exploitation ont-elles des champs qu'elles cultivent ? 1=oui ; 2=non

24) Si Oui, quelles spéculations mettent-elles en culture ?

25) Quelle surface est allouée à ces spéculations (ha) ?

Rubrique 3 : Espèces conservées ou introduites dans les champs

26) Laissez-vous des arbres dans vos champs ? 1=oui ; 2=Non

27) Si oui, pendant combien de temps ces arbres restent-ils dans vos champs? ... Les espèces restent long

28) Pourquoi ? ... Les espèces conservées sont semencières

29) Quelles espèces d'arbres avez-vous dans vos champs?

| Nom vernaculaire/ Scientifique | Provenance de l'espèce 1. Introduite 2. Conservée | Nombre de pieds Anacarde = 1 Coton = 2 Mangué = 3 Arachide = 4 Sorgho = 5 Mil = 6 Niébé = 7 Iyname = 8 Maïs = 9 Riz = 10 Gombo = 11 Aubergine = 12 Piment = 13 Sesame = 14 Soja = 15 Autres = 16 Si autres précisez | Raison de la conservation 1- Ombrage 2- Fertilité du sol 3- Erosion 4- Protection des cultures 5- Marqueur foncier 6- Culte et sacré 7- Esthétique 8- Héritage | Usages 1- Alimentation humaine 2- Alimentation animale 3- Bois de feu 4- Bois de construction 5- Pharmacopée 6- Cosmétique et esthétique 7- Autres Préciser | Parties utilisées 1= Feuilles 2= Fruits 3= Racines 4= Ecorces 5= Tronc 6= Autres | Gain revenus financiers ? 1. Oui 2. Non | Si oui, indiquer le montant | |
|-----------------------------------|---|--|--|---|--|---|-----------------------------|-------|
| | | | | | | | Mois | Ans |
| Néré' | 2 | 1 = 5 2 = 10 9 = 10 | 6 | 1, 2 | 2 | 2 | 0 | 0 |
| karité' | 2 | 1 = 20 2 = 30 3 = 30 | 6 | 1, 2 | d. | 1 | NA | Photo |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

30) Que faites-vous pour que les arbres conservés se développent dans vos champs ? 1 Entretien = 1 Protection = 2
 Barrière physique = 3 Traitement phytosanitaire = 4 Elagage = 5 Sélection des rejets = 6 Aucun = 8 Autres = 9

31) Avez-vous des jachères ? 1 Oui = 1, Non = 2.

32) Si oui, précisez la durée (ans) 30

33) Quelles sont les principales espèces qu'on retrouve dans votre jachère ? Charayiri, Samakayiri
Néré, karité

34) Avez-vous des animaux ? Oui = 1, Non = 2

35) Si oui, quelles espèces d'animaux avez-vous ? Bovins = 1, Caprins = 2 Porcins = 3 Ovins = 4 Volailles = 5

36) Combien de têtes compte votre troupeau ? 40 Bovins Caprins Porcins Ovins Volailles

37) Conduisez-vous souvent ces animaux dans vos champs ? Oui = 1, Non = 2

38) Pendant quelle saison conduisez-vous ces animaux dans vos champs ? 4

Saison pluvieuse = 1 Saison sèche = 2 après la récolte = 3 Autres = 4 si autre préciser *toute l'année*

39) Pourquoi ? *Les bœufs doivent pour entrer dans la parcelle, ils aident pour la labour, ils aident à évacuer les résidus de la récolte.*

40) Certains paysans empruntent-ils vos animaux pour les amener dans leurs champs ? Oui = 1, Non = 2

41) Si oui, comment ce fait le prêt ? Gratuit = 1 Payant = 2

42) Si payant, comment se fait le paiement ? En nature = 1 En espèces = 2

43) Si en nature, comment s'effectue-t-il ?

44) Si en espèces, indiquez la somme (FCFA) ?

45) Si non, proposez-vous à d'autres personnes de conduire leurs animaux sur vos champs ? Oui = 1, Non = 2

46) Pourquoi ?

Rubrique 4 : Caractérisation des stratégies d'adaptation

47) Avez-vous remarqué que les saisons ont changée dans votre localité ? Oui = 1, Non = 2

48) Si oui, depuis combien d'années avez-vous fait ce constat ? 6

49) Selon vous quelles sont les causes de la variabilité climatique ? 2, 1 Déforestation = 1 Expansion de l'anacarde = 2 Agriculture itinérante = 3 Activités industrielles = 4 Exploitation minière = 5 Développement urbain = 6 Aucune idée = 7 Autres = 8 Si autres préciser

50) Quels sont les impacts de la variabilité climatique observés ? 1, 3, 5, 8
 Irrégularité des pluies = 1 Augmentation de la température = 2 Raccourcissement de la durée de la saison pluvieuse = 3 Prolongement de la sécheresse = 4 Fréquence inondation des cultures = 5 Agressivité des pluies = 6 Tarissement des marigots = 7 Prolifération des insectes nuisibles = 8 Autres = 9 Si autres précisez

51) Indiquer les durées des saisons (mois) avant le changement et maintenant ?

a) Saison pluvieuse : 4 b) Saison sèche : 8 Avant le changement observé
 a) Saison pluvieuse : 3 b) Saison sèche : 9 Maintenant

52) Quels sont les impacts de la variabilité climatique sur vos cultures ? *Pourriture des racines de plants, pourriture des tiges, inondation, pourriture de épis, baisse de rendement, modification du calendrier*

53) Donnez les dates (mois) de semis ?
 Avant le changement observé... *En avril* ... Maintenant... *Mai*

54) Comment évaluez-vous votre production agricole ces dernières années ? 1 Augmentation = 1 Diminution = 2 Stabilité = 3

55) Quels sont les impacts de la variabilité climatique sur les populations ? 1 Diminution des revenus = 1 Difficulté à traverser la période de soudure = 2 Endettement = 3 Changement d'activité = 4 Exode rural = 5 Délinquance et banditisme = 6 Autres = 7 si autres précisez

56) Certaines pratiques agricoles sont-elles nées avec l'effet de la variabilité climatique ? Oui = 1 Non = 2

57) Si oui, lesquelles ? *Utilisation de bovins, augmentation des surfaces de cultures.*

58) Certaines pratiques agricoles ont-elles disparu avec l'effet de la variabilité climatique ? Oui = 1 Non = 2

- 59) Si oui, lesquelles ? *utilisation des bords*
- 60) Quelles sont les techniques d'adaptation que vous utilisez sur le terrain pour éviter l'impact de la variabilité des saisons sur vos cultures? *Agropastoralisme, confection de la fumure organique, semence de cycle court, il a décalé la date de semis*
- 61) Avez-vous constaté une disparition d'espèces végétales dans la localité ? Oui = 1 Non = 2
- 62) Si oui, lesquelles ?
- Espèces végétales pour alimentation *Néré, zaban, barité*
- Espèces végétales médicinales *Non défini*
- Espèces végétales pour la construction *Non défini*
- Espèces végétales pour l'artisanat *''*
- 63) Selon vous, quelles sont les raisons de la disparition de ces espèces ? *La variabilité climatique, la déforestation, l'anacarde*
- 64) Quelle technique d'adaptation avez-vous élaboré pour corriger cela ? *Conservation dans les reliques de savane et la mise en jachère*
- 65) Pensez-vous que l'expansion de l'anacarde a eu un impact sur la biodiversité végétale ? Oui = 1 Non = 2
- 66) Si oui, selon vous quels sont les impacts observés sur la biodiversité végétale? *Certaines espèces ont disparu ou ont diminué fortement*
- 67) Quelles sont les espèces végétales locales les plus impactées par la culture de l'anacarde ? *Néré, barité, djarajiri, toni*
- 68) Quelles sont les techniques d'adaptation que vous utilisez sur le terrain pour éviter l'impact de l'expansion de l'anacarde? *Agropastoralisme, protection et entretien*
- 69) Quelles sont les principales spéculations que vous cultivez avant et que vous n'avez pas maintenant ?
- 70) Pourquoi vous ne cultivez plus ces spéculations ? *La culture du mil a été fortement impactée par les changements, elle ne revient plus bientôt*
- 71) Quelles sont les nouvelles spéculations que vous cultivez maintenant?
- 72) Existe-t-il des conflits dans la localité liés à l'instabilité climatique/l'expansion de l'anacarde? Oui = 1 Non = 2
- 73) Si oui, quelles en sont les causes ?

Annexe 2 : Modèle de fiche de relevés floristiques renseignée

FICHE DE RELEVÉS FLORISTIQUES

Numéro de la fiche : N° 101 Date : 17/10/2020 Département : Tengrela
 Village / Cpt : Tiengol Nom de l'exploitant : Camara Nour Contact :
 Numéro de la placette : P 101 Type d'occupation : Parc à kante (maïs) Age de la plantation anacarde :
 Nombre de pieds si anacardiers : Coordonnées Géographiques :

| Espèces (Nom vernaculaire/Scientifique) | Circonférence (Cm) | Hauteur (m) | Provenance de l'espèce | | Usages 1-Alimentation humaine 2-Alimentation animale 3- Bois de feu 4-Bois de construction 5- Pharmacopée 6- Cosmétique et esthétique 7- Autres Préciser |
|--|-----------------------|----------------|------------------------|--------------|---|
| | | | 1. Introduite | 2. Conservée | |
| Kante | 78 | 12 | 2 | | 1 |
| Néré | 20,8 | 4 | 2 | | 11 |
| 11 | 56 | 10 | 2 | | 11 |
| Kante | 20,4 | 5 | 1 | | 1 |
| 11 | 19 | 4 | 11 | | 11 |
| 11 | 28 | 7,5 | 11 | | 1 |
| 11 | 57 | 11 | 1 | | 11 |
| 11 | 46 | 11 | 11 | | 1 |
| 11 | 42 | 9 | 11 | | 11 |
| 11 | 50,4 | 10 | 11 | | 11 |
| 11 | 47,2 | 10 | 11 | | 11 |
| 11 | 35,2 | 10 | 11 | | 11 |
| Néré | 62 | 10 | 1 | | 11 |
| Kante | 12 | 2,5 | 1 | | 11 |
| 11 | 19 | 6 | 11 | | 11 |
| Kogevira | 17,7 | 4 | 11 | | 11 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

FICHE DE RELEVES FLORISTIQUES

Numéro de la fiche : N° 100 Date : 17/01/2010 Département : Tengrela
 Village / Cpt : Tzangoli Nom de l'exploitant : Camara Nowa Contact : 06711130
 Numéro de la placette : P.100 Type d'occupation : Anacardières Age de la plantation anacarde : 7ans +
 Nombre de pieds si anacardières : 54 Coordonnées Géographiques :

| Espèces (Nom vernaculaire/Scientifique) | Circonférence (Cm) | Hauteur (m) | Provenance de l'espèce | | Usages 1-Alimentation humaine 2-Alimentation animale 3- Bois de feu 4-Bois de construction 5- Pharmacopée 6- Cosmétique et esthétique 7- Autres Préciser |
|--|-----------------------|----------------|------------------------|--------------|---|
| | | | 1. Introduite | 2. Conservée | |
| Kante | 51 | 10 | 2 | | 1 |
| Nere | 49 | 8 | 2 | | 1 |
| Kante | 50 | 11 | 2 | | 1 |
| Nere | 55 | 8,5 | 2 | | 1 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

FICHE DE RELEVES FLORISTIQUES

Numéro de la fiche : N° 193 Date 17/10/20 Département Tengrela
 Village / Cpt : Triangoli Nom de l'exploitant Camara Nawa Contact
 Numéro de la placette P.10.2 Type d'occupation For/savane Age de la plantation anacarde
 Nombre de pieds si anacardiers Coordonnées Géographiques

| Espèces (Nom vernaculaire/Scientifique) | Circonférence (Cm) | Hauteur (m) | Provenance de l'espèce | | Usages 1-Alimentation humaine 2-Alimentation animale 3- Bois de feu 4-Bois de construction 5- Pharmacopée 6- Cosmétique et esthétique 7- Autres Préciser |
|--|-----------------------|----------------|------------------------|--------------|---|
| | | | 1. Introduite | 2. Conservée | |
| Néré | 31,1 | 14 | 2 | | 1 |
| | 34 | 12 | | | |
| Néré | 14 | 5 | | | |
| Karité | 62 | 24 | | | |
| Sidjan | 13 | 6 | | | |
| Néré | 19,3 | 7 | | | |
| Sidjan | 14,7 | 6 | | | |
| Barangaru | 23,2 | 7 | | | |
| Sidjan | 10 | 5 | | | |
| Shiro | 14,7 | 6 | | | |
| | 21 | 9 | | | |
| | 19 | 7 | | | |
| | 32,3 | 7 | | | |
| | 24,2 | 7 | | | |
| Sidjan | 17,2 | 6 | | | |
| Sidjan | 14 | 5 | | | |
| Sidjan | 29,4 | 4,5 | | | |
| Shiro | 27 | 10 | | | |
| | 20 | 7 | | | |
| Coqogini | 15 | 6 | | | |
| Shiro | 25 | 3,5 | | | |
| | 19,1 | 10 | | | |

Annexes

| | | | | |
|---------------|------|-----|----|----|
| Gnamafou | 16 | 64 | 11 | 1 |
| Sananyon | 16 | 8 | 11 | 11 |
| " | 17,4 | 7 | 11 | 11 |
| Gnamafou | 10 | 4 | 11 | 11 |
| Sananyon | 19 | 5,5 | 11 | 1 |
| " | 14 | 6 | 11 | 11 |
| Tatacounda | 17,2 | 7,5 | 11 | 11 |
| Shiwo | 14,1 | 8 | 11 | 11 |
| " | 14 | 10 | 11 | 11 |
| " | 19,7 | 8 | 11 | 11 |
| 17 | 17 | 10 | 11 | 11 |
| " | 20 | 10 | 11 | 11 |
| " | 16 | 12 | 11 | 11 |
| Nere | 33 | 14 | 11 | 11 |
| " | 38 | 12 | 11 | 11 |
| Shiwo | 22 | 8 | 11 | 11 |
| Sidjan | 12 | 4,5 | 11 | 11 |
| Soumou | 12,3 | 5 | 11 | 11 |
| " | 13 | 4,5 | 11 | 11 |
| " | 17,4 | 7,5 | 11 | 11 |
| Shiwo | 19,2 | 7 | 11 | 11 |
| " | 19 | 7 | 11 | 11 |
| Tatacounda | 18,2 | 6 | 11 | 11 |
| Gnamafou | 18,2 | 4 | 11 | 11 |
| Kante | 20 | 7,5 | 11 | 11 |
| Korokoro | 16,4 | 8 | 11 | 11 |
| " | 21 | 8 | 11 | 11 |
| Sidjan | 19 | 5 | 11 | 1 |
| Sanangui | 24,6 | 9 | 11 | 11 |
| Gnamafou | 15 | 6,5 | 11 | 11 |
| Sananyon | 16,5 | 6 | 11 | 11 |
| Gnamafou | 19,2 | 7 | 11 | 11 |
| " | 14,2 | 6 | 11 | 11 |
| " | 14,2 | 7 | 11 | 11 |
| Korokoro | 20,2 | 7 | 11 | 11 |

Annexe 3 : Vues des types d'occupation du sol discriminés dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire



1 : Savane arborée 2 : Savane arbustive 3 : Parc agroforestier à karité 4 : Forêt

Annexe 3 (suite)



5 : Plantation d'anacardiens 6 : Sol nu et habitation 7 : Cours d'eau 8 : Jachère

Annexe 3 (suite et fin)



9 : Zone brûlée

Annexes

Annexe 4 : Liste des espèces inventoriées dans les trois types d'occupation du sol inventoriés dans la zone d'étude

| Espèce (nom scientifique) | Famille | Type biologique | Affinité chorologique | Parcs agroforestiers | Savanes | Plantations d'anacardiens |
|---|----------------|-----------------|-----------------------|----------------------|---------|---------------------------|
| <i>Acacia dudgeonii</i> Holland | Fabaceae | mp | SZ | 3 | 60 | 9 |
| <i>Acacia seyal</i> Delile | Fabaceae | mp | SZ | | 3 | |
| <i>Acacia sieberiana</i> DC. | Fabaceae | mp | SZ | | 8 | |
| <i>Adansonia digitata</i> Linn. | Malvaceae | mP | GC-SZ | 2 | | 3 |
| <i>Azelia africana</i> Pers. | Fabaceae | mP | GC-SZ | 3 | 6 | |
| <i>Albizia ferruginea</i> (Guill. & Perr.) Benth. | Fabaceae | mP | GC-SZ | | 28 | |
| <i>Anacardium occidentale</i> L. | Anacardiaceae | mP | i | 3 | 7 | |
| <i>Annona senegalensis</i> Pers. | Annonaceae | np | SZ | | 71 | |
| <i>Anogeissus leiocarpus</i> (DC.) Guill. & Perr. | Combretaceae | mp | SZ | 1 | 153 | 2 |
| <i>Azadirachta indica</i> A. Juss. | Meliaceae | mp | PAN | 4 | 8 | 2 |
| <i>Bombax costatum</i> Pellegr. & Vuillet | Malvaceae | mp | SZ | 2 | 2 | |
| <i>Borassus aethiopum</i> Mart. | Arecaceae | MP | GC-SZ | 2 | | 2 |
| <i>Bridelia ferruginea</i> Benth. | Phyllanthaceae | mp | GC-SZ | | 8 | |
| <i>Bridelia micrantha</i> (Hochst.) Baill. | Phyllanthaceae | mp | GC | 1 | 11 | |
| <i>Burkea africana</i> Hook. | Fabaceae | mp | SZ | | 9 | |
| <i>Cassia sieberiana</i> DC. | Fabaceae | mp | GC-SZ | | 161 | |
| <i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn. | Malvaceae | MP | GC-SZ | | 3 | |
| <i>Citrus limon</i> (L.) Osbeck | Rutaceae | mp | i | 2 | | 1 |
| <i>Cola cordifolia</i> (Cav.) R. Br. | Malvaceae | MP | GC-SZ | 4 | 5 | 2 |
| <i>Combretum adenogonium</i> Steud. ex A. Rich | Combretaceae | mp | SZ | | 17 | |

Annexes

| | | | | | | |
|--|--------------|-----|-------|----|-----|---|
| <i>Combretum collinum</i> Fresen. | Combretaceae | mp | SZ | | 54 | |
| <i>Combretum glutinosum</i> Perr. ex DC. | Combretaceae | mp | SZ | 1 | 65 | |
| <i>Combretum molle</i> R. Br. ex G. Don | Combretaceae | mp | SZ | 1 | 1 | |
| <i>Combretum nigricans</i> var. <i>elliottii</i> (Engl. & Diels) Aubrév. | Combretaceae | mp | SZ | | 2 | |
| <i>Crossopteryx febrifuga</i> (Afzel. ex G. Don) Benth. | Rubiaceae | mp | GC-SZ | 3 | 18 | |
| <i>Cussonia arborea</i> Hochst. Ex A. Rich. | Araliaceae | mp | SZ | | 8 | |
| <i>Daniellia oliveri</i> (Rolfe) Hutch. & Dalziel | Fabaceae | mP | SZ | 22 | 106 | 4 |
| <i>Detarium senegalense</i> J.F. Gmel. | Fabaceae | mP | GC-SZ | 2 | 51 | |
| <i>Dichrostachys cinerea</i> (L.) Wight & Arn. | Fabaceae | mp | GC-SZ | | 6 | |
| <i>Diospyros mespiliformis</i> L. | Ebenaceae | mp | GC-SZ | 1 | 101 | |
| <i>Erythrina senegalensis</i> DC. | Fabaceae | mp | GC-SZ | 2 | 3 | 2 |
| <i>Faidherbia albida</i> (Delile) A.Chev. | Fabaceae | mP | SZ | | 1 | |
| <i>Ficus cordata</i> Thunb. | Moraceae | mp | SZ | | 2 | |
| <i>Ficus dekdekena</i> (Miq.) A. Rich. | Moraceae | mp | GC-SZ | | | 1 |
| <i>Ficus dicranostyla</i> Mildbr. | Moraceae | mp | SZ | 1 | | |
| <i>Ficus glumosa</i> Delile | Moraceae | mp | SZ | | 8 | |
| <i>Ficus platyphylla</i> Delile | Moraceae | mp | SZ | 7 | 9 | 2 |
| <i>Ficus sur</i> Forssk. | Moraceae | mp | GC-SZ | | 18 | |
| <i>Ficus sycomorus</i> L. | Moraceae | mp | SZ | 6 | 13 | 6 |
| <i>Flacourtia flavescens</i> Willd. | Salicaceae | mp | SZ | | 1 | |
| <i>Flacourtia indica</i> (Burm. f.) Merr. | Salicaceae | mp | SZ | | 3 | |
| <i>Gmelina arborea</i> (Roxb). | Lamiaceae | MP | i | | 1 | 1 |
| <i>Grewia flavescens</i> Juss. | Malvaceae | Lmp | SZ | | 1 | |

Annexes

| | | | | | | |
|---|------------------|-----|-------|-----|-----|----|
| <i>Guiera senegalensis</i> J..F. Gmel. | Combretaceae | mp | SZ | 1 | 43 | |
| <i>Gymnosporia senegalensis</i> (Lam.) Loes. | Celastraceae | mp | SZ | | 17 | |
| <i>Hexalobus monopetalus</i> (A. Rich.) Engl. & Diels | Annonaceae | mp | SZ | | 5 | |
| <i>Holarrhena floribunda</i> (G. Don) T.Durand & Schinz | Apocynaceae | mP | GC-SZ | | 31 | |
| <i>Hymenocardia acida</i> Tul. | Phyllanthaceae | mp | GC-SZ | | 5 | |
| <i>Isoberlinia doka</i> Craib & Stapf | Fabaceae | mp | SZ | 3 | 344 | 1 |
| <i>Khaya senegalensis</i> (Desr.) A. Juss. | Meliaceae | mP | SZ | 5 | 5 | |
| <i>Lannea acida</i> A. Rich. | Anacardiaceae | mp | GC-SZ | | 26 | 3 |
| <i>Lannea velutina</i> A. Rich | Anacardiaceae | mp | SZ | | 73 | 1 |
| <i>Lophira lanceolata</i> Tiegh. ex Keay | Ochnaceae | mP | SZ | | 12 | |
| <i>Mangifera indica</i> L. | Anacardiaceae | mP | GC-SZ | 5 | 1 | 13 |
| <i>Margaritaria discoidea</i> (Baill.) G.L. Webster | Euphorbiaceae | mp | GC-SZ | | 1 | |
| <i>Moringa oleifera</i> Lam. | Moringaceae | mp | GC-SZ | 6 | | |
| <i>Neocarya macrophylla</i> (Sabine) Prance ex F. White | Chrysobalanaceae | mp | SZ | | 70 | 1 |
| <i>Newbouldia laevis</i> (P. Beauv.) Seem. ex Bureau | Bignoniaceae | mp | GC | | 1 | |
| <i>Ochna schweinfurthiana</i> F. Hoffm. | Ochnaceae | np | SZ | | 6 | |
| <i>Opilia amentacea</i> Roxb. | Opiliaceae | Lmp | GC-SZ | | 8 | |
| <i>Ozora insignis</i> Delile subsp. Insignis | Anacardiaceae | mp | SZ | | 1 | |
| <i>Parinari curatellifolia</i> Planch. ex Benth. | Chrysobalanaceae | mp | SZ | | 3 | |
| <i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) R. Br. ex G. Don | Fabaceae | mp | SZ | 179 | 134 | 63 |
| <i>Pericopsis laxiflora</i> (Benth) Meeuv | Fabaceae | mp | SZ | 2 | 143 | |
| <i>Pericopsis laxiflora</i> (Benth. ex Baker) Meeuwen | Fabaceae | mp | SZ | 1 | 267 | 1 |
| <i>Piliostigma thonningii</i> (Schum.) Milne-Redh. | Fabaceae | mp | GC-SZ | 5 | 48 | 5 |

Annexes

| | | | | | | |
|---|----------------|-----|-------|-----|-----|-----|
| <i>Prosopis africana</i> (Guill. & Perr.) Taub. | Fabaceae | mp | SZ | | 6 | |
| <i>Pseudocedrela kotschy</i> (Schweinf.) Harms | Meliaceae | mp | SZ | | | 1 |
| <i>Psidium guajava</i> L. | Myrtaceae | mp | i | | 5 | |
| <i>Pteleopsis suberosa</i> Engl. & Diels | Combretaceae | mp | SZ | | 7 | 1 |
| <i>Pterocarpus erinaceus</i> Poir. | Fabaceae | mp | SZ | | 13 | |
| <i>Saba senegalensis</i> var. <i>glabriflora</i> (Hua) Pichon | Apocynaceae | Lmp | SZ | | 22 | |
| <i>Sarcocephalus latifolius</i> (Sm.) E. A. Bruce | Rubiaceae | Lmp | i | | 2 | |
| <i>Securidaca longepedunculata</i> Fresen. | Polygalaceae | mp | SZ | 9 | 3 | 4 |
| <i>Sterculia setigera</i> Delile | Malvaceae | mp | SZ | | 1 | |
| <i>Stereospermum kunthianum</i> Cham. | Bignoniaceae | mp | SZ | | 18 | |
| <i>Strychnos spinosa</i> Lam. | Loganiaceae | mp | SZ | | 3 | |
| <i>Syzygium guineense</i> (Willd.) DC. | Myrtaceae | mp | GC-SZ | 5 | 2 | 7 |
| <i>Tamarindus indica</i> L. | Fabaceae | mp | GC-SZ | 1 | | |
| <i>Tapinanthus pentagonia</i> (DC.) Tiegh. | Loranthaceae | | SZ | | 1 | |
| <i>Tectona grandis</i> L. f. | Lamiaceae | mP | i | | 8 | |
| <i>Terminalia albida</i> Scott Elliot | Combretaceae | mp | SZ | 2 | 382 | 1 |
| <i>Terminalia</i> L. | Combretaceae | mp | SZ | 2 | | |
| <i>Terminalia macroptera</i> Guill. & Perr. | Combretaceae | mp | SZ | | 7 | |
| <i>Trema orientalis</i> (L.) Blume | Cannabaceae | mp | GC-SZ | 1 | 0 | 0 |
| <i>Uapaca togoensis</i> Pax | Phyllanthaceae | mP | GC-SZ | | 7 | |
| <i>Vitellaria paradoxa</i> C. F. Gaertn. | Sapotaceae | mp | SZ | 644 | 140 | 199 |
| <i>Vitex doniana</i> sweet | Lamiaceae | mp | GC-SZ | 13 | 19 | 5 |
| <i>Vitex grandifolia</i> Gürke | Lamiaceae | mp | GC-SZ | | 4 | |

Annexes

| | | | | | | |
|--|----------|----|-------|---|----|---|
| <i>Zanthoxylum Zanthoxyloides</i> (Lam.) | Rutaceae | mp | GC-SZ | 1 | 79 | 3 |
|--|----------|----|-------|---|----|---|

mp : microphanérophytes, mP : mésophanérophytes, MP : mégaphanérophytes . GC : Guinéo-Congolaise (espèces forestières), GC-SZ : espèces des zones Guinéo-Congolaise et Soudano-Zambézienne (espèces de transition), SZ : espèces Soudano-Zambéziennes (espèces savaniques), I : espèces exotiques ou introduites. Lmp : Lianes microphanérophytes

PUBLICATIONS

1. Timité N., Koua K.A.N., Kouakou A.T.M. & Barima Y.S.S. (2023). Dynamiques spatio-temporelles des parcs agroforestiers dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire de 1990 à 2020 dans un contexte d'expansion de l'anacarde. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 17 (2): 484-504. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v17i2.16>

2. Timité N., Kouakou A.T.M., Bamba I., Barima Y.S.S. & Bogaert J. (2022.) Climate Variability in the Sudanian Zone of Côte d'Ivoire: Weather Observations, Perceptions, and Adaptation Strategies of Farmers. *Sustainability*, 14 (16): 10410. <https://doi.org/10.3390/su141610410>



Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Dynamiques spatio-temporelles des parcs agroforestiers dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire de 1990 à 2020 dans un contexte d'expansion de l'anacarde

Nakouana TIMITE*, Kadio Attey Noël KOUA, Akoua Tamia Madeleine KOUAKOU et Yao Sadaïou Sabas BARIMA

Université Jean Lorougnon Guédé, Unité de Formation et de Recherche en Environnement, BP 150 Daloa, Cote d'Ivoire.

* Auteur correspondant ; E-mail : nakouana.timite@ujlg.edu.ci / tinatimmite@gmail.com ;
Tel. : +225 0757647669/0555281165.

Received: 13-09-2022

Accepted: 07-02-2023

Published: 28-02-2023

RESUME

La zone soudanienne de la Côte d'Ivoire est dominée par les parcs agroforestiers caractérisés par les nombreux services écosystémiques fournis aux populations locales. Ces dernières années cependant, les populations s'intéressent de plus en plus à la mise en culture de l'anacarde. L'expansion de cette culture pourrait avoir un impact sur la dynamique des parcs agroforestiers existants. L'objectif de cette étude était de décrire les changements opérés par l'expansion de la culture de l'anacarde sur les parcs agroforestiers dans les départements de Tengréla et Ouangolodougou situés dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire de 1990 à 2020. La méthodologie a consisté au traitement des images satellitaires datant de 1990, 2000, 2010 et 2020, ainsi qu'à la validation des différentes cartes produites. Les résultats ont montré une hausse importante des superficies des plantations d'anacarde. A l'opposé, une forte régression des superficies des parcs agroforestiers a été constatée. Par ailleurs, l'établissement de la carte de changement a révélé que de 1990 à 2020, 3,93% et 5,32% de parcs agroforestiers sont devenus des anacardiens respectivement à Tengréla et Ouangolodougou. Malgré les nombreux services écosystémiques fournis par les parcs agroforestiers, ils sont menacés de disparition dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire.

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Dynamique, parcs agroforestiers, plantations d'anacardiens, savanes soudanienne.

Spatio-temporal dynamics of agroforestry parks in the Sudanian zone of Côte d'Ivoire from 1990 to 2020 in a context of cashew expansion

ABSTRACT

The Sudanian zone of Côte d'Ivoire is dominated by agroforestry parks characterized by the numerous ecosystem services they provide to local populations. However in recent years, populations have become increasingly interested in cashew cultivation. The expansion of this crop could have an impact on the dynamics of existing agroforestry parks. The objective of this study was to describe the changes brought about by the

expansion of cashew cultivation in the departments of Tengréla and Ouangolodougou located in the Sudanian zone of Côte d'Ivoire from 1990 to 2020. The methodology consisted of processing satellite images dating from 1990, 2000, 2010 and 2020, as well as validating the various maps produced. The results showed a significant increase in the area of cashew plantations. On the other hand, a strong regression of the areas of agroforestry parks was observed. Furthermore, the change map revealed that from 1990 to 2020, 3.93% and 5.32% of agroforestry parks became cashew trees in Tengréla and Ouangolodougou respectively. Despite the numerous ecosystem services provided by agroforestry parks, they are threatened with extinction in the Sudanian zone of Côte d'Ivoire.

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Vegetation dynamics, agroforestry parks, cashew plantations, Sudanian grasslands.

INTRODUCTION

Répandus dans toute la zone soudanienne d'Afrique subsaharienne, les parcs agroforestiers désignent les systèmes traditionnels d'exploitation des terres dans lesquels les végétaux ligneux pérennes, sont délibérément conservés en association avec les cultures (Louppe et Faidutti, 2000; Djossa et al., 2008). Dans ces systèmes, les espèces d'arbres et d'arbustes conservées par les paysans constituent une ressource essentielle depuis des générations pour la majorité des populations rurales et la conservation des espèces végétales de la savane soudanienne (Kaboré et al., 2012 ; Folega et al., 2019). Ces formations fournissent des produits ligneux et non ligneux, dont les ménages tirent une part essentielle pour leur sécurité alimentaire. Ils permettent d'obtenir en plus des produits agricoles, des produits forestiers comestibles, du bois d'énergie et de construction, du bois d'œuvre, du fourrage et des produits médicinaux Fifanou et al., 2011 ; Barmo et al., 2019). En outre, plusieurs études ont montré que les systèmes agroforestiers séquestrent plus ou moins le carbone selon leur niveau de complexité et contribuent ainsi à atténuer le changement climatique (Akwassi et al., 2020). Dans le nord de la Côte d'Ivoire particulièrement, les ressources ligneuses des parcs agroforestiers dominées par le karité et le néré (Diarrassouba et al., 2009) sont très utiles pour les communautés rurales notamment les femmes. Ces différentes ressources constituent une source importante de revenus pour ces femmes et sont utilisées à des fins de subsistance pour le ménage (Diarrassouba et al., 2009). L'importance des parcs

agroforestiers dans la durabilité des moyens de subsistance, en particulier ceux des groupes vulnérables de la société, est de plus en plus reconnue par les décideurs politiques et la communauté scientifique (Boffa, 2000; Faye et al., 2010; Mapongmetsem et al., 2011; Seghieri et Harmand, 2019). Tous ces avantages ont suscité un intérêt croissant pour la promotion de leur conservation et l'amélioration de leur gestion afin d'accroître leurs effets positifs pour les communautés rurales (Abegg et al., 2006; Ouoba et al., 2019). Cependant, malgré leur grande importance écologique, sociale et économique sur plusieurs générations, les parcs agroforestiers et les espèces végétales essentielles qui les constituent sont en voie de dégradation, voire de disparition. Cette dégradation revêt un caractère complexe où se mêlent diverses influences, notamment celles d'ordre anthropiques (Bengali, 2018). En effet, le changement des pratiques culturelles et l'occupation des espaces traditionnellement réservés aux parcs agroforestiers par des cultures annuelles possédant des retours économiques rapides ont une influence sur la dégradation des ressources naturelles des parcs agroforestiers (Louppe et Faidutti, 2000). Ainsi, introduite en Côte d'Ivoire dans les années 1960 par l'Etat ivoirien dans le cadre du plan de reboisement de la zone savanicole et de lutte contre l'érosion (Akpa, 2015), la culture de l'anacarde (*Anacardium occidentale L.*) s'est considérablement développée ces dernières années dans le pays, principalement dans l'extrême nord du pays, qui appartient à la zone soudanienne (Dugué et Koné, 2003). La production totale de noix de cajou en Côte d'Ivoire estimée à 6 300 tonnes en 1990 est

passée à 335 000 tonnes en 2008 puis à près de 700 000 tonnes depuis 2016 (Koné, 2010 ; Koulibaly et al., 2016), faisant de la Côte d'Ivoire le premier pays producteur mondial. Ainsi, les superficies des surfaces d'anacardières augmentent chaque année menaçant les écosystèmes naturels dédiés à la conservation de la biodiversité locale des zones nord du pays (Diarrassouba et al., 2009). L'hypothèse qui sous-tend cette étude stipule que l'extension des superficies des plantations d'anacarde dans la zone soudanienne a entraîné une transformation de la végétation originelle et une réduction de la superficie des parcs agroforestiers. Pour vérifier cette hypothèse, la présente étude s'est fixée pour objectif général de décrire les changements résultant de l'expansion de la culture de l'anacarde sur les parcs agroforestiers dans deux départements de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire à savoir Ouangolodougou et Tengréla. Il s'est agi de façon spécifique (1) d'établir les cartes d'occupation du sol des départements de Ouangolodougou et Tengréla de 1990, 2000, 2010 et 2020 et, (2) analyser la dynamique des types d'occupation du sol des départements de Tengréla et Ouangolodougou entre 1990-2000; 2000-2010 et 2010-2020.

MATERIEL ET METHODES

Description de la zone d'étude

La présente étude a été menée dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire située à l'extrême nord du pays entre 8°-10° N et 3°-6° O et appartenant à la zone tropicale sèche (Leguen et al., 2001) (Figure 1). La zone soudanienne est l'une des six zones phytogéographiques de la Côte d'Ivoire. Elle couvre environ 11% de la superficie totale de la Côte d'Ivoire (Minessudd, 2014). Sa végétation est une association de forêts claires et de savanes (Ouattara et al., 2016) se développant sur des sols ferrallitiques moyennement désaturés et moins développés. La pluviométrie dans cette zone est unimodale et est comprise entre 400 mm et 1200 mm par an. Elle subit également l'influence continentale de l'harmattan (Boko et al., 2016) et est caractérisée par un déficit hydrique

supérieur à 500 mm du fait d'une évapotranspiration plus élevée. En outre, elle est soumise à une température variant de 14 à 33°C avec une faible humidité (60% à 70%) (Soro et al., 2011; MINEDD, 2020). Dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire, deux départements à savoir Tengréla (situé entre 10°29 '13 " N et 6°22 '48 " O) et Ouangolodougou (situé entre 9°58 '00 " N et 5°09 '00 " O) ont été choisis comme sites d'étude. Ces départements ont été choisis car ils reflètent le mieux le contexte de l'étude. D'abord la principale activité des populations de ces départements est l'agriculture. Ensuite, on trouve dans ces deux départements, de vastes parcs agroforestiers principalement à karité et néré dans lesquels sont installées chaque année les cultures annuelles telles que le maïs, le riz, le mil, le sorgho, etc. (Timité et al., 2022). Le coton constitue traditionnellement, la principale culture commerciale des agriculteurs de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire (Bassett, 2017; Soumaré et al., 2020).

Collecte de données

La présente étude a nécessité l'utilisation de six (6) images satellitaires (Tableau I). L'étude a été réalisée sur trois périodes pour chacun des sites d'études à savoir l'année 1990, année à laquelle les populations ont commencé à avoir un engouement pour la culture de l'anacarde à cause des revenus générés, ensuite l'année 2000 qui marque la période à laquelle le prix d'achat de l'anacarde a connu une hausse (Bassett, 2017 ; Ruf et Koné, 2019). Puis l'année 2010, la date à laquelle la Côte d'Ivoire est devenu le deuxième pays exportateur mondial d'anacarde, aussi le prix d'achat de l'anacarde a connu une hausse à cette date (Bassett, 2017 ; Ruf & Koné, 2019). Enfin, l'année 2020, date à laquelle les missions de terrain dans la zone ont été effectuées. Les images utilisées dans cette étude ont toutes été prises pendant la saison sèche parce que durant cette période, les taux de nébulosité et de couverture nuageuse sont les plus faibles de l'année. Par ailleurs, utiliser des images de la

même saison dans une étude des changements contribue à diminuer les effets saisonniers (Koua et al., 2020).

Cartographie des types d'occupation du sol de 1990 à 2020

L'étude de la dynamique spatio-temporelle des parcs agroforestiers dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire a débuté par l'élaboration des cartes d'occupation du sol des deux sites d'étude. Pour chacune des images, après extraction de la zone d'étude de la grande scène, des compositions colorées ont été effectuées à partir de la combinaison des bandes OLI 5/7/4 et TM/ETM+ 4/7/3, correspondant respectivement aux bandes spectrales du proche-infrarouge, du moyen infrarouge et du rouge. Aux différentes compositions colorées, le calcul de l'Indice de Végétation Ajustée au Sol (Soil Adjusted Vegetation Index, SAVI) et l'analyse en composantes principales (ACP) ont été effectués (Douffi et al., 2020). Sur la base des compositions colorées, 240 points ont été sélectionnés sur les images en fonction de leur teinte et leurs coordonnées géographiques notées. Des missions sur le terrain ont été effectuées afin de déterminer les types correspondants aux zones repérées sur les compositions colorées. Ces différentes zones correspondantes aux formations végétales ont été décrites sur le terrain à partir de critères physiologiques tels que la stratification, la structure et les espèces végétales dominantes (Koua, 2021).

À l'issue de la mission de terrain, sur la base de la similitude des teintes, et donc des réflectances, les 240 points repérés initialement ont été regroupés en des types d'occupations du sol. Une classification supervisée à partir de l'algorithme du maximum de vraisemblance a été réalisée à partir de des différents types (Salomon et al., 2021). Ensuite, la qualité des classifications a été évaluée à travers l'établissement de la matrice de confusion (Oszwald, 2005 ; Foody, 2002). Cette matrice indique la précision globale et le coefficient de Kappa. Une classification est acceptée lorsque le coefficient de Kappa est supérieur à 0,61 (Land et Koch, 1977). Toutes ces différentes

étapes ont été exécutées à l'aide du logiciel de télédétection Envi 4.7.

Analyse de la dynamique des trajectoires des changements intervenus au niveau des différents types d'occupation du sol de 1990 à 2020

Dans la présente étude, l'analyse de l'évolution spatio-temporelle des types d'occupation du sol s'est intéressée à la répartition quantitative des différents types d'occupation du sol pour chaque année (1990, 2000, 2010 et 2020), puis à leur évolution sur les 30 années que couvrent les images. Ainsi, l'évolution spatio-temporelle de chaque classe d'occupation du sol a été évaluée à travers la détermination des superficies des différentes types d'occupation du sol sur les images traitées pour les dates de prises de vue (Noyola et al., 2003 ; Kpedenou et al., 2016). Ainsi, à partir des valeurs de superficies des types d'occupation du sol, des histogrammes ont été établis. Pour évaluer globalement les gains et les pertes sur la période considérée, les taux de changement globaux (Tg) des superficies ont été calculées entre 1990 et 2020 sur base de la formule couramment employée par (Soro et al., 2014 ; Agbanou et al., 2019).

$$Tg = \frac{(S2-S1)}{S1} * 100$$

Tg représente le taux de changement global. Il exprime la proportion d'une unité d'occupation qui change au cours d'une période donnée ou entre deux dates. $S1$ représente la surface d'une classe à la date $t1$; $S2$ la superficie de la même classe d'unité de surface à la date $t2$. Par ailleurs, le taux moyen annuel d'expansion (Tc) a été calculé. Il définit la proportion de chaque unité qui a changé au cours d'une année et est évalué suivant la formule utilisée par (Oloukoi et al., 2006 ; Schulz et al., 2010) :

$$Tc = \frac{(\ln S2 - \ln S1)}{(t2 - t1) * \ln e} * 100$$

Avec $S1$ la surface d'une classe d'unité de surface à la date $t1$; $S2$ la superficie de la même classe d'unité de surface à la date $t2$, $t2 - t1$ étant le nombre d'années d'évolution, \ln le logarithme népérien et e la base des logarithmes népériens ($e = 2,71828$). Les valeurs positives représentent une progression de la superficie de la classe pendant la période

analysée tandis que les valeurs négatives indiquent la perte de la superficie d'une classe entre les deux dates. Quant aux valeurs proches de zéro, elles expriment une relative stabilité de la classe sur les deux périodes (Kpedenou et al., 2016 ; Kpedenou et al., 2018).

Par la suite, la matrice de transition qui permet de mettre en évidence les différentes formes de conversion subites par les unités d'occupation entre deux dates t1 et t2 (Schlaepfer et al., 2002) a été établie. La matrice de transition a été obtenue par l'union des cartes d'occupation du sol deux à deux entre 1990 et 2020 sous ArcGIS.10.1. Elle tient

uniquement compte des états des éléments aux temps initial et final (Samb et al., 2018 ; Zakari et al., 2018). Dans ce travail, trois matrices de transition ont été réalisées pour chacun des départements à savoir celles de 1990 à 2000, de 2000 à 2010 et de 2010 à 2020. Enfin, les cartes de changement des parcs agroforestiers en plantations d'anacarde sur la période 1990-2020 ont été produites. Elles ont été obtenues suite à la combinaison des deux images des deux dates concernées à savoir 1990 (t1) et 2020 (t2) grâce à l'algorithme « Union polygons » de l'extension Geoprocessing sous ArcGIS 10.1.

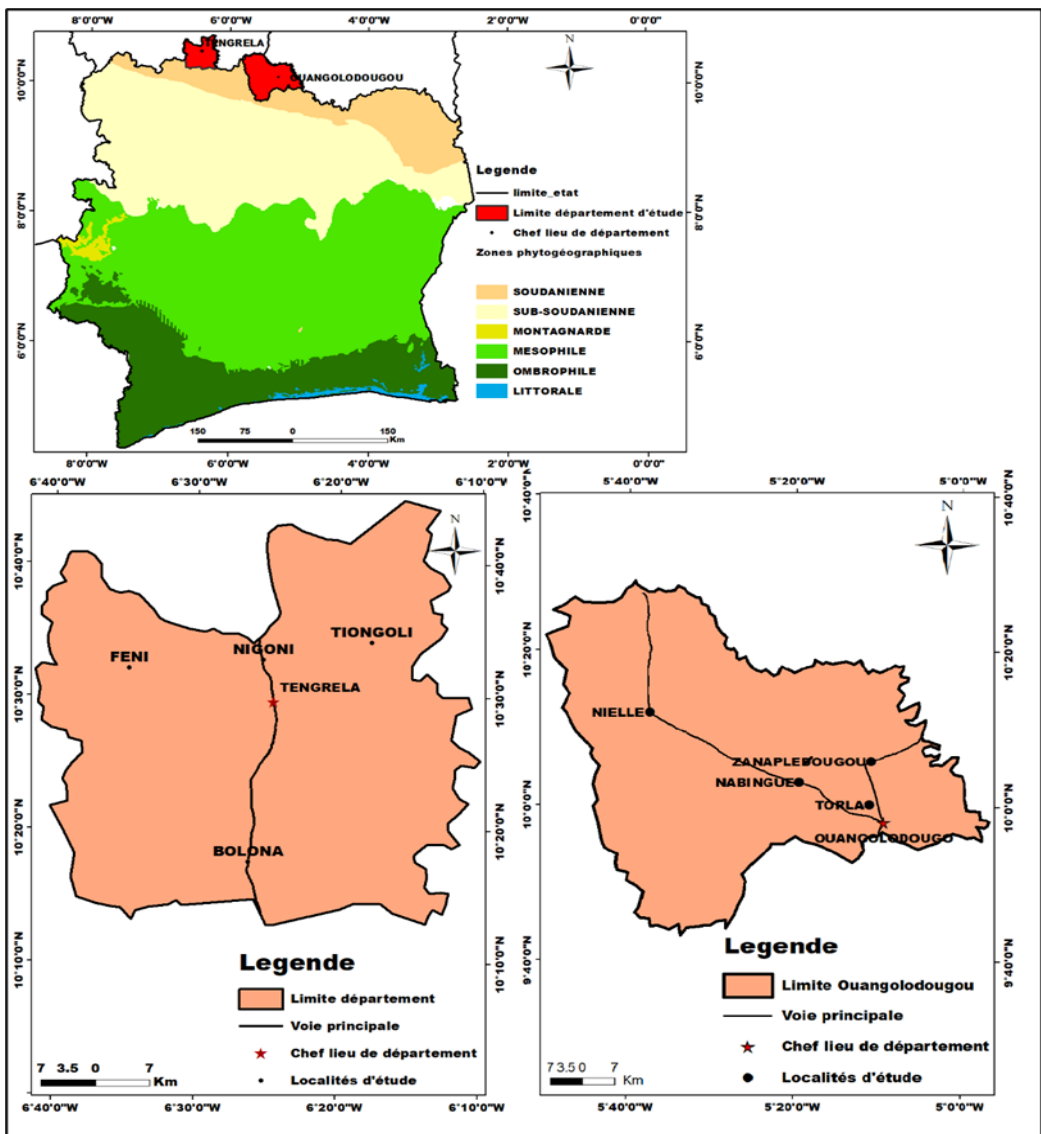


Figure 1: Localisation des sites de l'étude.

Tableau 1: Caractéristiques des images utilisées.

| Sites | Date d'acquisition | Capteurs | Résolution spatiale (m) |
|----------------|--------------------|----------|-------------------------|
| Ouangolodougou | 29/12/1990 | TM | 30 |
| | 16/12/2000 | ETM+ | 30 |
| | 04/12/2010 | TM | 30 |
| | 31/12/2020 | OLI | 30 |
| Tengréla | 04/12/1990 | TM | 30 |
| | 23/12/2000 | ETM+ | 30 |
| | 11/12/2010 | TM | 30 |
| | 10/12/2020 | OLI | 30 |

RESULTATS

Cartographie et dynamique spatiotemporelle des types d'occupation du sol dans les départements de Tengréla et Ouangolodougou entre 1990 et 2020

Les Figures 2 et 3 présentent les cartes d'occupation des sols dans les départements de Tengréla et d'Ouangolodougou de 1990, 2000, 2010 et 2020. Au total neuf (09) types d'occupation du sol ont été cartographiés dans les deux départements. Il s'agit des savanes boisées et arborées, des savanes arbustives, des parcs agroforestiers, des plantations d'anacarde, des sols nus/habitations/savanes herbeuses, des cours d'eau, des jachères et des zones brûlées. Les parcs agroforestiers englobent les espaces agricoles à dominance de néré et karité bien délimités auxquels les populations associent des cultures vivrières annuelles chaque année. Les sols nus/habitations regroupent les villes et villages ainsi que les affleurements rocheux. Les jachères sont des anciennes parcelles de cultures.

L'analyse des cartes montre que de 1990 à 2020, les superficies des différentes

formations végétales des deux départements ont connu des dynamiques spatiales importantes (Figure 4 et 5). En effet en 1990, la classe parcs agroforestiers constituait 50,34% et 34,41% du paysage respectivement de Tengréla et Ouangolodougou. Les savanes arborées occupaient 19,17% et 19,08% du paysage de Tengréla et Ouangolodougou. Quant aux savanes arbustives, elles occupaient 15,69% et 35,90% du paysage respectivement de Tengréla et Ouangolodougou. Puis on a les forêts avec 6,63% du paysage de Tengréla et 3,27% de celui de Ouangolodougou. En 1990, très peu de plantations d'anacarde existaient dans les deux départements. Enfin les zones brûlées occupaient 6,98% du paysage de Ouangolodougou et 5,14% du paysage de Tengréla

En 2000, les superficies des parcs agroforestiers ont connu une légère diminution, occupant désormais 48,03% et 33,49% du paysage de Tengréla et de Ouangolodougou. Les savanes arbustives occupaient à cette date 20,13% du paysage de Tengréla et 22,82% de celui de Ouangolodougou. Quant aux savanes arborées, elles occupaient 36,29% du paysage

d'Ouangolodougou et 15,18% de celui de Tengréla. La classe forêt occupe à cette date 1,81% du paysage de Tengréla et 2,11% d'Ouangolodougou. On note ainsi une diminution de la classe forêt. Pour l'année 2000, on note une légère augmentation de la superficie des plantations d'anacarde à Tengréla avec 1,02% et à Ouangolodougou avec 0,2%. La superficie des zones brûlées est passée à 1,81% à Tengréla et 1,55% à Ouangolodougou.

En 2010, la superficie des savanes arbustives a connu une augmentation passant de 15,69% en 1990 à 32,34% en 2010 à Tengréla et de 35,90% en 1990 à 52,50% en 2010 à Ouangolodougou. Parallèlement, on note une augmentation de la superficie des plantations d'anacarde. De 1,02% et 0,2% en l'an 2000, leur superficie est passée à 6,71% et 3,65% respectivement pour Tengréla et Ouangolodougou. À l'opposé, on note une régression des superficies des parcs agroforestiers dans les deux départements passant de 48,03% en 2000 à 42,61% en 2010 dans le département de Tengréla et de 33,49% en 2000 à 30,62% en 2010 à Ouangolodougou. A cette date, on note également une régression notable de la classe forêt et celle des savanes arborées.

En 2020, les deux départements sont dominés par la classe savane. Les savanes (savanes arborées et arbustives) occupent désormais des proportions de 67,17% à Ouangolodougou et 46,16% à Tengréla. Toutefois, on note une hausse des superficies des savanes arbustives et une régression de celle des savanes arborées. L'un des changements le plus remarquable en 2020 est noté au niveau de la classe plantation d'anacarde. Leur superficie est passée de 0,00% en 1990 à 14,39% en 2020 à Tengréla et de 0,09% en 1990 à 11,64% en 2020 à Ouangolodougou. Quant aux parcs agroforestiers, leur superficie a fortement diminué passant de 50,34% en 1990 à 19,73% en 2020 à Tengréla et de 34,41% en 1990 à

18,16% à Ouangolodougou. La classe forêt a quasiment disparu en 2020 laissant place à quelques îlots forestiers. Elle ne couvre à cette date que 2,36% du paysage de Tengréla et 0,89% du paysage d'Ouangolodougou. Enfin de 5,14% et 6,98%, les proportions de zone brûlées sont passées à 3,19% et 0,54% respectivement à Tengréla et Ouangolodougou.

Tendances de l'évolution des superficies des types d'occupation du sol de 1990 à 2020

Le taux de changement global et annuel est illustré dans les tableaux 2 et 3. Sur les neuf types d'occupation des sols, quatre ont connu des taux de changements positifs à savoir les plantations d'anacarde, les savanes arbustives, les cours d'eau et les sols nus et habitations. Au cours des trente années, les plantations d'anacarde ont eu le taux de changement global et annuel positif le plus élevé dans les deux départements. En effet, les plantations d'anacarde ont connu un taux de changement global de +11854,96% et de +24673,47% respectivement pour Ouangolodougou et Tengréla. Quant à leur taux de changement annuel, il était de +18,37% à Tengréla et +15,95% à Ouangolodougou.

À l'opposé, les parcs agroforestiers, ont connu un taux de changement global de -60,80% et de -47,22% et un taux de changement annuel de -3,12% et -2,13% respectivement pour Tengréla et Ouangolodougou. Quant aux forêts, elles ont connu un taux de changement global de -64,45% et -72,59% et un taux de changement annuel de -3,45% et de -4,31% respectivement pour Tengréla et Ouangolodougou. Quant aux savanes arborées, elles ont connu un taux de changement global de -44,01% et un taux de changement annuel de -1,93% à Ouangolodougou et un taux de changement global de -67,83% et un taux de changement annuel de -3,78% à Tengréla.

Transferts d'occupation du sol de 1990 à 2020

Les changements intervenus dans les différents types d'occupation du sol sont illustrés par les matrices de transition (Tableau 4 et 5). Entre 1990 et 2000, le type d'occupation cours d'eau est celui qui est resté le plus stables avec 90,40% à Tengréla et 95,01% à Ouangolodougou. Hormis cette classe, on note une forte conversion des différents types d'occupation en d'autres types. Ainsi, la majorité des types d'occupation se sont convertis en savanes (arborées et arbustives) et en parcs agroforestiers. Pour ce qui est du type parcs agroforestiers, 59,88% et 51,58% de leur superficie sont restés stables, 16,68% et 19,55% se sont convertis en savane arbustive, 5,90% et 22,95% ont été convertis en savanes arborées respectivement à Tengréla et Ouangolodougou. Au cours de cette période, très peu de parcs agroforestiers (1,20% et 0,14%) ont été convertis en plantations d'anacarde. Aussi, seulement 21,26% et 27,72% des superficies des forêts sont restés stables en 1990, 35,67% et 48,91% se sont converties en savanes arborées dans les deux départements.

Entre 2000 et 2010, les types d'occupations les plus stables à Tengréla ont été les forêts (47,33 %), les parcs agroforestiers (56,49%) et les savanes arbustives (47,81%). A Ouangolodougou, les parcs agroforestiers (54,24%), les plantations d'anacarde (66,18%) et les savanes arbustives (69,41%) ont été les plus stables. Les autres types d'occupations se sont convertis en savanes arbustives et parcs agroforestiers. Au cours de cette période ce sont 5,25% et 1,67% des parcs agroforestiers ont été convertis en plantation d'anacarde

respectivement à Ouangolodougou et Tengréla. Entre 2010 et 2020, les types les plus stables ont été les plantations d'anacarde (41,06%), les forêts (55,96%), les savanes arbustives (44,98%), les cours d'eau (96,40%) et les sols nus et habitations (62,28%) dans le département de Ouangolodougou. A Tengréla ce sont les cours d'eau (77,73%) et les savanes arbustives (62,91%) qui ont été les plus stables. Au cours de la période 2010 à 2020, la plupart des types d'occupation se sont convertis en savanes arbustives dans les deux départements. En outre, la plus grande conversion des parcs agroforestiers en plantation d'anacardiers a eu lieu au cours de la période 2010-2020 dans les deux départements dont 12,24% à Tengréla et 12,07% à Ouangolodougou.

La carte de changement des parcs agroforestiers dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire pour la période 1990-2020 (Figure 6) révèle les différentes mutations subies par les parcs agroforestiers entre 1990 et 2020. Ainsi, les parcs agroforestiers devenus Anacardiers couvre 16 575,21 ha (3,93 %) et 19 901,88 ha (5,32%) respectivement à Tengréla et Ouangolodougou (Tableau 6). Les parcs agroforestiers restés stables sont estimés à 25086, 06 ha à Tengréla et 34 813,26 ha à Ouangolodougou. Á Tengréla, les parcs agroforestiers convertis en plantation d'anacardiers sont localisés dans la partie centre et sud du département. Les parcs agroforestiers restés stables sont situés à l'extrême Nord autour des localités de Nigouni et Tengréla. Á Ouangolodougou les parcs agroforestiers convertis en anacardiers sont concentrés au nord et à l'est du département. Les parcs agroforestiers restés stables se situent dans la partie sud-est et nord-est.

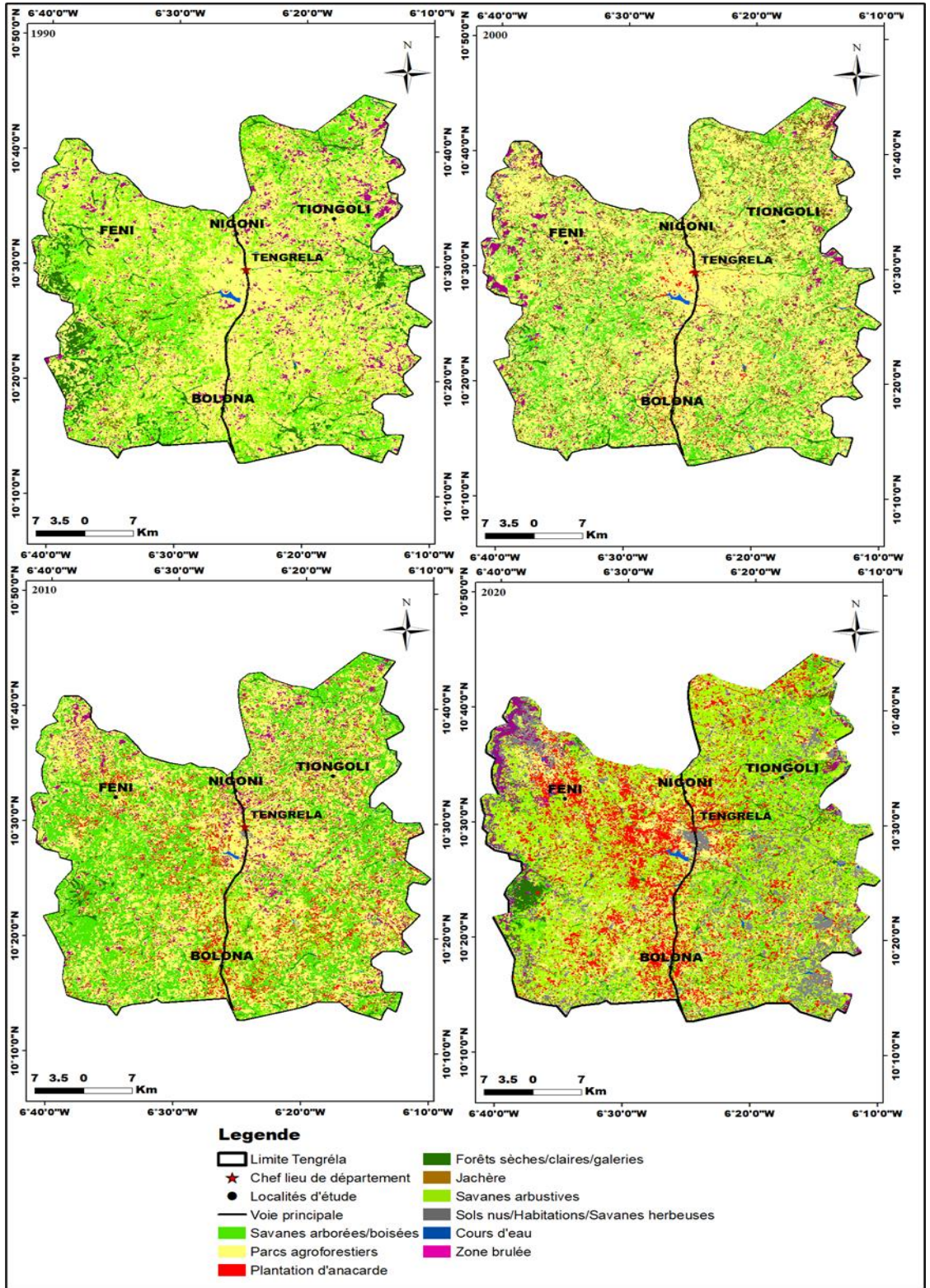


Figure 2: Cartes des types d'occupation du sol de Tengrela de 1990, 2000, 2010 et 2020.

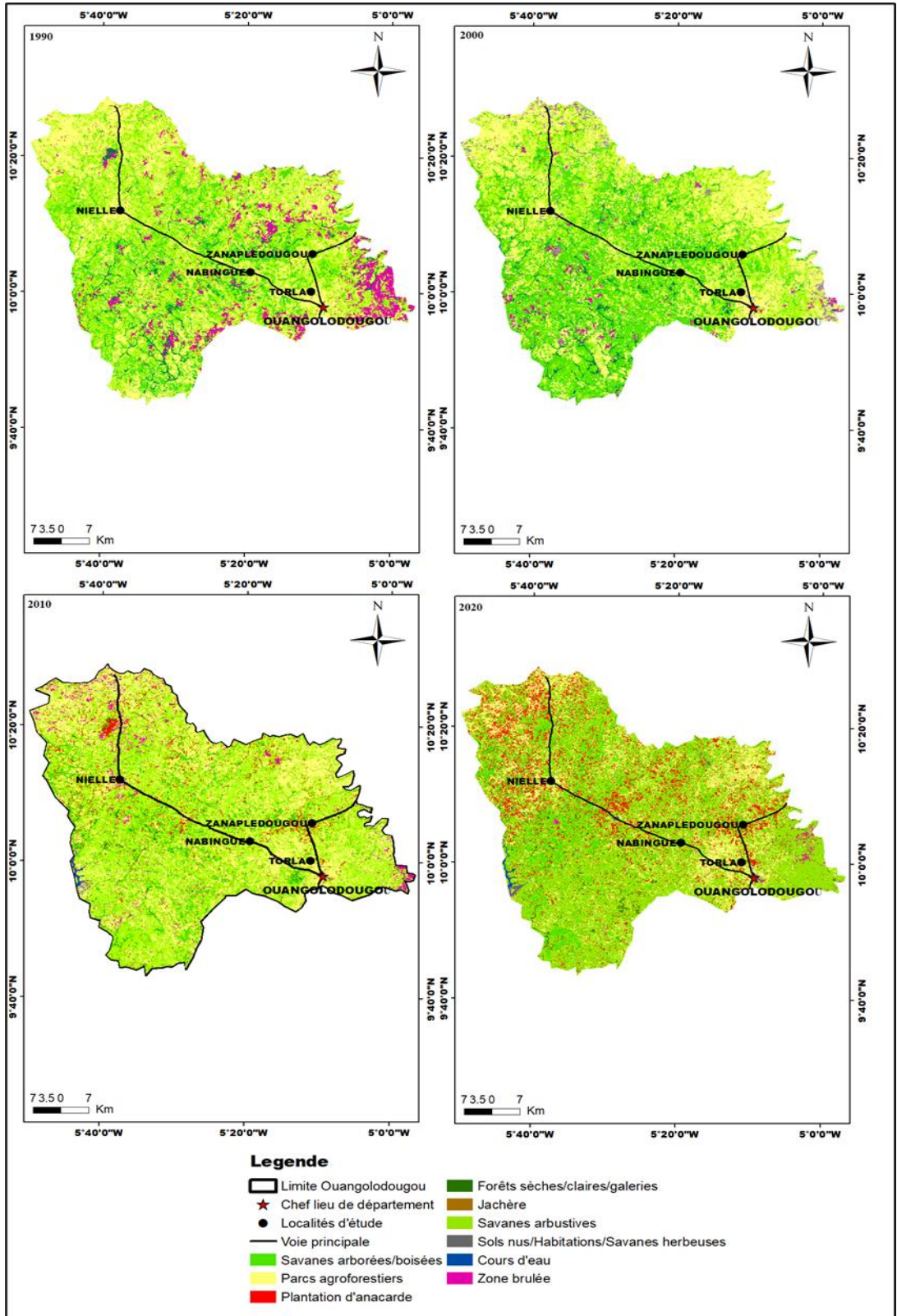


Figure 3: Cartes des types d'occupation du sol d'Ouangolodougou en 1990, 2000, 2010 et 2020.

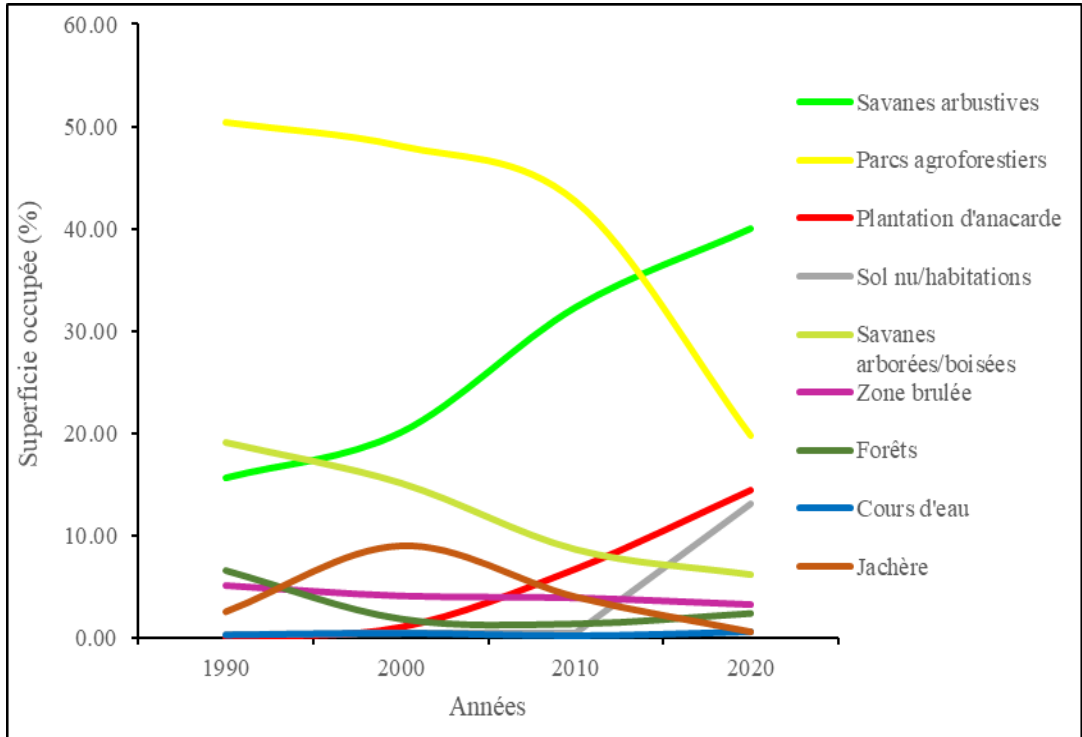


Figure 4: Répartition des types d'occupation du sol dans le département de Tengréla en 1990, 2000, 2010 et 2020.

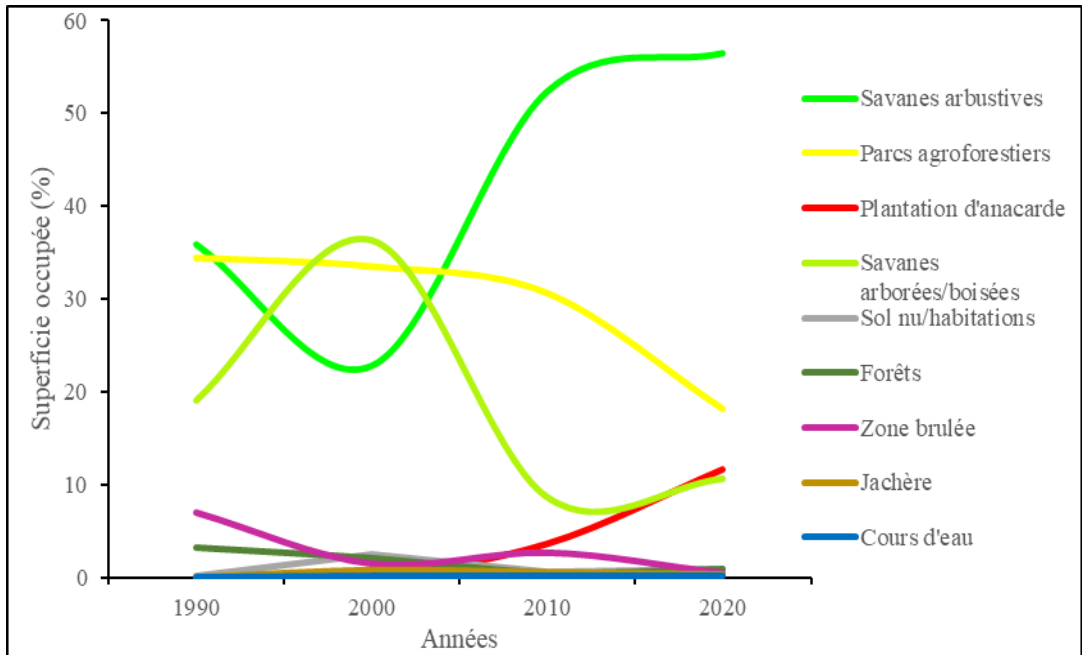


Figure 5: Répartition des types d'occupation du sol dans le département d'Ouangolodougou en 1990, 2000, 2010 et 2020.

Tableau 2: Taux de changement des différents types d'occupation du sol du département de Tengréla.

| Types d'occupation du sol | Superficie (ha) | | | | Taux de changement 1990-2020 (%) | |
|---------------------------|-----------------|-----------|----------|----------|----------------------------------|-------------|
| | 1990 | 2000 | 2010 | 2020 | Taux global | Taux annuel |
| Cours d'eau | 510,12 | 915,39 | 343,80 | 1240,92 | 143,26 | 2,96 |
| Forêts | 15414,39 | 4204,80 | 3043,08 | 5480,55 | -64,45 | -3,45 |
| Jachère | 5806,71 | 20786,04 | 9182,43 | 1239,12 | -78,66 | -5,15 |
| Parcs agroforestiers | 117016,65 | 111633,93 | 99054,45 | 45869,85 | -60,80 | -3,12 |
| Plantation d'anacarde | 135 | 2382,21 | 15599,79 | 33444,18 | 24673,47 | 18,37 |
| Savanes arborées/boisées | 44549,46 | 35288,01 | 20078,73 | 14333,40 | -67,83 | -3,78 |
| Savanes arbustives | 36480,42 | 46790,19 | 75170,25 | 92963,52 | 154,83 | 3,12 |
| Sol nu/habitations | 704,43 | 943,29 | 951,93 | 30486,69 | 4227,85 | 12,56 |
| Zone brûlée | 11954,70 | 9487,17 | 9026,55 | 7405,56 | -38,05 | -1,60 |

Tableau 3: Taux de changement des différents types d'occupation du sol du département d'Ouangolodougou de 1990 à 2020.

| Types d'occupation du sol | Superficie (ha) | | | | Taux de changement 1990-2020 (%) | |
|---------------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|----------------------------------|-------------|
| | 1990 | 2000 | 2010 | 2020 | Taux globale | Taux annuel |
| Cours d'eau | 248,85 | 1137,42 | 1015,11 | 1020,87 | 310,24 | 4,71 |
| Forêts | 14358,60 | 9283,32 | 2164,05 | 3935,79 | -72,59 | -4,31 |
| Jachère | 197,46 | 3398,76 | 2339,37 | 1461,60 | 640,20 | 6,67 |
| Parcs agroforestiers | 150962,13 | 146901,87 | 134333,91 | 79682,67 | -47,22 | -2,13 |
| Plantation d'anacarde | 427,41 | 910,71 | 16033,50 | 51096,69 | 11854,96 | 15,95 |
| Savanes arborées/boisées | 83693,16 | 159205,32 | 38161,71 | 46862,19 | -44,01 | -1,93 |
| Savanes arbustives | 157484,52 | 100094,22 | 229713,75 | 247808,61 | 57,35 | 1,51 |
| Sol nu/habitations | 605,16 | 10830,87 | 2844,54 | 4348,89 | 618,63 | 6,57 |
| Zone brûlée | 30627,54 | 6826,41 | 11990,88 | 2385,18 | -92,21 | -8,51 |

Tableau 4: Matrice de transition des types d'occupation du sol du département de Tengréla au cours des décennies 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2020.

| | CE | F | J | P Ag | P A | S Ab | S arb | S n | Z B |
|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| 1990-2000 | | | | | | | | | |
| CE | 90,40 | 0,58 | 0,14 | 4,83 | 0,71 | 1,61 | 1,15 | 0,00 | 0,58 |
| F | 1,85 | 21,26 | 2,07 | 21,75 | 1,39 | 35,67 | 12,27 | 0,04 | 3,70 |
| J | 0,07 | 0,25 | 10,16 | 38,22 | 1,39 | 20,90 | 26,73 | 0,12 | 2,17 |
| P Ag | 0,07 | 0,17 | 10,83 | 59,88 | 1,20 | 5,90 | 16,68 | 0,60 | 4,66 |
| P A | 0,00 | 0,00 | 13,33 | 73,33 | 0,00 | 0,00 | 13,33 | 0,00 | 0,00 |
| S Ab | 0,12 | 1,50 | 4,09 | 30,60 | 0,88 | 35,80 | 24,38 | 0,11 | 2,52 |
| S arb | 0,07 | 0,09 | 10,11 | 39,11 | 0,71 | 15,01 | 31,75 | 0,11 | 3,03 |
| S n | 0,00 | 0,00 | 2,73 | 77,00 | 0,87 | 0,66 | 0,79 | 11,64 | 6,30 |
| Z B | 0,01 | 0,04 | 14,04 | 62,97 | 0,17 | 1,97 | 11,54 | 0,45 | 8,82 |

| | CE | F | J | P Ag | PA | S Ab | S arb | S n | Z B |
|-----------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| 2000-2010 | | | | | | | | | |
| CE | 32,82 | 14,57 | 0,07 | 38,96 | 2,79 | 0,03 | 10,76 | 0,00 | 0,00 |
| F | 0,42 | 47,33 | 0,32 | 7,49 | 4,21 | 0,34 | 39,82 | 0,03 | 0,04 |
| J | 0,00 | 0,01 | 6,60 | 42,24 | 6,27 | 13,11 | 30,46 | 0,08 | 1,22 |
| P Ag | 0,01 | 0,08 | 3,63 | 56,49 | 5,25 | 9,93 | 17,46 | 0,65 | 6,49 |
| PA | 0,13 | 0,89 | 14,42 | 0,87 | 48,43 | 7,69 | 27,46 | 0,05 | 0,06 |
| S Ab | 0,03 | 1,99 | 2,31 | 21,17 | 7,48 | 5,07 | 61,52 | 0,06 | 0,37 |
| S arb | 0,01 | 0,20 | 5,38 | 29,35 | 8,70 | 7,88 | 47,81 | 0,07 | 0,62 |
| S n | 0,00 | 0,00 | 0,46 | 63,09 | 2,26 | 1,09 | 2,59 | 14,81 | 15,71 |
| Z B | 0,01 | 0,12 | 4,07 | 46,33 | 3,63 | 6,14 | 29,43 | 0,19 | 10,07 |
| 2010-2020 | | | | | | | | | |
| CE | 96,40 | 1,11 | 0,00 | 1,75 | 0,19 | 0,08 | 0,16 | 0,13 | 0,19 |
| F | 5,59 | 55,96 | 0,22 | 4,05 | 9,75 | 6,75 | 13,71 | 1,75 | 2,22 |
| J | 0,03 | 0,54 | 0,49 | 12,59 | 10,01 | 11,27 | 52,34 | 9,92 | 2,80 |
| P Ag | 0,50 | 0,28 | 0,49 | 25,53 | 12,07 | 2,25 | 37,41 | 17,76 | 3,70 |
| PA | 0,30 | 1,24 | 31,12 | 7,91 | 41,06 | 11,48 | 0,06 | 6,44 | 0,41 |
| S Ab | 0,01 | 0,03 | 0,26 | 22,44 | 19,03 | 4,32 | 46,44 | 6,93 | 0,54 |
| S arb | 0,20 | 4,34 | 0,72 | 14,68 | 13,09 | 11,59 | 44,98 | 7,07 | 3,33 |
| S n | 0,08 | 0,00 | 0,03 | 21,35 | 3,80 | 0,25 | 9,53 | 62,28 | 2,68 |
| Z B | 0,00 | 0,01 | 0,45 | 20,32 | 3,44 | 0,97 | 28,83 | 39,42 | 6,56 |

Tableau 5: Matrice de transition des types d'occupation du sol du département d'Ouangolodougou au cours des décennies 1990-2000, 2000-2010 et 2010-2020.

| | CE | F | J | P Ag | PA | S Ab | S arb | S n | Z B |
|-----------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1990-2000 | | | | | | | | | |
| CE | 95,01 | 0,80 | 0,00 | 1,12 | 0,87 | 1,27 | 0,94 | 0,00 | 0,00 |
| F | 2,41 | 27,72 | 0,40 | 8,51 | 0,23 | 48,91 | 10,86 | 0,23 | 0,72 |
| J | 0,41 | 0,59 | 2,60 | 18,74 | 0,32 | 53,81 | 22,30 | 0,32 | 0,91 |
| P Ag | 0,13 | 0,06 | 0,54 | 51,58 | 0,14 | 22,95 | 19,55 | 3,69 | 1,36 |
| PA | 6,38 | 1,50 | 0,13 | 23,72 | 29,18 | 20,31 | 17,95 | 0,38 | 0,46 |
| S Ab | 0,32 | 6,11 | 0,89 | 12,19 | 0,37 | 65,09 | 14,00 | 0,27 | 0,76 |
| S arb | 0,04 | 0,05 | 1,06 | 28,35 | 0,14 | 34,36 | 32,17 | 1,89 | 1,94 |
| S n | 0,03 | 0,00 | 0,06 | 48,73 | 0,01 | 14,23 | 2,45 | 33,87 | 0,61 |
| Z B | 0,01 | 0,03 | 0,35 | 40,93 | 0,04 | 28,30 | 21,24 | 5,94 | 3,16 |
| 2000-2010 | | | | | | | | | |
| CE | 26,68 | 7,88 | 0,36 | 2,47 | 18,46 | 7,80 | 35,12 | 0,00 | 1,24 |
| F | 0,64 | 14,44 | 0,53 | 12,43 | 2,38 | 39,65 | 28,33 | 0,18 | 1,41 |
| J | 0,33 | 0,19 | 1,47 | 17,15 | 3,55 | 16,12 | 60,20 | 0,31 | 0,68 |
| P Ag | 0,05 | 0,01 | 0,33 | 54,24 | 1,67 | 0,61 | 37,64 | 1,03 | 4,43 |
| PA | 0,01 | 0,01 | 2,61 | 0,18 | 66,18 | 3,41 | 27,43 | 0,00 | 0,17 |
| S Ab | 0,27 | 0,42 | 0,88 | 15,20 | 5,12 | 18,23 | 58,53 | 0,29 | 1,06 |
| S arb | 0,03 | 0,05 | 0,33 | 21,00 | 4,14 | 3,77 | 69,41 | 0,14 | 1,13 |
| S n | 0,01 | 0,00 | 0,04 | 51,53 | 0,52 | 0,08 | 26,60 | 4,90 | 16,33 |
| Z B | 1,60 | 0,02 | 0,30 | 30,23 | 1,00 | 1,72 | 52,03 | 2,51 | 10,59 |

| | CE | F | J | P Ag | PA | S Ab | S arb | S n | Z B |
|-----------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| 2010-2020 | | | | | | | | | |
| CE | 77,73 | 0,48 | 0,00 | 1,22 | 0,63 | 0,40 | 7,44 | 12,06 | 0,05 |
| F | 0,99 | 38,27 | 3,30 | 7,61 | 3,41 | 6,41 | 39,53 | 0,43 | 0,05 |
| J | 0,04 | 0,38 | 1,22 | 10,35 | 5,59 | 10,42 | 71,78 | 0,14 | 0,08 |
| P Ag | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 34,33 | 12,24 | 1,44 | 49,45 | 1,69 | 0,84 |
| PA | 0,37 | 0,69 | 0,06 | 7,62 | 31,73 | 29,22 | 29,48 | 0,65 | 0,18 |
| S Ab | 0,10 | 6,86 | 2,41 | 8,47 | 7,12 | 21,29 | 53,37 | 0,21 | 0,19 |
| S arb | 0,04 | 0,15 | 0,18 | 11,25 | 11,07 | 13,73 | 62,91 | 0,36 | 0,30 |
| S n | 0,08 | 0,00 | 0,00 | 27,54 | 6,51 | 0,39 | 40,68 | 21,35 | 3,46 |
| Z B | 0,09 | 0,05 | 0,03 | 17,29 | 8,66 | 1,55 | 66,58 | 2,69 | 3,05 |

PA : Plantation d’anacarde ; S Ab : Savane arborées/boisées ; P Ag : Parcs agroforestiers ; J : Jachère ; F : Forêt ; S n : Sol nu/habitation/savanes herbeuses ; S arb : Savanes arbustives ; CE : Cours d’eau ; Z B : Zone brûlée. Les valeurs en gras expriment les proportions des types d’occupation du sol qui sont restées stables dans le paysage. Les valeurs en fond gris sont les proportions de parcs agroforestiers converties en plantations d’anacarde.

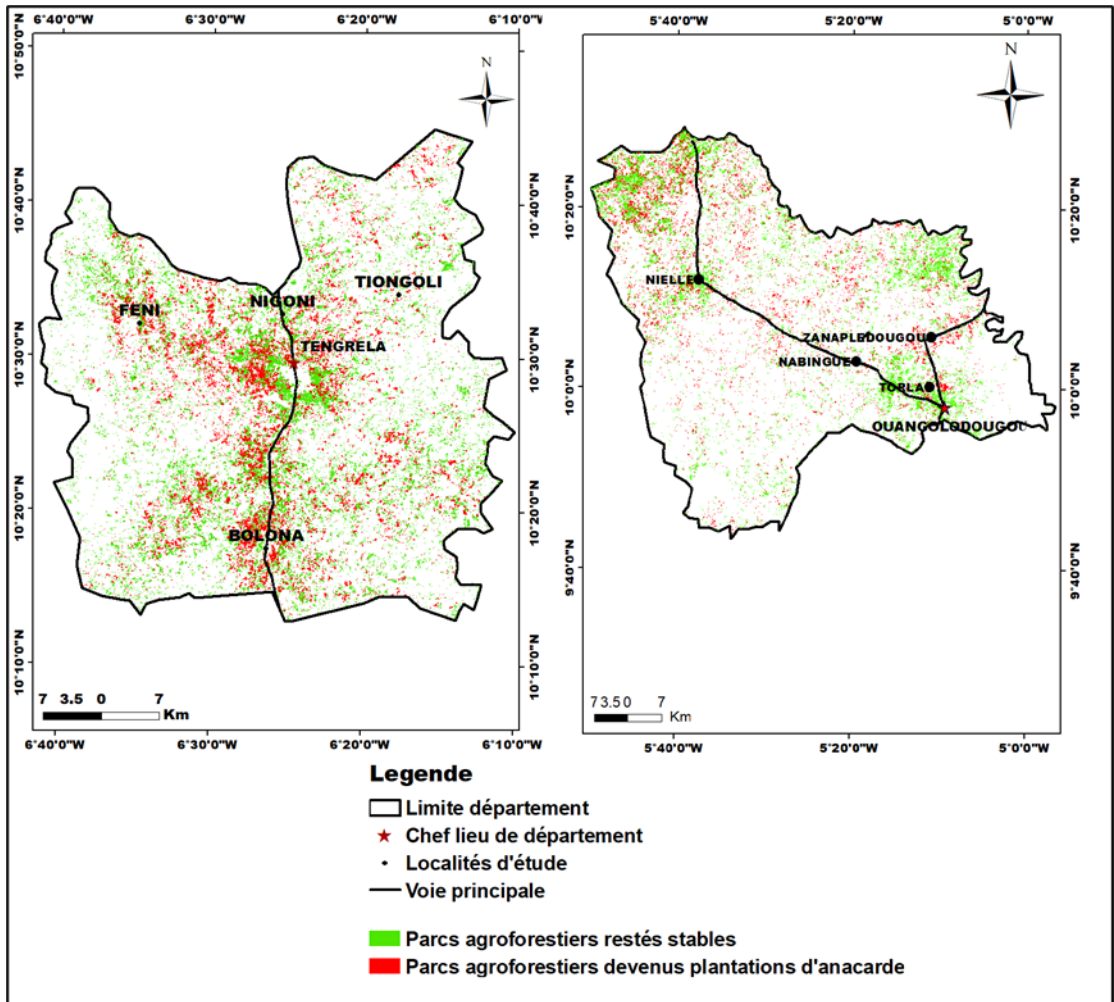


Figure 6: Cartes de changement des parcs agroforestiers à Tengréla (à gauche) et Ouangolodougou (à droite) entre 1990 et 2020.

Tableau 6: Changements opérés au sein des parcs agroforestiers au cours de la période 1990-2020 à Ouangolodougou et Tengréla.

| Changement | Ouangolodougou | | Tengréla | |
|----------------------|----------------|---------------------------|----------|---------------------------|
| | Stables | Transformés en plantation | Stables | Transformés en plantation |
| Effectifs polygones | 13663 | 13036 | 13046 | 6775 |
| Minimum | 0,00019 | 0.00225 | 0,00056 | 0.0006 |
| Maximum | 41,85 | 42,39 | 45,36 | 54,18 |
| Surface totale (ha) | 34813,26 | 19901,88 | 25086,06 | 16575,21 |
| Surface moyenne (ha) | 2,54 | 1,52 | 1,92 | 2,44 |

DISCUSSION

Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence une forte savanisation de la zone soudanienne. En effet en 2020, les savanes (arborées et arbustives) ont constitué la matrice du paysage des deux départements. Cette dominance des savanes pourrait s'expliquer par le fait que les savanes ont connu moins de conversions en d'autres types. Cependant, plusieurs formations naturelles ont été reconverties en savane. C'est le cas des forêts qui ont perdu les trois quarts de leurs superficies en trente ans au détriment des savanes. La dominance des savanes pourrait également s'expliquer par le fait que la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire est une zone type de végétation savanicole (Ouattara, 2001 ; Ouattara et al., 2016). Ces résultats sont similaires à ceux de Coulibaly et al., 2016 qui ont observé une savanisation du département de Ferkessédougou situé également en zone soudanienne de la Côte d'Ivoire. En plus de la savanisation, une expansion des plantations d'anacarde a été observée dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire. En 30 ans, la mise en place des plantations d'anacarde s'est accélérée. Ainsi, elles sont passées de 135 ha en 1990 à 33 444,18 ha en 2020 à Tengréla soit un taux d'expansion annuel de 18,37% et de 427,41 ha à 51096,69 ha à Ouangolodougou soit un taux d'expansion annuelle de 15,95%. Plusieurs facteurs économiques, politiques, écologiques et sociaux pourraient expliquer l'engouement des populations à mettre en place les plantations d'anacarde dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire. D'abord, sur le plan économique il y'a le prix d'achat de

l'anacarde (Kouadio et al., 2016 ; Ruf et Koné, 2019). Depuis l'an 2000, le prix de l'anacarde n'a cessé de grimper ce qui a eu pour effet, de stimuler la création des vergers par les populations (Audouin et Gonin, 2014). De 90 FCFA/kg en 1990, le prix de l'anacarde a connu une augmentation passant à 150 FCFA/kg en 2000 puis 200 FCFA/kg en 2010. Après 2010, le prix de l'anacarde a grimpé pour avoisiner 600 FCFA le Kilogramme (Rongead, 2010 ; Basett, 2017 ; Koffi et Oura, 2019). Ensuite, sur le plan politique le gouvernement ivoirien a joué un rôle déterminant dans le développement du secteur de l'anacarde en Côte d'Ivoire. Ainsi, depuis 2013 de nombreux organes ont été mis en place par le gouvernement ivoirien en vue d'améliorer les rendements, de réduire la pression foncière et de maîtriser l'environnement de la filière de l'anacarde (FIRCA, 2020). Par ailleurs sur le plan écologique, la culture de l'anacarde constituerait une culture adoptée par les agriculteurs afin de faire face aux impacts du changement climatique sur les cultures annuelles notamment le mil, le sorgho, le riz, le fonio et le maïs (Timité et al., 2022). Ainsi, l'anacarde en tant que culture pérenne assez résistante à la sécheresse est mieux adapté à la région des savanes où la pluviométrie constitue un facteur limitant pour l'agriculture plus exacerbée que dans les autres régions du pays (Timité et al., 2022). Enfin sur le plan social, l'anacarde permet aux agriculteurs de faire face aux engagements sociaux tels que la santé, la scolarisation des enfants et les funérailles (Sinan et al., 2016 ; Nanfouhoro, 2021). A l'instar de la zone soudanienne, l'extension de

la superficie des plantations d'anacardiers a été aussi observée dans le nord-est de la Côte d'Ivoire (Kouadio et al., 2016), dans le centre (Koné, 2010) et de plus en plus dans le centre-ouest du pays où les vergers cacaoyères sont reconvertis en plantation d'anacarde (Zanh et al., 2019). Par ailleurs avec l'expansion des plantations d'anacarde, l'on assiste de moins en moins aux feux de végétations.

En 30 ans, les parcs agroforestiers des départements d'Ouangolodougou et Tengréla ont vu leurs superficies réduites de moitié avec un taux annuel de régression de -3,12% à Tengréla et de -2,13% à Ouangolodougou. La régression de la superficie des parcs agroforestiers pourrait s'expliquer dans la zone d'étude par les nombreux changements subis par ces formations. En effet, l'établissement de la matrice de transition a montré que les parcs agroforestiers ont progressivement subi une forte conversion vers les savanes et les plantations d'anacarde. Ainsi, pendant la décennie 2010-2020, seulement 25,53% et 34,33 % de la superficie des parcs agroforestiers sont restées stables respectivement à Tengréla et Ouangolodougou. Au cours de cette période, près d'un quart des parcs agroforestiers a été convertis en plantations d'anacarde et la moitié en savane arbustive. La dégradation des parcs agroforestiers dans ces départements de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire s'inscrit dans la tendance globale de l'évolution des parcs agroforestiers traditionnels. De nombreux auteurs ont montré que les parcs agroforestiers soudaniens sont marqués par une dégradation progressive depuis 1970 (Loupe et Faidutti, 2000 ; Gosselin, 2008 ; Diatta et al., 2016 ; Bidou et al., 2019). Selon ces auteurs, cette dégradation pourrait être due à trois causes fondamentales à savoir les changements dans les pratiques culturelles et d'utilisation des terres des populations, le changement climatique et la diminution du temps de mise en jachère. Par ailleurs la carte de changement des parcs agroforestiers indique que 23336 ha et 9051 ha de plantations d'anacarde ont été installées sur des parcelles qui étaient en 1990 occupées par des parcs agroforestiers. Ainsi, sur les 33 444,18 ha de plantations d'anacarde

présentes en 2020 à Tengréla et 51096,69 ha à Ouangolodougou, 16 575,21 ha et 19 901,88 ha ont été installées sur des parcelles de parcs agroforestiers respectivement à Tengréla et Ouangolodougou. Ces résultats viennent ainsi confirmer notre hypothèse qui stipule que l'extension des superficies des plantations d'anacarde dans la zone soudanienne a entraîné une transformation de la végétation originelle et une réduction de la superficie des parcs agroforestiers.

Conclusion

L'analyse des types thématiques issues de la combinaison des techniques de télédétection aux systèmes d'information géographique a permis de mettre en exergue la dynamique spatio-temporelle des parcs agroforestiers dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire. Les résultats ont montré que les paysages de la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire sont majoritairement dominés par les formations de savanes et de parcs agroforestiers. Cependant, depuis l'an 2000, l'anacarde a commencé à dominer le paysage de la zone soudanienne. La mise en place de l'anacarde par les populations se justifie par le revenu substantiel qu'il engendre. Son expansion a contribué à la dégradation des parcs agroforestiers soudaniens qui ont vu leurs superficies réduites fortement de 1990 à 2020. Ainsi, malgré les nombreux services écosystémiques fournis par les parcs agroforestiers ainsi que les alertes sur leur dégradation progressive, les paysages de ces écosystèmes subissent de profondes transformations dans la zone soudanienne de la Côte d'Ivoire. Afin de contribuer à restaurer et à protéger les ressources naturelles des parcs agroforestiers, nous recommandons à l'Etat de mener des campagnes de sensibilisation afin d'alerter les populations locales sur l'état de dégradation des parcs agroforestiers. Aussi, de faire la promotion et la valorisation des produits tirés des parcs agroforestiers en améliorant les prix d'achat de ces produits. D'encourager d'avantage la mise en place de coopératives féminines de fabrication du karité et le néré. Enfin il serait intéressant de mettre

la problématique liée à la dégradation des parcs agroforestiers au cœur des initiatives sur le plan local, régional et national.

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflit d'intérêt concernant cet article.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

Conceptualisation : NT, YSSB ;
Méthodologie : NT, KKAN et ATMK ;
Analyse des données spatiales : NT et KKAN ;
Validation : NT, KKAN et YSSB ; financement
YSSB ; Rédaction, révision et édition, NT,
KKAN, ATMK et YSSB. Tous les auteurs ont
lu et approuvé la version publiée du manuscrit.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier le
Groupe de recherche interdisciplinaire en
écologie du paysage et environnement
(www.griepe.net) pour le financement des
travaux et les communautés locales pour leur
hospitalité et leur aide dans la collecte de
données sur les différents sites d'étude.

REFERENCES

Abegg C, Bayala J, Belem M, Kalinganire A.
2006. Facteurs socio-économiques
influençant la biodiversité ligneuse des
parcs agroforestiers de deux villages du
plateau central du Burkina Faso |
Influence of socioeconomic factors on the
biodiversity of woody species in
agroforestry parkland systems: A case
study in two villages in the central plateau
of Burkina Faso. *Schweizerische
Zeitschrift für Forstwesen*, **157**(1): 17-23.
DOI:
<https://doi.org/10.3188/szf.2006.0017>

Agbanou BT, Djafarou A, Paegelow M, Tente
B. 2018. Dynamique Spatio-Temporelle
de l'Occupation du Sol en Zone
d'Agriculture Extensive : Cas du Secteur
Natitingou-Boukoumbe au Nord-Ouest
du Bénin. In *Mélanges en hommage aux
Professeurs Thomas Omer, Houssou Sègè
Christophe et Houndaga Cossi Jean. La*

*Géographie au Service du
Développement Durable*, **3**: 22-34.

- Akpa YL. 2015. Impact of Cashew Expansion
on Land Use/ Land Cover Change and
Carbon Stocks in the Forest-Savanna
Transition Zone, North-East Côte
d'Ivoire. Thèse de Doctorat. Kwame
Nkrumah University of Science and
technology, Kumasi, p. 188.
- Audouin S, Gonin A. 2014. L'anacarde :
Produit de la Globalisation, Moteur de la
Territorialisation, l'exemple du Sud du
Burkina Faso. *EchoGéo.*, **29**: 0-15. DOI:
<https://doi.org/10.4000/echogeo.13926>
- Barmo S, Amani A, Soumana I, Ichaou A,
Karim S, Mahamane A. 2019. Structure et
Diversité des Parcs Agroforestiers
Adjacents à la Forêt Protégée de Baban
Rafi, Niger-Afrique de l'Ouest. *Afrique
Science*, **15**(2): 166-185. URL:
<http://www.afriquescience.net>
- Bassett TJ. 2017. Le Boom de l'Anacarde dans
le Bassin Cotonnier du Nord ivoirien.
Afrique contemporaine, **263264**(3): 59-
83. DOI: 10.3917/afco.263.0059
- Bayala J, Kalinganire A, Tchoundjeu Z,
Sinclair F, Garrity D. 2011. Conservation
Agriculture with Trees in the West
African Sahel – a review. ICRAF
Occasional Paper 14, World Agroforestry
Centre, Nairobi, p. 57.
- Bengali MM. 2018. Perceptions de
l'agroforesterie par les paysans et
paysannes du groupement mixte de
Bissiga, dans la région du Plateau Central,
au Burkina Faso. Mémoire de Master,
Université Laval, Québec, p. 90.
- Bidou J, Koukéré A, Droy I.
2019. Agroforesterie et services
écosystémiques en zone tropicale:
Recherche de compromis entre services
d'approvisionnement et autres services
écosystémiques. In *La crise du parc
arboré à karité : exemple de Djougou au
Bénin*, Seghieri J, Harmand J.
(eds). Éditions Quæ. URL:
<http://books.openedition.org/quae/39190>
- Boffa JM. 2015. Opportunities and challenges
in the improvement of the shea (*Vitellaria
paradoxa*) resource and its management.

- Occasional Paper 24. World Agroforestry Centre. Report submitted to the Global Shea Alliance, Nairobi, p. 54.
- Coulibaly L, Kouassi KH, Soro GE, Savane I. 2016. Analyse du Processus de Savanisation du Nord de la Côte d'Ivoire par Télédétection : Cas du Département de Ferkessedougou [Analysis of the savannization process by remote sensing method of northern Côte d'Ivoire : Case study of Ferkessedougou County]. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, **17**(1): 136-143. URL: <http://www.ijias.issr-journals.org/>
- Diarrassouba N, Fofana JL, Bakayoko A, N'guessan A, Sangare A. 2009. Influence des Systèmes Agraires sur la dynamique de régénération naturelle du karité : *Vitellaria paradoxa* CF *gaernt* (Sapotaceae) en Côte D'Ivoire. *Agronomie Africaine*, **1**(21): 49–58. DOI : 10.4314/aga.v21i1.46204
- Diatta AA, Ndour N, Manga A, Sambou B, Faye CS, Diatta L, Dieng SD. 2016. Ecosystem Services of *Cordyla pinnata* (Lepr. ex A. Rich.) Milne-Redh Agroforestry Parkland of Senegal's South Peanut Basin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **10**: 2511-2525. DOI: 10.4314/ijbcs.v10i1.14
- Djossa BA, Fahr J, Wiegand T, Ayihouénou BE, Kalko EK, Sinsin BA. 2008. Land use Impact on *Vitellaria Paradoxa* C.F. Gaerten. Stand, Structure and Distribution patterns: A comparison of Biosphere Reserve of Pendjari in Atacora District in Benin. *Agrofor. Syst.*, **72**(3): 205–220. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-007-9097-y>
- Dugué P, Koné FR, Koné G. 2002. Gestion des Ressources Naturelles et Evolution des Systèmes de Production Agricoles des Savanes de Côte d'Ivoire: Conséquences pour l'Elaboration des Politiques Agricoles. Actes du Colloque. Garoua: Cameroun, p. 12.
- Faye MD, Weber JC, Mounkoro B, Dakouo JM. 2010. Contribution of parkland trees to farmers' livelihoods: A Case Study from Mali. *Development in Practice*, **20**(3): 428-434. DOI: <https://doi.org/10.1080/09614521003710013>
- Fifanou VG, Ousmane C, Gauthier B, Brice S. 2011. Traditional Agroforestry Systems and Biodiversity Conservation in Benin (West Africa). *Agrofor. Syst.*, **82**(1): 1–13. DOI: 10.1007/s10457-011-9377-4
- Folega F, Atakpama W, Kanda M, Wala K, Batawila K, Akpagana K. 2019. Agroforestry Parklands and Carbon Sequestration in Tropical Sudanese Region of Togo. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.*, **7**(4): 563–570. URL: www.agricmaroc.org.
- Foody GM. 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, **80**(1): 185-201. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00295-4](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00295-4)
- Guimbo ID, Morou B, Rabiou H, Larwanou M. 2016. Facteurs de Pression sur les Parcs Agroforestiers à *Vitellaria paradoxa* et à *Neocarya macrophylla* dans le Sud-ouest du Niger (Afrique de l'Ouest). *Journal of Applied Biosciences*, **107**: 10407-10417. DOI: <https://doi.org/10.4314/jab.v107i1.6>
- Kaboré SA, Bastide B, Traoré S, Boussim JI. 2012. Dynamique du Karité, *Vitellaria paradoxa*, dans les Systèmes Agraires du Burkina Faso. *Bois Forêts Des Tropiques*, **313**(313): 47-59. DOI: <http://dx.doi.org/10.19182/bft2012.313.a20496>
- Kadio ANK, Kouassi BK, Yao SSB. 2020. Impact of Cocoa Cultivation in the Forest-Savannah Transition zone of Western Côte d'Ivoire. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, **12**(4): 291-304. DOI: 10.5897/IJBC2020.1430
- Koffi SY, Oura KR. 2019. Les facteurs de l'adoption de l'anacarde dans le bassin cotonnier de Côte d'Ivoire. *Cahiers Agricultures*, **28**(24). DOI: <https://doi.org/10.1051/cagri/2019025>
- Koné M, Douffi KGC, Silué SS, Soro FA, N'guessan YJ, Koffi I, Coulibaly L. 2020.

- Cartographie de l'Occupation du Sol et Dynamique des Anacardiés de la Sous-Préfecture de Napié, au Nord de la Côte d'Ivoire. *Journal of Research in Environmental and Earth Sciences*, **6**(2): 35-46. DOI: D06023546
- Kone M. 2010. Analyse de la Chaîne de Valeur du Secteur Anacarde de la Côte d'Ivoire. Initiative du Cajou Africain (iCA), p. 76.
- Koua KAN. 2021. Dynamiques du Paysage d'une Zone de Contact Forêt-Savane et Migration Agricole pour la Culture Cacaoyère à l' Ouest de la Côte d' Ivoire. Thèse de Doctorat. Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, p. 135.
- Kouakou ATM, Barima YSS, Konate S, Bamba I, Kouadio JY, Bogaert J. 2017. Gestion des Forêts Domaniales en Période de Conflits: Cas de la Forêt Classée du Haut-Sassandra, Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **11**(1): 333-349. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i1.26>
- Koulibaly A, Nicaise A, Diomandé M, Konaté I, Traoré D, Bill R, Kouadio YJ. 2016. Conséquences de la culture de l'anacardier (*Anacardium occidentale L.*) sur les caractéristiques de la végétation dans la région du Parc National de la Comoé (Côte d'Ivoire) [Consequences of cashew cultivation (*Anacardium occidentale L.*) on vegetation characteristics in the Comoé National Park région (Côte d'Ivoire)]. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, **17**(4): 1416-1426. URL: <http://www.ijias.issr-journals.org/>
- Kpedenou KD, Boukpepsi T, Tchamie TTK. 2016. Quantification des Changements de l'Occupation du Sol dans la Préfecture de Yoto (sud-est Togo) à l'aide de l'Imagerie Satellitaire Landsat. *Revue des Sciences de l'Environnement*, **13**: 137-156. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01409418>
- Kpedenou KD, Drabo O, Ouoba AP, Da DCE, Tchamie TTK. 2018. Analyse de l'Occupation du sol pour le suivi de l'Evolution du Paysage du Territoire Ouatchi au Sud-Est Togo entre 1958 et 2015. *Cahiers du Cerleshs*, **31**(55): 203-228. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01701176>
- Landis JR, Koch GG. 1977. An Application of Hierarchical Kappa-type Statistics in the Assessment of Majority Agreement among Multiple Observers. *Biometrics*, **33**(2): 363-374. DOI: <https://doi.org/10.2307/2529786>
- Lebailly P, Lynn S, Seri H. 2012. Etude pour la Préparation d'une Stratégie pour le Développement de la Filière Anacarde en Côte d'Ivoire : Proposition d'une Stratégie pour le Développement de la Filière Anacarde : Rapport final. p. 92.
- Loupe D, Faidutti R. 2000. Vue aérienne d'un parc agroforestier à *Faidherbia albida* aux environs du village de Dolekaha (Côte d'Ivoire) Parc Agroforestier à *Adansonia digitata*, au Sénégal. *Unasylva*, **51**: 11-17. URL: <https://www.fao.org/3/x3989f/x3989f04.htm>
- Mapongmetsem PM, Nkongmeneck BA, Rongoumi G, Dongock DN, Dongmo EB. 2011. Impact des Systèmes d'Utilisation des Terres sur la Conservation de *Vitellaria paradoxa Gaerten. F.* (Sapotaceae) dans la Région des Savanes Soudano-Guinéennes. *International Journal of Environmental Studies*, **68**(6): 851-872. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207233.2011.587259>
- Nadège BKAN, Cissé G, Koné B, Séri D. 2016. Variabilité Climatique Et Changements Dans L'Environnement À Korhogo En Côte D'Ivoire : Mythes Ou Réalité ? *European Scientific Journal*. **12**(5): 158-176. DOI: <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n5p158>
- Norgrove L, Hauser S. 2013. Carbon Stocks in shaded Theobroma Cacao Farms and Adjacent Secondary Forests of similar age in Cameroon. *Tropical ecology*, **54**(1): 15-22. URL: www.tropecol.com.
- Oloukoi V, Mama J, Agbo FB. 2006. Modélisation de la dynamique de l'occupation des terres dans le

- Département des Collines au Bénin. *Télétection*, **6**(4): 305-323. URL: <https://www.academia.edu/download/31950941/20070711045420.pdf>
- Oszwald J. 2005. Dynamique des formations agroforestières en Côte d'Ivoire (depuis les années 1980 aux années 2000) : Suivi par Télétection et Développement d'une Approche Cartographique. Thèse de Doctorat. Université de Lille 1, p.304.
- Ouattara D, Kouame D, Tiebre MS, Kouadio YJC, N'guessan KE. 2016. Biodiversité Végétale et Valeur d'usage en Zone Soudanienne de la Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **10**(3): 1122-1138. DOI: <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v10i3.18>
- Ouattara N. 2001. Situation des ressources Génétiques Forestières de la Côte d'Ivoire (Zone de Savanes). Atelier Sous-Régional FAO/IPGRI/CIRAF sur la Conservation, la Gestion, l'Utilisation Durable et la mise en Valeur des Ressources Génétiques Forestières de la Zone Sahélienne (Ouagadougou, 22-24 sept. 1998). Note thématique sur les ressources génétiques forestières. Document FGR/5F. Service de la mise en Valeur des Ressources Forestières, Division des Ressources Forestières. FAO, Rome, p. 43. URL: <https://www.fao.org/publications/card/fr/c/91fbc99b-e6f8-53a1-9c54-15ceb21121cd>.
- Ouoba HY, Bastide B, Coulibaly LP, Kabore SA, Boussim JI. 2018. Connaissances et Perceptions des Producteurs sur la Gestion des Parcs à *Vitellaria paradoxa* CF Gaertn (Karité) au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **12**(6): 2766-2783. DOI: <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i6.23>.
- Ruf F, Kone S, Bebo B. 2019. Le boom de l'Anacarde en Côte d'Ivoire: Transition Ecologique et Sociale des Systèmes à base de Coton et de Cacao. *Cah. Agric.*, **28**(21). DOI: <https://doi.org/10.1051/cagri/2019019>
- Salomon W, Sikuzani YU, Kouakou ATM, Barima YSS, Theodat JM, Bogaert J. (2021). Cartographie et Quantification de la Perte du Couvert Forestier dans les Parcs Nationaux du Sud de la République d'Haïti de 1985 à 2018: Rôle des Activités Agricoles Locales. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **15**(2): 477-496. DOI: <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v15i2.9>
- Samb CO, Faye E, Dieng M, Sanogo D, Samba NSA, Koita B. 2018. Dynamique Spatio-Temporelle des Plantations d'Anacardier (*Anacardium occidentale* L.) dans deux Zones Agro-Ecologiques du Sénégal. *Afrique Science*, **14**(3): 365-377. URL: https://www.researchgate.net/publication/325615836_
- Schlaepfer MA, Runge MC, Sherman PW. 2002. Ecological and Evolutionary Traps. *Trends in ecology & evolution*, **17**(10): 474-480. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(02\)02580-6](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(02)02580-6)
- Schulz JJ, Cayuela LE, cheverria C, Salas, Rey BJM. 2010. Monitoring Land Cover Change of the Dryland Forest Landscape of Central Chile (1975-2008) *Appl. Geogr.*, **30**(3): 436-447. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2009.12.003>
- Seghier J, Harmand J-M. 2019. Agroforesterie et Services Ecosystémiques en Zone Tropicale: Recherche de Compromis Entre Services D'Approvisionnement et Autres Services Écosystémiques. *Update Sciences et Technologies*, Quae (ed), p. 251. URL: <http://library.oapen.org/handle/20.500.12657/23978> (accessed on 5 June 2022).
- Sinan A, N.dri KA. 2016. Impacts Socio-Economiques De La Culture De L'Anacarde Dans La Sous-Prefecture D'Odienné (Côte d'Ivoire). *Eur. Sci. Journal.*, **12**(32): 369. DOI: <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n32p369>
- Ouattara NPK. 2021. De Bassin Cotonnier à Bassin Anacardier: Facteurs Explicatifs de l'Expansion de la Culture de

- l'Anacarde à Fronan en Côte d'Ivoire. *International Journal of Social Sciences and Humanities. Invention*, **8**(4): 6441–6451. DOI: <https://doi.org/10.18535/ijsshi/v8i04.0412>
- Soro D, Traore K, Kassi N J. 2011. Variabilité des Caractères Morphologiques chez le Karité (*Vitellaria paradoxa*), dans le Nord de la Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **5**(3): 1201–1214. DOI: <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v5i3.72263>
- Soro G, Ahoussi EK, Kouadio EK, Soro TD, Oulare S, Saley MB, Biemi J. 2014. Apport de la Télédétection à la Cartographie de l'Evolution spatio-Temporelle de la Dynamique de l'Occupation du sol dans la Région des Lacs (Centre de la Côte d'Ivoire). *Afrique Science*, **10**(3). URL: <http://www.afriquescience.info/document.php?id=3763>
- Soumaré M, Havard M, Bachelier B. 2021. Cotton in West and Central Africa: From the Agricultural Revolution to the Agro-Ecological Transition. *Cahiers Agricultures*, **30**(5). DOI: <https://doi.org/10.1051/cagri/2020044>
- Timité N, Kouakou ATM, Bamba I, Barima YSS, Bogaert J. 2022. Climate Variability in the Sudanian Zone of Côte d'Ivoire: Weather Observations, Perceptions, and Adaptation Strategies of Farmers. *Sustainability*, **14**(16): 10410. DOI: <https://doi.org/10.3390/su141610410>
- Zakari S, Toko II, Thomas O, Djaouga M, Arouna O. 2018. Application de la télédétection et du SIG au suivi des Formations Végétales de la Forêt Classée des Trois Rivières au Nord-Est du Bénin. *European Scientific Journal*, **14**(15): 450-469. DOI: <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n15p450>
- Zanh GG, Kpangui KB, Barima YSS, Jan B. 2019. Migration and Agricultural Practices in the Peripheral areas of Côte d'Ivoire state-owned forests. *Sustainability*, **11**(22): 1–13. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/su11226378>

Article

Climate Variability in the Sudanian Zone of Côte d'Ivoire: Weather Observations, Perceptions, and Adaptation Strategies of Farmers

Nakouana Timité ^{1,*}, Akoua Tamia Madeleine Kouakou ¹, Issouf Bamba ¹, Yao Sadaïou Sabas Barima ¹ and Jan Bogaert ²

¹ Environment Training and Research Unit, Laboratory of Biodiversity and Sustainable Management of Tropical Ecosystems, Jean Lorougnon Guédé University, Daloa P.O. Box 150, Côte d'Ivoire

² Unité Biodiversité et Paysage des Déportés, Université de Liège/Gembloux Agro-BioTech, 2B-5030 Gembloux, Belgium

* Correspondence: nakouana.timite@ujlg.edu.ci; Tel.: +225-0757647669

Abstract: Located in the extreme north of Côte d'Ivoire, the Sudanian zone is an area where 95% of the population depends on agricultural activities, particularly rain-fed agriculture. Given the serious threats that climate variability poses to food security and household incomes, it is important to understand the evolution of climate variables and their impacts on crops, perceptions, and adaptation measures taken by farmers. To do this, various statistical analyses were conducted using rainfall and temperature data from 1987 to 2018. These analyses were coupled with a survey of 287 farmers. The results showed a strong variability of precipitation marked by the succession of deficit and surplus periods with a return to wetter conditions since 2008. At the same time, an increase in temperature was observed. These phenomena have been perceived by farmers. Thus, to cope with the adverse effects of climate variability, farmers have developed numerous adaptation strategies that include the use of organic manure, agroforestry, changing planting dates, and introducing new crops, notably cashews.

Keywords: rainfall; temperature; adaptations; family farms; Sudanian zone



Citation: Timité, N.; Kouakou, A.T.M.; Bamba, I.; Barima, Y.S.S.; Bogaert, J. Climate Variability in the Sudanian Zone of Côte d'Ivoire: Weather Observations, Perceptions, and Adaptation Strategies of Farmers. *Sustainability* **2022**, *14*, 10410. <https://doi.org/10.3390/su141610410>

Academic Editor: Teodor Rusu

Received: 6 June 2022

Accepted: 27 July 2022

Published: 22 August 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Climate change and variability are increasingly the focus of global scientists and policy-makers because of their myriad impacts on the natural environment and on humans. Many authors have shown that climate change and variability represent enormous challenges to humans and their socio-economic activities, health, livelihoods, and food security [1–4]. According to the Intergovernmental Panel on Climate Change [5], the consequences for countries' economies are already considerable, and the situation can worsen as the frequency of extreme events is predicted to increase with global warming [6]. The studies carried out by Folefake et al. [7] and Faye et al. [8] showed that agriculture in particular is one of the main economic sectors where climate change will have a significant impacts. Moreover, of all the continents, Africa is considered to be the most vulnerable to the effects of climate change because of the strong dependence of its economies on rain-fed agriculture, which accounts for 95% of production, and because of the difficulties of the populations to adapt [9–12]. Major phenomena such as the frequency of heavy rainfall [13], the increase in temperatures [14], the shortening of the agricultural season and prolonged dry spells will increasingly affect [15] crop growth and productivity in large areas of Africa [5,16]. Côte d'Ivoire, an emerging country in West Africa, is not immune to the threats posed by climate variability [17–19]; similar to most African countries, agriculture is one of the driving forces of the economy. However, this agriculture remains exposed to climatic hazards because of the still limited use of modern irrigation techniques and the extensive,

rather than intensive, use of land [20]. For nearly four decades, climate change has had an exceptional impact on the northern and central regions of the country [21]. The changes in Côte d'Ivoire are expressed by the decrease in rainfall; the increase in temperatures; the persistence and severity of dry seasons; and the frequent floods and bush fires [22–24]. The direct consequences on agriculture are a shortening of the average duration of vegetative growth periods (shifting of the beginning of the cropping season), a low growth of biomass, and a reduction in the productive potential of ecosystems (reduction in arable land due to its degradation, increased exposure of plants to water stress, and reduction in the volume of surface water in most regions) [25]. These changes affect farmers' incomes and their ability to invest in the assets needed to expand their businesses. According to World Bank forecasts [20], by 2050, the country is likely to face the combined effect of rising temperatures (+2 degrees Celsius), and variations in rainfall (−9% in May and +9% in October) from north to south. All these phenomena are already affecting and will continue to affect rain-fed agricultural production, which covers 90% of the country's production. Without adaptation measures, yield reductions in cereal crops such as millet, maize, and sorghum are predicted by 2050, with the possibility of reaching critical thresholds [26]. In response to the adverse consequences of climate change, farmers are adopting adaptation strategies [27]. For example, in east-central Côte d'Ivoire, farmers opt for local modification of the cropping calendar, and there is a growing trend towards diversification of income sources and new food habits [28]. In the Sudanian zones of Burkina Faso and Senegal, faced with the impacts of climate variability, farmers have changed crop varieties and even speculations. They are using water and soil conservation techniques (SWC), organic fertilizer, and changing sowing dates [8,29]. In Niger, we are witnessing the expansion of irrigation systems, the adjustment of crop sowing times according to localized climate forecasts, and the selection of plants and the establishment of crops that are more tolerant to climatic stresses associated with agroforestry [30,31].

The present research was conducted in a region of Côte d'Ivoire where agriculture is strongly confronted with the reality of climate change, namely the Sudanian zone located in the extreme north of the country. As well as belonging to a dry tropical climate, this zone is marked by a unimodal rainfall (six months of the year) and it is subject to high temperatures with low humidity (60% to 70%) [32]. Furthermore, the Sudanian zone of Côte d'Ivoire remains vulnerable insofar as maize, the staple food of local populations, is one of the crops predicted to be most affected by future climate conditions. Results from the RCP2.6 and RCP6.0 climate models [33] indicate a negative trend in yields for maize, millet, and sorghum in Côte d'Ivoire, with a greater decline for RCP6.0. Compared with the year 2000, yields are expected to decline by 9% for maize and 10% for millet and sorghum by 2080 under RCP6.0 [33]. Under RCP2.6, maize, millet, and sorghum yields would decline by 5% [33]. In addition, the World Bank 2018 group [20] predicted maize yield losses in excess of 25% in the northern regions of the country. Faced with this situation, there is an urgent need to understand the current manifestations of climate change in the Sudanian zone of Côte d'Ivoire, the perceptions of farmers, and the solutions provided. Addressing this issue is in the interest of rural farmers in the current context of economic globalization. The literature indicates that many studies related to climate change have been conducted in Côte d'Ivoire [23–25,28]. However, those studies were essentially directed to forest and pre-forest zones. The Sudanian zone has long been marginalized in terms of climate change studies. The originality of this study lies in the fact that it focuses on the perceptions and feedbacks of farmers living in the Sudanian zone of northern Côte d'Ivoire to climate change. Indeed, farmers' knowledge of climate change is important for integrating climate adaptation into agricultural development strategies and plans.

The methodology applied in this study is mainly based on the analysis and interpretation of climatic variables and the adaptive reactions of farmers to this situation. Indeed, climate modification leads to social changes as it has an impact on agricultural activities and farmers' well-being [34]. The present study is based on the hypothesis that in the face of climate variability and change, which is becoming increasingly perceptible, farm-

ers in the Sudanian zone of Côte d'Ivoire are implementing new adaptation strategies to ensure their production and the income generated by agricultural activities. For the purpose of understanding the impact of climate variability on agriculture and farmers' daily lives, this study analyzed the interannual evolution of climate variables, rainfall, and temperature over a period of 32 consecutive years from 1987 to 2018. In addition, farmers' reactions were investigated in order to better understand the adaptations induced by their perception of this climate change. Rainfall and temperature were investigated as they are recognized as the most important variables in climate science and hydrology and are frequently used to determine the extent and magnitude of climate change and variability [34]. In addition, their trends and variability are frequently mentioned as factors explaining various socio-economic problems such as food insecurity in countries where the economy is highly dependent on rain-fed agriculture [35,36]. Therefore, the analysis of changes in these meteorological variables coupled with the reactions of farmers is very crucial in order to provide policymakers and practitioners with information that would help in making accurate decisions beneficial for the sustainability of the environment and the welfare of farmers.

2. Materials and Methods

2.1. Description of the Study Sites

Côte d'Ivoire is located in West Africa and is part of the Gulf of Guinea countries. It covers an area of 322,462 km², about 1% of the African continent. The present study was conducted in the Sudanian zone of Côte d'Ivoire, which is located in the extreme north between 8 and 10° N, and 3 and 6° W and belongs to the dry tropical zone. Indeed, the Sudanian zone covers about 11% of the total area of Côte d'Ivoire [35]. It is dominated by savannah vegetation with a Sudanian-type climate that, while extending south of Mali and Burkina Faso, constitutes the northern limit of the Sahelian climate. The choice of this specific area of Côte d'Ivoire is based on the fact that climate forecasts indicate that it is very vulnerable to climate variability, particularly because of some of its biophysical and socio-economic characteristics. First, rainfall in this unimodal area, ranging from 400 mm to 1200 mm per year, is a limiting factor for agriculture [36] more exacerbated than elsewhere in the country. Secondly, it is subject to the continental influence of the harmattan (hot and dry wind) [37] and is marked by a water deficit greater than 500 mm due to a higher evapotranspiration (ETP) [25]. In addition, the study area is subject to temperatures ranging from 14 to 33 °C with low humidity (60% to 70%) [32]. Considering the main activity of the populations, the crops grown and the heterogeneity of the ethnic groups, three localities were chosen in the Sudanian zone to conduct the study (Figure 1). These were Tengréla, Ouangolodougou, and Tienko. In general, the economy of these different localities is essentially agricultural, with a large share provided to food crops such as maize, sorghum, rice, millet and fonio, oilseeds dominated by groundnuts and sesame, and recently cash crops led by cashew nuts and cotton. Tengréla is home to approximately 69,000 inhabitants with an average of 40.3 inhabitants/km² [38]. The population is predominated by the Senufo people. These populations are mostly (70%) rural and live on rain-fed agriculture. Maize, the staple food of the population, is the main cereal crop. In addition to maize, sorghum and fonio are highly prized by the people of Tengréla [39]. Ouangolodougou is home to approximately 49,000 inhabitants with 20.7 inhabitants/km² [38]. Besides the Senufo people, there are also the Gbin people who, as with the Senufo, depend primarily on rain-fed agriculture. Crops are dominated by corn, millet, sesame, and rice [40]. The population of Tienko is approximately 10,000 inhabitants with an average of 152 inhabitants/km² [38,41]. The dominant ethnic group is the Malinke, who live on rain-fed agriculture. The most common crops are rice, corn, peanuts, and fonio. In addition to agriculture, the people of Tienko are involved in trade. In view of the above, the various manifestations of climate variability are likely to compromise agricultural development and thus make family farms in the Sudanian zone of Côte d'Ivoire more vulnerable.

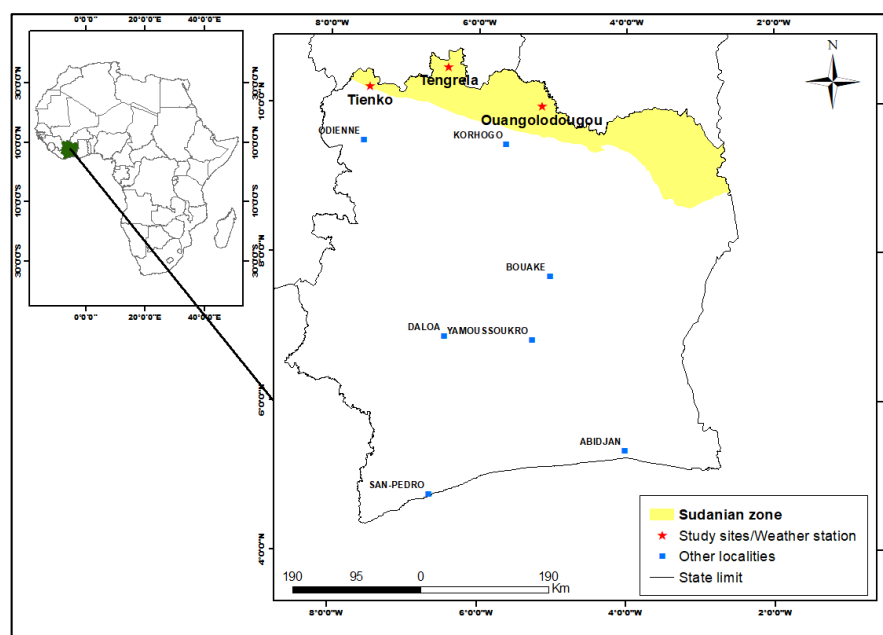


Figure 1. Map of Côte d'Ivoire showing the study locations located in the Sudanian zone at the northern part of the country. Source: Map of Côte d'Ivoire.

2.2. Methodology

2.2.1. Analysis of Climatic Variables

Temperature and rainfall are recognized as the most critical parameters for rain-fed agriculture in the intertropical region [8]. Thus, the climatic data included daily rainfall and temperature data observed over the period 1987 to 2018 at the Ouangolodougou, Tienko, and Tengréla stations (see Figure 1). Following the recommendations of the World Meteorological Organization (WMO), the series covering more than 30 years are long enough to identify possible trends. The climate data used in this study were obtained from the Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM), the official agency of the meteorology of Côte d'Ivoire.

- Analysis of interannual variability of precipitation and temperature

The analysis of interannual variability of rainfall in the Sudanian zone of Côte d'Ivoire over the period 1987–2018, required the use of indices [42,43]. The Lamb rainfall index [44,45] was used to determine the number of deficit and surplus years. This index defined as reduced centered variables play an important role in determining seasonal variations. It is computed using Equation (1):

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

where I_i is the rainfall index, X_i is the rainfall in year I (in mm), \bar{X} is the average rainfall over the study period (in mm), and σ is the standard deviation of rainfall over the study period. According to the values, I_i greater than 0.5 denotes excess rainfall, I_i between 0.5 and -0.5 shows normal rainfall, while I_i less than -0.5 indicates a deficit rainfall.

A better observation of interannual fluctuations in precipitation and runoff is achieved by highlighting seasonal variations from the second-order Hanning non-recursive low-pass filter. The calculation of filter-weighted runoff totals is performed using the equations recommended by Tyson et al. [46]. Thus, each term in the rainfall series is calculated according to Equation (2):

$$X_t = 0.06X_{t-2} + 0.25X_{t-1} + 0.38X_t + 0.25X_{t+1} + 0.06X_{t+2} \quad (2)$$

For $3 \leq t \leq n - 2$

where X_t = the weighted rainfall total of term t . X_{t-2} and X_{t-1} are the observed rainfall totals of two terms immediately preceding the t term. The weighted rainfall totals of the first two (X_{n-1} and X_n) and last two terms of the series are calculated using the following expressions (n being the size of the series):

$$X_1 = 0.54X_1 + 0.46X_2$$

$$X_2 = 0.25X_1 + 0.50X_2 + 0.25X_3$$

$$X_{n-1} = 0.25X_{n-2} + 0.50X_{n-1} + 0.25X_n$$

$$X_n = 0.4X_n + 0.46X_{n-1}$$

The interannual evolution of the minimum and maximum temperature over the period 1987–2018 was determined using the graphical method. It consists of a representation of temperatures as a function of time (year over the selected period) and allows to detect the trend considering the totality N of the observations. The analysis of the chronological trends of the temperature was carried out using the software R-instat 0.7.2 [47].

- Analysis of the interannual evolution of the duration of the rainy season, the number of rainy days and drought episodes

The interannual evolution of these parameters was determined over 32 years for the different stations. The duration of the rainy season is defined as the difference in days between the end and beginning dates of the rains. For our study area, the start date of the rainy season is the date of May 1 during which a cumulative rainfall of 25 mm is recorded over a period of 10 consecutive days without a dry sequence of more than 7 consecutive days during the following 30-day period [48,49]. The end of the rainy season is defined as the date from September 1 during which the useful soil water reserve is zero. The useful soil reserve is set at 100 mm and the daily evapotranspiration at 5 mm [50–52]. Finally, the frequency of dry spells was determined by the evolution of the greatest differences (expressed in number of days) between two consecutive rains during the cropping season [52–54] over the reference period. In this study, a day is considered dry if the cumulative daily rainfall received is less than the threshold of 1 mm. Thus, a dry spell is the consecutive days without rain in a long sequence. The R-instat software 0.7.2 was used to calculate the different parameters [47].

2.2.2. Analysis of the Perceptions and Adaptation Strategies of Farmers to Climate Variability

Information on farmers' perceptions of climate variability was collected by conducting surveys with group surveys and individual interviews with farm managers from December 2018 to July 2019. Perception refers to the process in which people receive information and stimuli from their environment and transform them into conscious psychological actions [55]. The targets included adult (at least 30 years old) male and female farm managers randomly selected in the three localities of the Sudanian zone of Côte d'Ivoire (Tengréla, Ouangolodougou, and Tienko). The interviews were conducted either at their homes or on their farms depending on their availability. Before administering the questionnaire, a detailed description of the survey was presented to these participants. As a result, all farm managers interviewed consented. However, for confidentiality purposes, details such as the names of the participants in the survey were not disclosed. In this study, no laboratory studies or samples were performed on the respondents. Thus, a total of 287 male and female farm managers, aged 30 years and older, were interviewed. The surveyed farmers were randomly selected and subjected to a questionnaire covering the following elements: (1) identification of the farm manager: name, sex, age, marital status, level of education, and number of years of experience in agriculture; (2) characteristics of the farm: main crops grown, area sown, and whether or not they own draft animals; (3) the exercise of other non-agricultural activities; (4) the perception of climate variability; (5) the manifestations of climate variability observed in the locality; (6) the main impacts generated; and (7) the

strategies adopted to adapt to climate variability. Subsequently, descriptive and percentage analyses were used, and the descriptive analyses were then used to represent farmers' responses to these different variables.

Also, an ANOVA test was performed at the 5% probability level to determine if any differences existed between the means of the three localities. For this study, all descriptive and statistical analyses were performed using the R 3.5.2 software.

3. Results

3.1. Interannual Variability of Precipitation and Temperature over the Period 1987–2018 in the Sudanian Zone

The reduced centered index with raw and filter weighted data of annual precipitation over 32 years showed a high variability in precipitation with successive periods of deficit and surplus (Figure 2). The annual precipitation trends show a general upward trend in all three locations starting in 2008. Examination of the evolution of the duration of the rainy season in the three localities showed a high variability of the rainy season between 1987 and 2018. However, there is a trend back to relatively longer rainy seasons from 2010 onwards (Figure 3). At the same time, the rainy season is affected by the high variability in the number of rainy days over the 32 years (Figure 4). In addition, the graphical representation of the interannual evolution of dry spells of more than 5 days during the rainy season highlighted an ascending slope of the linear regression line in the three localities (Figure 5). This reflects a tendency of increasing amounts of dry spells between rainy days during the rainy season. For all variables, the significance test showed no significant difference ($p > 0.05$) between the different values from 1987 to 2018.

Trends in annual maximum and minimum temperature from 1987 to 2018 are shown in the figures (Figures 6 and 7). As with rainfall, there was an increase in maximum and minimum temperatures in all three locations. However, statistical analysis showed that the increase in temperature was not significant ($p > 0.05$).

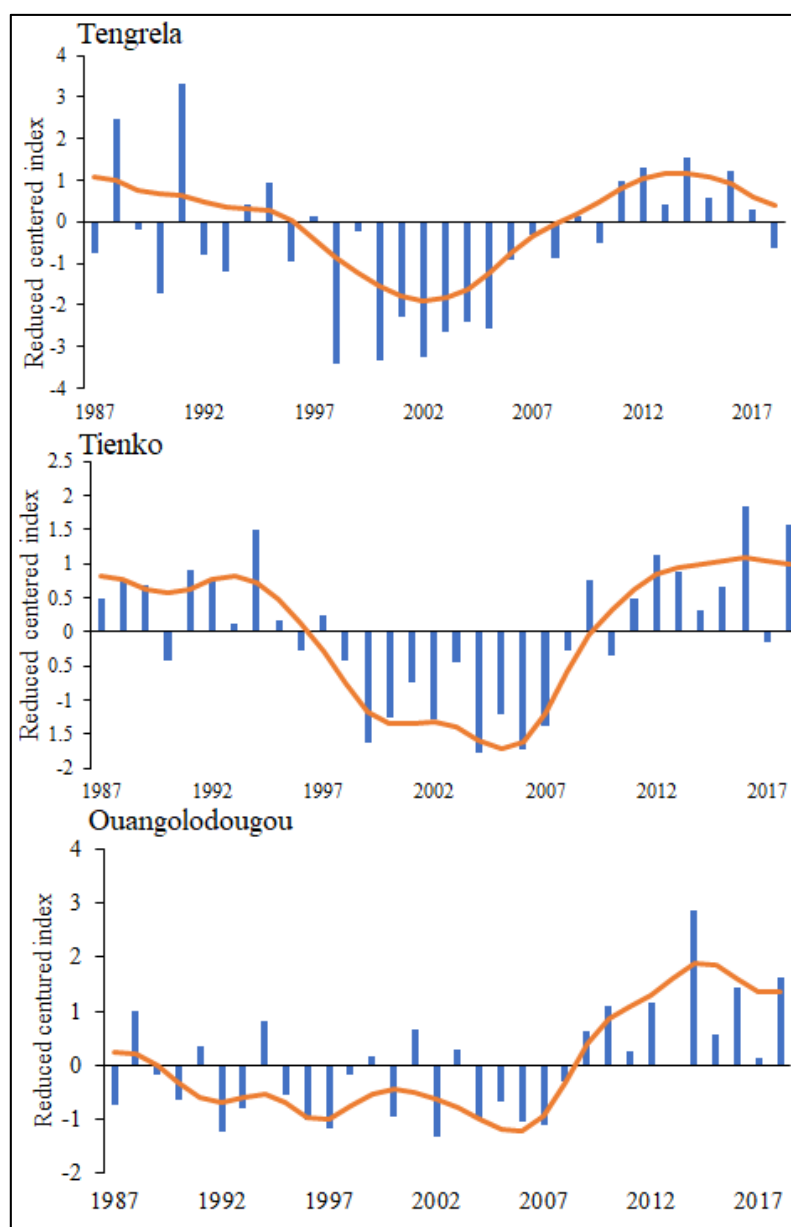


Figure 2. Interannual rainfall variability from 1987 to 2018 in the Sudanian zone of Côte d'Ivoire. Blue represents the rainfall index; Orange represents second-order Hanning non-recursive low-pass filter curve.

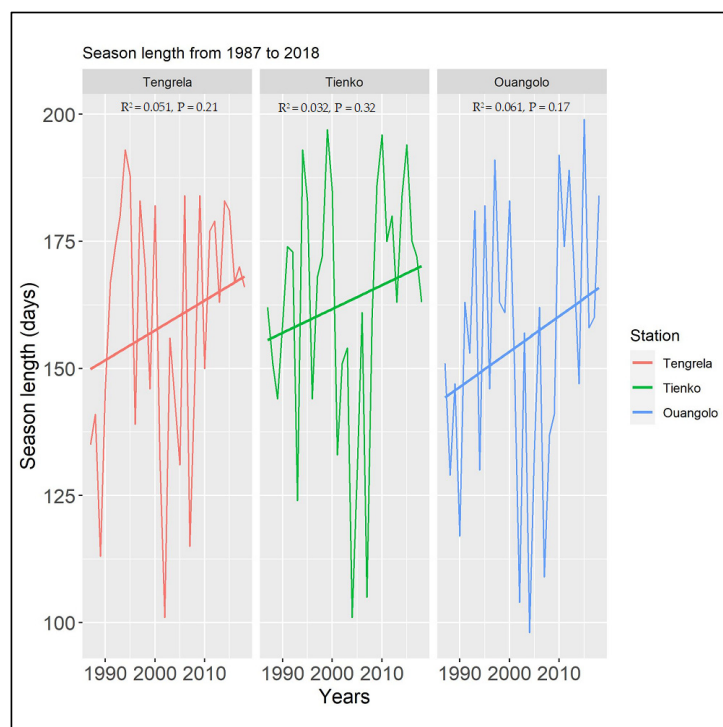


Figure 3. Interannual variability in rainy season duration from 1987 to 2018 in the Sudanian zone of Côte d’Ivoire. R^2 is the coefficient of determination, p is the significance at the 5% level. The red, green and blue curves represent the trend in the season length from 1987 to 2018 respectively for Tengréla, Tienko and Ouangolodougou.

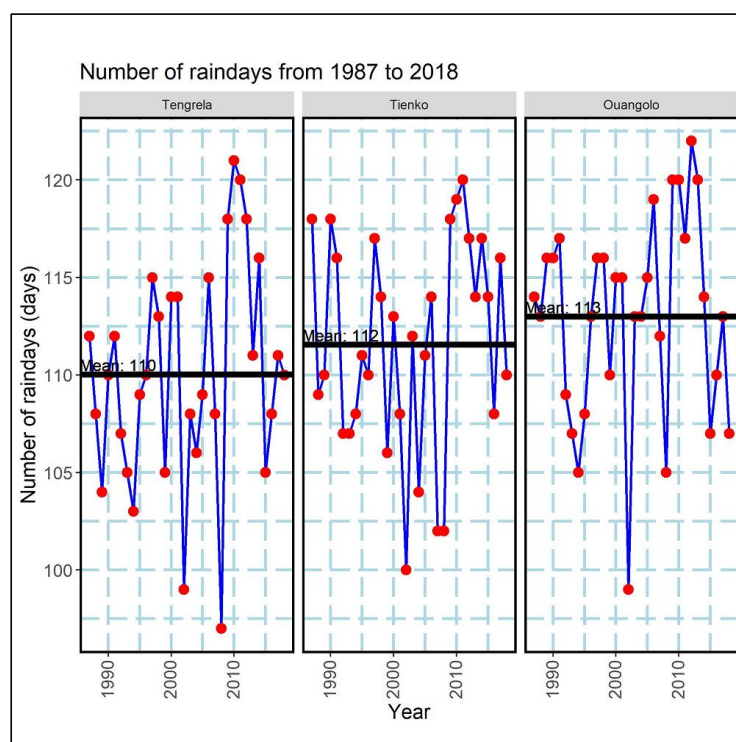


Figure 4. Interannual variability of the number of rainy days during the rainy season in the Sudanian zone of Côte d’Ivoire between 1987 and 2018. The blue curve represents the evolution of the number of rainy days over the 32 years. The red points represent the number of rainy days in a given year and the black line represents the average number of rainy days from 1987 to 2018.

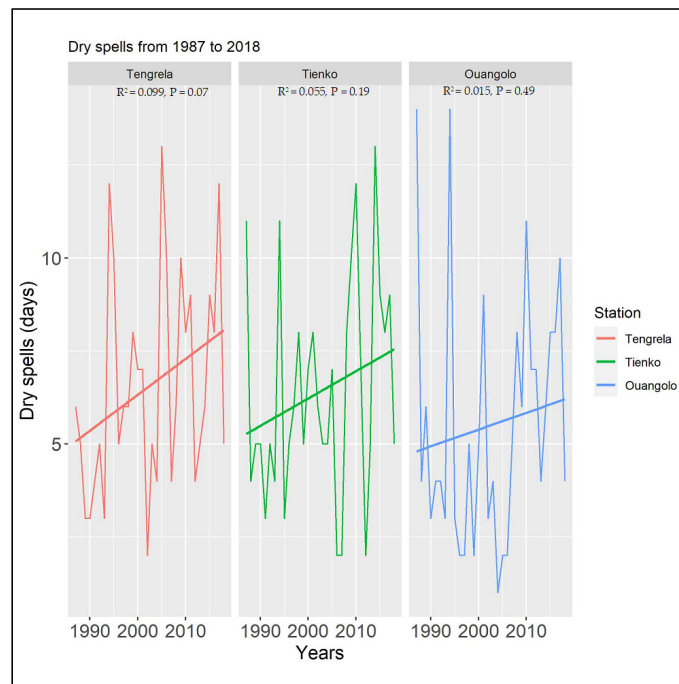


Figure 5. Changes in dry spells during the rainy season in the Sudanian zone of Côte d’Ivoire between 1987 and 2018. R^2 is the coefficient of determination, p is the significance at the 5% level. The red, green and blue curves represent the trend in the dry spells from 1987 to 2018 respectively for Tengrela, Tienko and Ouangolodougou.

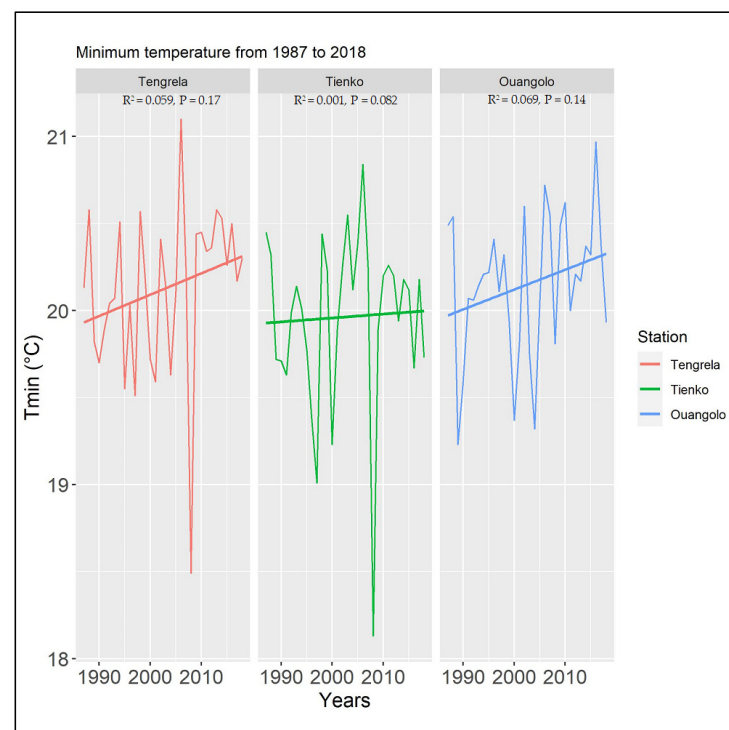


Figure 6. Evolution of annual minimum temperature in the Sudanian zone of Côte d’Ivoire between 1987 and 2018. R^2 is the coefficient of determination, p is the significance at the 5% level. The red, green and blue curves represent the trend in the minimum temperature from 1987 to 2018 respectively for Tengrela, Tienko and Ouangolodougou.

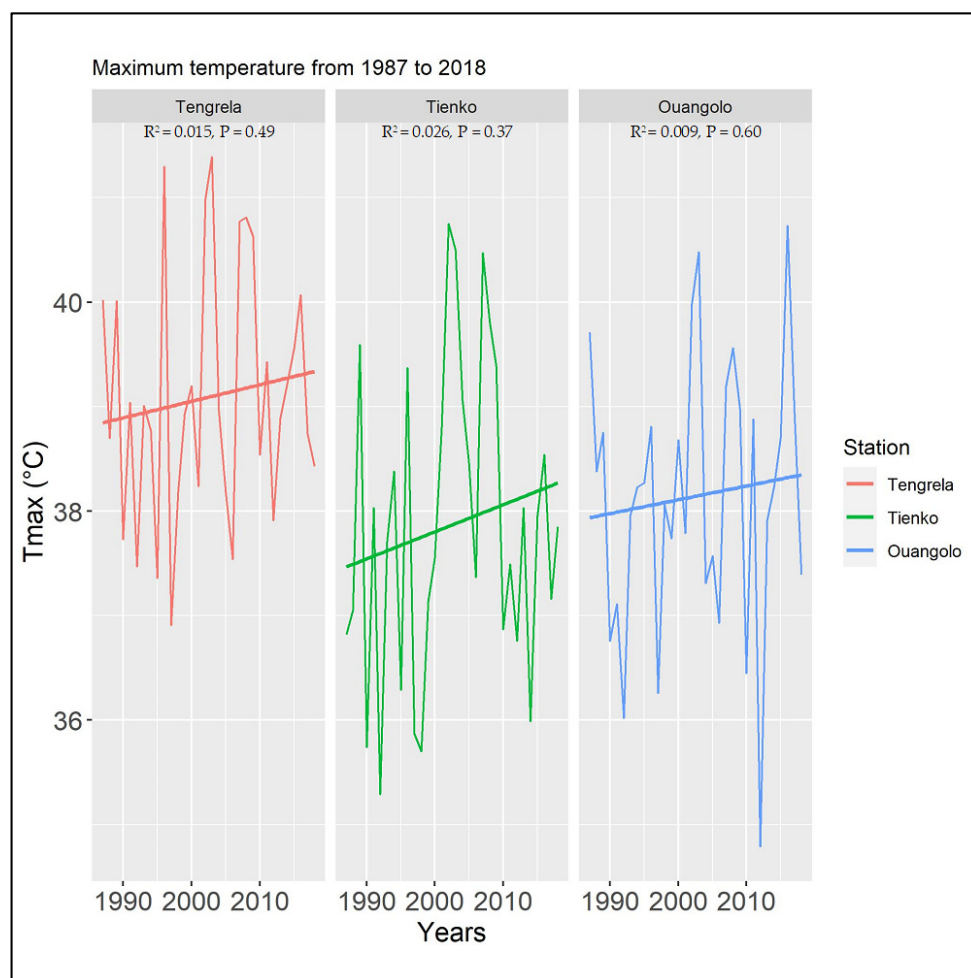


Figure 7. Changes in annual maximum temperature in the Sudanian zone of Côte d'Ivoire between 1987 and 2018. R^2 is the coefficient of determination, p is the significance at the 5% level. The red, green and blue curves represent the trend in the maximum temperature from 1987 to 2018 respectively for Tengrela, Tienko and Ouangolodougou.

3.2. Farmers' Perceptions and Adaptation Strategies to Climate Variability

3.2.1. Profile of the Operation

The profile of farm managers in the Sudanian zone (Table 1) shows that most of them (84.89%) are men, with 88.5% in Ouangolodougou, 91.2% in Tengrela, and 68% in Tienko. Farmers in the three localities have a relatively low level of education. However, they have many years of experience in agriculture, with an average of 30.41 years in Ouangolodougou, 26.62 years in Tengrela, and 26.40 years in Tienko (Table 2). Almost all these people (99.60%) have observed climate variability in their locality and were even able to clearly mention the different manifestations as well as the impacts on crops. The one-factor ANOVA test applied did not show any significant difference between localities in terms of the average number of people present on the farms. However, a highly significant difference was observed in the average area planted, which was 14 ha for Ouangolodougou, 17 ha for Tengrela, and 11 ha for Tienko. The main crops grown in the three localities are cashew nuts, cotton, maize, rice, peanuts, and sorghum.

Table 1. Profile of farm managers.

| Profile of Farm Managers | | Proportion of Citations (%) | | | |
|--------------------------|-------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------|
| | | Sudanian Zone (n = 287) | Ouangolodougou (n = 85) | Tengréla (n = 102) | Tienko (n = 100) |
| Average age | | 49.33 | 50.64 | 48.38 | 49.04 |
| Sex | Female | 15.11 | 11.50 | 8.80 | 32.00 |
| | Male | 84.89 | 88.50 | 91.20 | 68.00 |
| Level of education | Without education | 67.97 | 73.10 | 76.50 | 55.00 |
| | Educated | 32.03 | 26.90 | 23.50 | 45.00 |
| Possession of livestock | Yes | 76.79 | 87.20 | 86.30 | 59.00 |
| | No | 23.21 | 12.80 | 13.70 | 41.00 |

Table 2. Characteristics of the farms.

| Profile of the Operation | Proportion of Farmers (%) | | | | Pr (>F) |
|------------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------|---------|
| | Sudanian Zone (n = 287) | Ouangolodougou (n = 85) | Tengréla (n = 102) | Tienko (n = 100) | |
| Average number of animals | 8.00 | 5.00 ^a | 11.00 ^b | 9.00 ^{ab} | *** |
| Average number of people | 17.00 | 16.00 ^a | 17.00 ^a | 15.00 ^a | NS |
| Average farming experience (years) | 27.90 | 30.41 ^b | 26.62 ^a | 26.40 ^a | NS |
| Average area planted (ha) | 15.00 | 14.00 ^{ab} | 17.00 ^b | 11.00 ^a | *** |
| Main crops | | | | | |
| Cashew | 93.72 | 93.59 | 93.14 | 100.00 | |
| Cotton | 59.58 | 78.20 | 76.47 | 28.00 | |
| Corn | 89.19 | 87.18 | 96.08 | 88.00 | |
| Rice | 70.73 | 73.08 | 60.78 | 77.00 | |
| Peanut | 40.76 | 61.54 | 22.55 | 41.00 | |
| Sorghum | 17.07 | 11.54 | 38.23 | 0.00 | |
| Perception of climate variability | 99.60 | 100.00 | 99.00 | 100.00 | |

*** = significant difference, NS: not significant; locations with the same letter are not significantly different.

3.2.2. Manifestation and Impacts of Climate Variability in the Sudanian Zone of Côte d'Ivoire

All farmers clearly mentioned the manifestations of climate variability in their locality, with significant differences. The most recurrent manifestations are illustrated in Table 3. Thus, the main manifestation of climate variability concerns rainfall. Indeed, regardless of the locality, the shortening of the rainy season (75.95%) and the irregularity of rainfall (84.67%) during the rainy season are the manifestations of variability most mentioned by the farmers. However, depending on the locality, other manifestations were more frequently mentioned, such as the increase in temperature observed mainly in Tienko and Tengréla, and the prolongation of the drought and the increase in rainfall intensity observed in Ouangolodougou. All these different manifestations of climate variability have had enormous impacts on crops (Figure 8), particularly food crops such as maize, rice, sorghum, and especially millet. The most notable impacts are the decrease in crop yields, particularly in Tengréla (92.16%) and Tienko (96%). However, farmers in Tienko also reported an increase in insect attacks on crops (35%) and early crop drying (86%). On the other hand, 97.43% and 51.28% of Ouangolodougou farmers respectively cited disruption of the cropping calendar and crop flooding as the main impacts of climate variability in their locality.

Table 3. Manifestations of climate variability as perceived by farmers.

| Signs of Climate Variability Evoked | Proportion of Citations (%) | | | | Pr (>F) |
|-------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------|---------|
| | Sudanian Zone (n = 287) | Ouangolodougou (n = 85) | Tengréla (n = 102) | Tienko (n = 100) | |
| Increase in temperature | 13.60 | 7.06 ^a | 15.68 ^a | 17.00 ^a | NS |
| Increase in precipitation intensity | 12.20 | 37.65 ^b | 2.94 ^a | 0.00 ^a | *** |
| Dense fog | 0.35 | 1.18 ^a | 0.00 ^a | 0.00 ^a | NS |
| Irregularity of precipitation | 84.67 | 58.82 ^a | 91.18 ^{ab} | 100.00 ^b | *** |
| Prolonged drought | 23.70 | 44.70 ^c | 28.43 ^b | 1.00 ^a | *** |
| Shortening of the rainy season | 75.95 | 67.06 ^a | 83.33 ^{ab} | 85.00 ^b | *** |
| Drying up of rivers | 9.06 | 8.23 ^{ab} | 16.67 ^b | 2.00 ^a | *** |

***: significant difference, NS: not significant; locations with the same letter are not significantly different.

3.2.3. Strategies for Adapting to Climate Variability

In response to the various manifestations of climate variability in the different localities, farmers have adopted numerous strategies to limit the negative effects on the farms. A total of 16 adaptation strategies were reported in the three locations (Table 4). Adaptation of the cropping calendar is the main strategy common to all three localities, as it is used by more than three quarters (86.41%) of the farmers in the Sudanian zone of Côte d'Ivoire. In addition to this strategy, 87.14% of farmers in the Sudanian zone opt for cashew nut cultivation. For these two most adopted strategies, the ANOVA test indicates that there is no significant difference at the 5% level between the different localities. Beyond these two strategies common to the different localities, the adoption of certain adaptation strategies varies from one locality to another. In Ouangolodougou, the majority of farmers use improved seeds and diversify crops on their plots. In Tengréla, farmers are more likely to use organic manure based on ox dung, chemical fertilizers for soil improvement, and to adopt agroforestry practices. Moreover, farmers in this locality are increasingly using animal traction to plow their plots, burning cotton stalks on the farm plot, and adopting crop rotation. Finally, in Tienko, farmers prefer to expand the agricultural area and diversify crops on the farm plot.

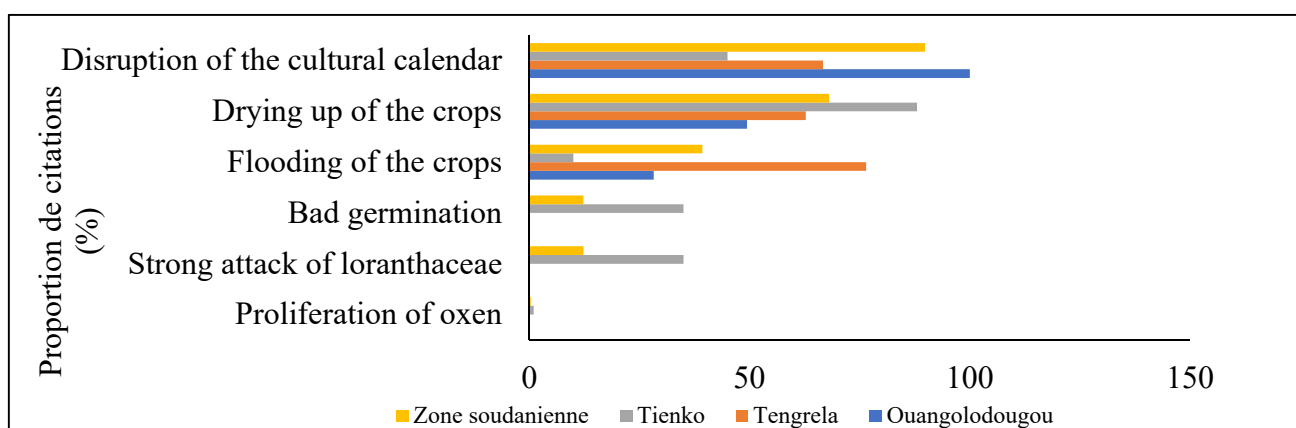
**Figure 8.** Impacts of climate variability mentioned by farmers.

Table 4. Main coping strategies adopted by farmers.

| Line Labels | Proportion of Citations (%) | | | | Pr (>F) |
|--|-----------------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------|---------|
| | Sudanian Zone (n = 287) | Ouangolodougou (n = 85) | Tengréla (n = 102) | Tienko (n = 100) | |
| Abandonment of certain drought-sensitive crops | 6.96 | 3.53 ^a | 5.88 ^a | 11.00 ^a | NS |
| Adaptation of the crop calendar | 86.41 | 90.59 ^a | 88.23 ^a | 81.00 ^a | NS |
| Practice of agroforestry | 5.57 | 0.00 ^a | 11.76 ^b | 4.00 ^{ab} | *** |
| Increase in the size of the ridges | 2.78 | 4.70 ^a | 3.92 ^a | 0.00 ^a | NS |
| Increase in the surface of the crops | 11.14 | 3.53 ^a | 8.82 ^a | 20.00 ^b | *** |
| Change in activity | 0.34 | 0.00 ^a | 0.00 ^a | 1.00 ^a | NS |
| Crop diversification | 16.37 | 27.06 ^b | 0.98 ^a | 23.00 ^b | *** |
| Cashew nut cultivation | 87.14 | 85.89 ^a | 88.23 ^a | 87.00 ^a | NS |
| Use of improved varieties | 49.12 | 91.76 ^b | 25.49 ^a | 39.00 ^a | *** |
| Replanting | 0.34 | 0.00 ^a | 0.00 ^a | 1.00 ^a | NS |
| Crop rotation | 5.57 | 2.35 ^a | 11.76 ^b | 2.00 ^a | *** |
| Animal traction | 9.05 | 0.00 ^a | 13.72 ^b | 12.00 ^b | *** |
| Use of cotton stalk ash | 4.52 | 0.00 ^a | 10.78 ^b | 2.00 ^a | *** |
| Use of organic manure | 22.64 | 11.76 ^a | 45.10 ^b | 9.00 ^a | *** |
| Use of chemical fertilizers | 21.25 | 1.18 ^a | 45.10 ^b | 14.00 ^a | *** |
| Use of pesticides | 12.89 | 11.76 ^a | 12.74 ^a | 14.00 ^a | NS |

***: highly significant difference, NS: not significant. Locations with the same letter values are not significantly different.

4. Discussion

4.1. Rainfall and Thermal Variability in the Sudanian Zone of Côte d'Ivoire

The Sudanian zone of Côte d'Ivoire is subject to significant interannual variations marked by a succession of deficit and surplus periods in the rainfall series with a return to better rainfall conditions in the zone since 2008. Indeed, a return to an increase in rainfall has been reported by many studies conducted in several sub-Saharan African countries including that of Nouaceur et al. [56] in Burkina Faso, Senegal, Mauritania, and Bodian [57] in the southern and northern Sudanian zone of Senegal. This return to more humid conditions can be explained in the Sudanian zone by the rehabilitation of degraded land following the numerous soil recovery and restoration works carried out [52,58]. More and more farmers in the Sudanian zone of Côte d'Ivoire are interested in cashew cultivation, which is a perennial woody crop that, when mature, can develop into a real forest. However, the increase in rainfall in the Sudanian zone is negatively correlated with the evolution of the number of rainy days. The decrease in the number of rainy days observed in the Sudanian zone of Côte d'Ivoire is generally in line with the heavy trend in the evolution of rainy days observed throughout the African continent [59–61]. According to authors [59–61], the number of rainy days seems to have decreased since the 1970s in these different regions of Africa. In parallel with the rainfall amounts, the maximum and minimum temperatures show an increasing trend. The increase in temperature can generate in the Sudanian zone of Côte d'Ivoire a strong variability in rainfall amounts and number of rainy days. In general, our results are consistent with temperature trends in Côte d'Ivoire and Africa. Indeed, linear regression applied to temperature data in many regions of Côte d'Ivoire from 1961 to 2010 yields a steady increase with an absolute rate of 1.6 °C over the last 50 years. Over the last century, the evolution of temperatures in Africa has shown a trend faster than global warming. This increase has varied from 0.2 to 0.8 °C since the late

1970s with a slightly greater warming between June and November [60,62]. Between 1980 and 2080, the IPCC [5] predicts temperature increases of about 0.30 °C per decade in the West African area.

4.2. Farmers' Characteristics and Perceptions of Climate Variability

Analysis of the characteristics of the farmers revealed that nearly 68% of these people have not attended school and there is also a low representation of women as farm managers. This finding may be attributable to the cultural realities of the study area, where Malinke and Senufo are the dominant peoples. These two peoples have a culture that is particularly based on agriculture, leaving schooling in second place. The low rate of women's access to land is mainly the result of customary rules. In general, in most African societies, land is owned by men and women have only use rights [63,64]. In these African societies, women play an important role in post-harvest activities (threshing, shelling, and agro-processing) as well as in the commercial activities that follow. In the Sudanian zone of Côte d'Ivoire, the 15% of women who own farms are for the most part owners following the death of their husbands. Thus, men are in the majority as farm managers. However, regardless of sex and education level, all farmers perceived climate variability through such manifestations as irregular rainfall, shortening of the rainy season, appearance of dry spells during the rainy season, and increased heat. The identification of these different climatic parameters demonstrates that farmers are aware of climate change in their locality. These manifestations were more visible and memorable by the farmers because they are the main parameters that impact the crops the most and thus determine the good or bad agricultural season [29,52,65]. Dedjan [65] found that these parameters were the recent climate changes mostly felt by farmers in the Sudanian zone of Benin. The perception of climate variability by farmers in the Sudanian zone of Côte d'Ivoire corroborates perfectly the trends observed with the analysis of climate data for the last 32 years, except for the duration of the rainy season. Indeed, unlike the majority of farmers who mentioned irregularity or even a decrease in rainfall, the analyses showed an increase in rainfall since 2008 followed by an extension of the rainy season in the Sudanian zone of Côte d'Ivoire. The inadequate perception of the season by farmers can be explained by the occurrence of dry periods of more than 5 days during the rainy season followed by a high rainfall variability observed in recent years in the various localities. Indeed, the cumulative annual rainfall alone does not determine the weakness or importance of agricultural yields. Other factors, such as delays in the onset of rains, dry spells in the middle of the rainy season, or an extension of the rainy season, disrupt the agricultural calendar, and consequently reduce agricultural yields [66]. As in the Sudanian zone, the poor perception of the evolution of the rainy season by farmers has been revealed in studies conducted in the Sahelian and Sudanian zones of Niger [67]. This discrepancy can be attributed to the tendency of farmers to focus on the negative events in a series characterized by high variability. Thus, the high variability of rainfall parameters has led to a disruption of the agricultural calendar among farmers in the Sudanian zone of Côte d'Ivoire. Contrary to the poor perception of certain rainfall parameters, farmers' perceptions of the increase in temperature in their locality corroborate the scientific data perfectly. The variation in meteorological parameters (temperature, rainfall) has had considerable impacts on agricultural activities, more negative than positive. The decrease in the duration of rainy days and the appearance of dry seasons during the rainy season correlated with the increase in temperature which led to the decrease in agricultural production mentioned by many farmers in the Sudanian zone of Côte d'Ivoire. Several authors have shown the impact of temperature increase. The rise in temperature can influence the length of the growing season of crops while reducing the growth cycle [60]. In addition, it can have a significant impact on the water balance while increasing water stress due to increased evaporation, especially in regions where water is often a limiting factor [8]. In addition, higher temperatures accelerate the rate of crop development, resulting in an overall increase in crop water requirements [68]. The impact of increased temperature on

crop yields, particularly those of millet, sorghum and maize in West Africa and Europe, has already been demonstrated by several authors [26,69,70].

4.3. Adaptation Measures of Farmers to Face Climate Variability in the Sudanian Zone of Côte d'Ivoire

Farmers have implemented numerous strategies to cope with the high climatic variability in the Sudanian zone of Côte d'Ivoire and its innumerable negative effects on crops. The implementation of adaptation strategies by farmers may result from their good perception of the different manifestations of climate variability. In addition, this can be justified by the long agricultural experience (28 years on average) of the farmers. Indeed, with experience, farmers become more aware of the problems facing the farm over time. Thus, long experience allows farmers to broaden their diagnostic horizons, to improve their actions in case of shocks, or to predict certain future changes such as the evolution of rainfall [71]. Among the strategies adopted by farmers, the most common was the adaptation of the cropping calendar through the changing of sowing dates. Indeed, the beginning of May was the period during which most farmers carried out sowing. However, with the disruption of the rains, sowing is performed at the end of May or even in June. Farmers mentioned the technique of adapting the cropping calendar as being effective in that it allows crops to reduce or cancel the effects of water stress [29]. Despite its benefits, shifting planting dates can reduce the time available for crop maturation and thus lead to a delay in crop development, which can potentially reduce final yield. In addition, climatic variability has forced many farm managers to acquire draught oxen, with an average number of draught oxen ranging from 5 to 11 per farm. The use of oxen allows farmers to plow large areas quickly and easily, thus increasing the cultivable area [68]. In addition, it allows large ridges to be formed in a shorter time. Increasing the size of the ridges is widely adopted by farmers because this strategy not only limits the damage caused by floods, but also forms drainage channels for the water in the fields to facilitate its evacuation. Ridges are effective for water catchment due to their ability to retain rainwater and control runoff compared with conventional tillage [72]. Another strategy of farmers is to shift from crops that they consider to be very sensitive to climate variability to more resilient crops. They favor early maturing crops or improved short-cycle seeds for which production techniques have been improved, such as maize, short-cycle rice, and cotton, over long-cycle crops such as millet, yam, sorghum, and cassava. In addition to these strategies, some farmers use manure made from ox dung or household waste to optimize production. Farmers with oxen keep them on a plot in the field or in another area. Then when the agricultural season approaches, this portion of land is recovered and dumped on the crop plot. The manure dumped on the farm plot acts as a fertilizer, as farmers report that crops planted on these plots produce more than those planted elsewhere. The organic manure helps to maintain a good soil structure and improve its water retention capacity [73]. Dumping manure on the farm plot provides a more stable form of carbon in the soil over the long term, thus contributing to climate change mitigation [74]. The majority of farmers are aware of the relevant benefits of manure for agricultural plots but very few have the material and financial means to practice it. Thus, other farmers are using crop diversification. Crop diversification is one of the important adaptation options in agriculture because it not only compensates for potential economic losses on certain crops but also guarantees a minimum income [60,71,75]. Thus, many farmers, especially men, are increasingly interested in cashew cultivation, which, in addition to being drought resistant, provides financial income to compensate for losses caused by the decline in food crop production. The official minimum field price for cashew nuts has increased from 200 FCFA/kg in 2008 to 500 FCFA/kg in 2018, providing farmers with approximately 500,000 FCFA/ton [76]. Moreover, crop diversification is essential to reduce the massive use of agricultural inputs such as pesticides, fertilizer, and water and the environmental nuisances associated with their excessive use [77,78]. In addition, in some localities in the Sudanian zone, such as Tengréla, crop rotation is highly valued. Crop rotation is based on the organization of an orderly and repeated succession of crops on the

same plot. It is mainly practiced between cotton and maize by farmers in Tengréla. Indeed, when farmers grow cotton on a plot one year, the next year they grow maize in place of cotton on the same plot, and so on. According to Lupwayi et al. [79] and Zaatra [71], the rotation preserves soil structure and organic matter content, while reducing pathogen and disease damage and lowering production quality. One of the strategies also adopted is the burning of cotton stalks on the agricultural plot. This consists of gathering the cotton stalks in small piles on the plot and proceeding with burning after the harvest season. Several farmers have testified to the good productivity of crops planted on plots where the stalks have been burned. Finally, the practice of agroforestry is increasingly adopted by farmers. It consists of sparing numerous plant species in the fields, notably shea (*Vitellaria paradoxa*) and nere (*Parkia biglobosa*). The species kept on the plot provide many ecosystem services that reduce the impact of climate variability. The fruits of these species are used as food during the lean season, and the seeds are sold on the local and regional markets, thus providing additional income to the farmers, especially the women. During the survey phase, many women revealed that shea butter can bring in up to 100,000 CFA/year and nere up to 150,000 CFA/year. According to Seghieri and Harmand [80], agroforestry is one of the solutions for sustainable use of limited natural resources and for adaptation to global demographic, economic, and climatic changes. Some strategies adopted by farmers are illustrated in Figure 9.

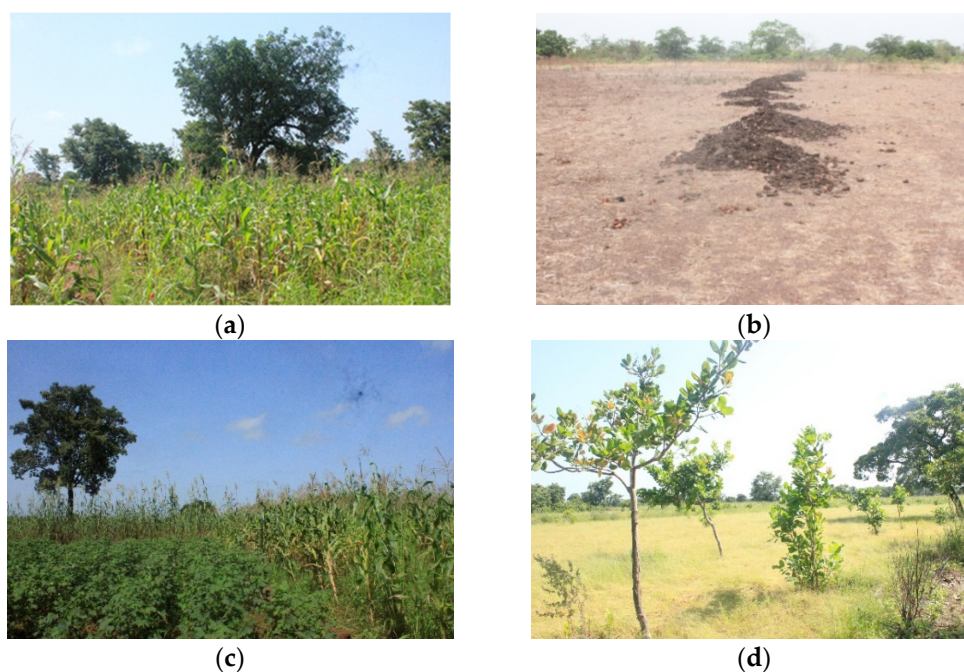


Figure 9. Illustration of some coping strategies adopted by farmers in the Sudanian zone of Côte d’Ivoire. Source: Field survey 2019. (a) Agroforestry plot with shea trees and corn in Tengréla; (b) Organic manure dumped on a cultivation plot in preparation in Tengréla; (c) Diversification of crops on the agricultural plot (corn-sorghum-cotton) in Ouangolodougou; (d) Conversion of a plot of land dedicated to fonio into a cashew plantation in Tienko.

5. Conclusions

The approach used in this study highlighted the different manifestations of climatic variables in the Sudanian zone of Côte d’Ivoire, the perceptions of farmers and the strategies adopted by them to cope to with the different impacts of climate change on their agricultural practices. Thus, the Lamb index showed a fluctuation of deficit and surplus rainfall periods in the time series from 1987 to 2018. Moreover, within the same time period, an increase in temperature was observed. As the agricultural practice in this northern zone is strongly dominated by rain-fed crops, these different manifestations of rainfall and temperature

have negative impacts on agriculture. This finding was confirmed by almost all farmers in the region during interviews. These individuals stated that they had perceived the different manifestations of climate variability in their locality as well as the impacts on their crops. The impacts mentioned included disruption of the cropping calendar, reduced crop yields due to crop desiccation, crop flooding, and poor crop germination. In response to the negative impacts of climate variability on crops, farmers have adopted many coping strategies. The most important of these are the modification of sowing dates, diversification of crops on the farm plot, use of improved seeds, use of organic manure based on ox dung, adaptation of the agricultural calendar, and especially the allocation of land to more drought-resistant crops and the conversion of land to cashew plantations. These different strategies used by farmers in the Sudanian zone of Côte d'Ivoire were implemented on the basis of their local knowledge, personal experience, and also due to the advice of other farmers in the locality. It is clear from this study that farmers in the Sudanian zone of Côte d'Ivoire remain particularly vulnerable to climate change insofar as the strategies used by farmers in the Sudanian zone are still rudimentary. It is therefore necessary that the strategies already adopted by farmers to cope with climate variability be better reinforced by specialized agronomic structures (State or NGO) in order to improve them and then popularize them in other regions of Côte d'Ivoire and Africa. In addition, the study revealed a low representation of women as farm managers in this region, with a greater share of domestic expenses being devoted to women. It would therefore be important to increase women's empowerment by facilitating their acquisition of agricultural plots and access to agricultural inputs (fertilizers, agricultural equipment, etc.) in order to increase their agricultural productivity. In addition, based on the results of this study and other studies conducted elsewhere, there is a need for the state to put in place capacity building programs for farmers. This program may include training in agro-climate intelligence to be developed by agricultural extension agents while building the capacity of agricultural extension systems. It is also important to provide farmers with a climate change education program with ICT innovations such as cell phone applications. However, following the present study, it will be necessary to define in further research the factors that determine the choice of adaptation methods used by farmers in the Sudanian zone of Côte d'Ivoire and to evaluate the relevance of these factors.

Author Contributions: Conceptualization, N.T., Y.S.S.B. and J.B.; Data curation, N.T.; Formal analysis, N.T. and A.T.M.K.; Survey, N.T. and A.T.M.K.; Methodology, N.T. and A.T.M.K.; Resources, Y.S.S.B. and J.B.; Software, N.T.; Validation, N.T.; Visualization, N.T., I.B. and Y.S.S.B.; Writing—original version, N.T., I.B. and Y.S.S.B.; Writing—revision and editing, N.T., A.T.M.K., I.B., Y.S.S.B. and J.B. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by the Groupe de recherche interdisciplinaire en écologie du paysage et environnement of the Université Jean Lorougnon Guédé (www.griepe.net), Daloa, Côte d'Ivoire.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Not applicable.

Acknowledgments: The authors would like to thank the Groupe de recherche interdisciplinaire en écologie du paysage et environnement (www.griepe.net) and all the farming communities for their hospitality and assistance in collecting data at the various study sites.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Kosmowski, F.; Gibigaye, M.; Muller, B.; Lalou, R. Innover en milieu rural ouest-africain Quels changements dans les pratiques agricoles des exploitants? In *Les Sociétés Rural. Face Aux Chang. Clim. Environnementaux en Afrique l'Ouest*; IRD: Marseille, France, 2015; pp. 1–19.
2. Clarke, C.; Shackleton, S.; Powell, M. Climate change perceptions, drought responses and views on carbon farming amongst commercial livestock and game farmers in the semiarid Great Fish River Valley, Eastern Cape province, South Africa. *Afr. J. Range Forage Sci.* **2012**, *29*, 13–23. [[CrossRef](#)]
3. Tesfahunegn, G.B.; Mekonen, K.; Tekle, A. Farmers' perception on causes, indicators and determinants of climate change in northern Ethiopia: Implication for developing adaptation strategies. *Appl. Geogr.* **2016**, *73*, 1–12. [[CrossRef](#)]
4. Amjath-Babu, T.; Krupnik, T.J.; Aravindakshan, S.; Arshad, M.; Kaechele, H. Climate change and indicators of probable shifts in the consumption portfolios of dryland farmers in Sub-Saharan Africa: Implications for policy. *Ecol. Indic.* **2016**, *67*, 830–838. [[CrossRef](#)]
5. GIEC. Résumé à l'intention des décideurs. In *Bilan 2007 des Changements Climatiques: Impacts, Adaptation et Vulnérabilité. Contribution du Groupe de Travail II au Quatrième Rapport D'Évaluation*; Rapport du Groupe D'Experts Intergouvernemental sur L'Évolution du Climat; Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J., Hanson, C.E., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2007.
6. IPCC. *Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., Linden, P.J., van der Dai, X., Maskell, K., Johnson, C.A., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2001; p. 94.
7. Folefack, P.D.; Sale, A. Facteurs affectant l'utilisation de la fumure organique dans les exploitations agricoles en zone sahéenne du Cameroun. *Afr. Sci. Rev. Int. Des Sci. Technol.* **2012**, *8*, 22–33.
8. Faye, A.; Camara, I.; Noblet, M.; Mboup, S.D. Evaluation de la vulnérabilité du secteur agricole à la variabilité et aux changements climatiques dans la région de Fatick: Secteur Agricole. *Projet d'Appui Sci. aux Process. Plans Natx. d'Adaptation Dans les Pays Francoph. les Moins Avancés d'Afrique Subsaharienne*. 2019, p. 100. Available online: https://climateanalytics.org/media/agri_pasna_sn_rapport_final_etude_vulnerabilite.pdf (accessed on 5 June 2022).
9. FAO. *Climate Change Implications for Food Security and Natural Resources Management in Africa*; FAO: Rome, Italy, 2010; pp. 3–7.
10. CSAO/OCDE. *Climats, Changements Climatiques et Résiliences: Cartes et Faits*; CSAO/OCDE: Paris, France, 2015; p. 1.
11. Zake, J.; Hauser, M. Farmers' perceptions of implementation of climate variability disaster preparedness strategies in Central Uganda. *Environ. Hazards* **2014**, *13*, 248–266. [[CrossRef](#)]
12. Djohy, G.L.; Bouko, B.S.; Dossou, P.J.; Yabi, J.A. Perception of climate change by cattle herders and meteorological observations in the upper oueme basin in Benin. *Rev. D'élevage Med. Vet. Pays Trop.* **2021**, *74*, 145–152. [[CrossRef](#)]
13. Taylor, C.M.; Belušić, D.; Guichard, F.; Parker, D.J.; Vischel, T.; Bock, O.; Harris, P.P.; Janicot, S.; Klein, C.; Panthou, G. Frequency of extreme Sahelian storms tripled since 1982 in satellite observations. *Nature* **2017**, *544*, 475–478. [[CrossRef](#)]
14. Salack, S.; Sarr, B.; Sangare, S.; Ly, M.; Sanda, I.; Kunstmann, H. Crop-climate ensemble scenarios to improve risk assessment and resilience in the semi-arid regions of West Africa. *Clim. Res.* **2015**, *65*, 107–121. [[CrossRef](#)]
15. Salack, S.; Sultan, B.; Oettli, P.; Muller, B.; Gaye, A.T.; Hourdin, F. Représentation de la pluie dans les modèles régionaux de climat et application à l'estimation des rendements du mil au Sénégal. *Sci. Chang. Planétaires Secher.* **2012**, *23*, 14–23.
16. Georgopoulou, E.; Mirasgedis, S.; Sarafidis, Y.; Vitaliotou, M.; Lalas, D.P.; Theloudis, I.; Giannoulaki, K.-D.; Dimopoulos, D.; Zavras, V. Climate change impacts and adaptation options for the Greek agriculture in 2021–2050: A monetary assessment. *Clim. Risk Manag.* **2017**, *16*, 164–182. [[CrossRef](#)]
17. Brou, Y.; Akindes, F.; Bigot, S. La variabilité climatique en Côte d'Ivoire: Entre perceptions sociales et réponses agricoles. *Cah. Agric.* **2005**, *14*, 533–540.
18. IPCC. *Le Changement Climatique et L'eau Groupe D'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat*; IPCC: Geneva, Switzerland, 2008.
19. Dje, K.B.; Nguessan, K.R. Conditions de la Sécheresse et Stratégies de Leur Gestion en Côte D'Ivoire. 2014, p. 6. Available online: https://www.google.com.hk/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewjoyKyXvZ_5AhVnxzGhftEA64QFnoECAIQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.ais.unwater.org%2Fais%2Fpluginfile.php%2F629%2Fmod_page%2Fcontent%2F6%2FCote%2520Divoire_FR.pdf&usq=AOvVaw2D1p6gH4OHNedPh8lC65eI (accessed on 5 June 2022).
20. World Bank Group. Pour que Demain ne Meure Jamais: La Cote d'Ivoire Face au Changement Climatique (French). 2018, p. 61. Available online: <http://documents.worldbank.org/curated/en/470341530853819903/Pour-que-Demain-ne-Meure-Jamais-La-Cote-dIvoire-Face-au-Changement-Climatique> (accessed on 5 June 2022).
21. Kouassi, A.M.; Kouamé, K.F.; Koffi, Y.B.; Dje, K.B.; Paturel, J.E.; Oulare, S. Analyse de la variabilité climatique et de ses influences sur les régimes pluviométriques saisonniers en Afrique de l'Ouest: Cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire. *Cybergeo Eur. J. Geogr.* **2010**. [[CrossRef](#)]
22. Sadia, C. Construire la Résilience au Changement Climatique par les Connaissances Locales: Le cas des Régions Montagneuses et des Savanes de Côte d'Ivoire. 2014, pp. 1–28. Available online: https://www.google.com.hk/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewi93vLcv5_5AhX4xTgGHWe3BmAQFnoECAwQAQ&url=https%3A%2F%2Fhalshs.archives-ouvertes.fr%2Fhalshs-01081449%2Fdocument&usq=AOvVaw36okMwWUha72AIMS0nJ19X (accessed on 5 June 2022).

23. Ernest, A.K.; Blaise, K.Y.; Michel, K.A.; Gbombélé, S.; Nagnin, S.; Jean, B. Étude de la variabilité hydroclimatique et de ses conséquences sur les ressources en eau du Sud forestier et agricole de la Côte d'Ivoire: Cas de la région d' Abidjan-Agboville. *Int. J. Pure Appl. Biosci.* **2013**, *1*, 30–50.
24. Goula, B.T.A.; Srohourou, B.; Brida, A.B.; Zué, K.A.N.; Goroza, G. Determination and variability of growing seasons in Côte d'Ivoire. *Int. J. Eng. Sci. Technol.* **2010**, *2*, 5993–6003.
25. Ministère de l'environnement et du développement durable. Plan National sécheresse de Côte d'Ivoire (20212025). Abidjan, Côte d'Ivoire; 2020; p. 131. Available online: https://www.unccd.int/sites/default/files/country_profile_documents/PNS_Version%20finale_sept2020.pdf (accessed on 5 June 2022).
26. Sultan, B.; Roudier, P.; Quirion, P.; Alhassane, A.; Muller, B.; Dingkuhn, M.; Ciais, P.; Guimberteau, M.; Traore, S.; Baron, C. Assessing climate change impacts on sorghum and millet yields in the Sudanian and Sahelian savannas of West Africa. *Environ. Res. Lett.* **2013**, *8*, 014040. [[CrossRef](#)]
27. Wood, S.A.; Jina, A.S.; Jain, M.; Kristjanson, P.; DeFries, R.S. Smallholder farmer cropping decisions related to climate variability across multiple regions. *Glob. Environ. Chang.* **2014**, *25*, 163–172. [[CrossRef](#)]
28. Kouassi, K.F.; Diomandé, B.I.; Koffi, K.N. Types de Réponses Apportées par les Paysans Face aux Contraintes Pluviométriques dans le Centre de la Côte d'Ivoire: Cas du Département de Daoukro. In Proceedings of the XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège, Belgique; 2015; pp. 355–360. Available online: http://www.climato.be/aic/colloques/actes/ACTES_AIC2015/4%20Agroclimatologie/057-KOUASSI-355-360.pdf (accessed on 5 June 2022).
29. Ouédraogo, M.; Dembélé, Y.; Somé, L. Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements des précipitations: Cas des paysans du Burkina Faso. *Sécheresse* **2010**, *21*, 87–96. [[CrossRef](#)]
30. Sanoussi, A.; Mohamed, L.; Seyni, S.; David, A.G. Adapting to climate variability and change in smallholder farming communities: A case study from Burkina Faso, Chad and Niger. *J. Agric. Ext. Rural Dev.* **2015**, *7*, 16–27. [[CrossRef](#)]
31. Tidjani, A.D.; Abdou, A.A.; Faran, M.; Amadou, O.; Amoukou, I. Perceptions de la variabilité climatique et stratégies d'adaptation dans le système oasien de Gouré Farmers perception and adaptation strategies to climate. *Agron. Afr.* **2016**, *28*, 25–37.
32. Ministère de l'environnement, de la salubrité urbaine et du développement durable. Document de Stratégie Nationale de Lutte contre les Changements Climatiques (20152020). Programme National Changement Climatique (PNCC). Abidjan, Côte d'Ivoire; 2014; p. 55. Available online: https://chm.cbd.int/api/v2013/documents/02BD4D5F-376D-457C-0F61-4370D0BCE50E/attachments/207104/STRATEGIE_NATIONALE_CHANGEMENT_CLIMATIQUE.pdf (accessed on 5 June 2022).
33. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Profil de Risque Climatique: Côte d'Ivoire. 2000, p. 12. Available online: https://www.google.com.hk/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjgqKiw5_5AhVlqFYBHZeTBNAQFnoECACQAw&url=https%3A%2F%2Fwww.adaptationcommunity.net%2Fwp-content%2Fuploads%2F2021%2F02%2FGIZ_Climate-Risk-Profile-Cote-dIvoire_FR_08.pdf&usq=AOvVaw2OzQUnAp0LbUJE7MCZSuaZ (accessed on 5 June 2022).
34. Yegbemey, R.N.; Yabi, J.A.; Aihounon, G.B.; Paraiso, A. Modélisation simultanée de la perception et de l'adaptation au changement climatique: Cas des producteurs de maïs du Nord Bénin (Afrique de l'Ouest). *Cah. Agric.* **2014**, *23*, 177–187.
35. République de Côte d'Ivoire. Etat des lieux de la mise en œuvre des NDC de la Côte d'Ivoire: Volet adaptation aux changements climatiques. Abidjan, Côte d'Ivoire; 2019; p. 70. Available online: https://www.climat-civ.org/assets/documents/NDC_Adaptation_Rapport_final_19_Nov.pdf (accessed on 5 June 2022).
36. Dekoula, C.S. Variabilité des descripteurs pluviométriques intrasaisonniers à impact agricole dans le bassin cotonnier de Côte d'Ivoire: Cas des zones de Boundiali, Korhogo et Ouagadougou. *J. Appl. Biosci.* **2019**, *130*, 13199. [[CrossRef](#)]
37. Nadège, B.K.A.N.; Cissé, G.; Koné, B.; Séri, D. Variabilité Climatique Et Changements Dans L'environnement À Korhogo En Côte D'ivoire: Mythes Ou Réalité? *Eur. Sci. J.* **2016**, *12*, 158. [[CrossRef](#)]
38. Recensement général de la Population et de l'Habitat (RGPH). Principaux Résultats du Rgph 2014 1. 2014, Volume 1, p. 22. Available online: <https://www.ins.ci/documents/rgph/ivoirien18plus.pdf> (accessed on 5 June 2022).
39. Ouattara, N. Situation des ressources génétiques forestières de la Côte d'Ivoire (Zone de Savanes). Atelier sous-régional FAO/IPGRI/CIRAF sur la conservation, la gestion, l'utilisation durable et la mise en valeur des ressources génétiques forestières de la zone sahélienne (Ouagadougou, 22-24 sept. 1998). Note thématique sur les ressources génétiques forestières. Document FGR/5F. Service de la mise en valeur des ressources forestières, Division des ressources forestières. FAO, Rome. 2001, p. 43. Available online: <https://www.fao.org/publications/card/fr/c/91fbc99b-e6f8-53a1-9c54-15ceb21121cd/> (accessed on 5 June 2022).
40. Le Guen, T. Le développement agricole et pastoral du Nord de la Côte-d'Ivoire: Problèmes de coexistence. *Cah. D'outre-Mer.* **2004**, *57*, 259–288. [[CrossRef](#)]
41. Institut National de la Statistique. Annuaire des Statistiques Démographiques et Sociales; Abidjan, Côte d'Ivoire. 2012; Edition n7, 2007–2010; p. 153. Available online: <https://www.ins.ci/templates/Pub/annuaire%20demo.pdf> (accessed on 5 June 2022).
42. Nicholson, S.E.; Kim, J.; Hoopingarner, J. *Atlas of African Rainfall and Its Interannual Variability*; Department of Meteorology, Florida State University: Tallahassee, FL, USA, 1988.
43. Servat, J.E.; Paturel, H.; Lubès-Niel, B.; Kouamé, J.; Masson, M.; Travaglio, M.; Marieu, B. Regarding rainfall in non sahelian western and central Africa. *Rev. Des Sci. L'eau* **1999**, *12*, 363–387.
44. Lamb, P.J. Sub-saharan rainfall update for 1982; continued drought. *J. Clim.* **1983**, *3*, 419–422. [[CrossRef](#)]

45. Ardoin, S.; Lubes-Niel, H.; Servat, E.; Dezetter, A.; Boyer, J.-F.; Mahe, G.; Paturel, J.-E. Analyse de la persistance de la sécheresse en Afrique de l'ouest: Caractérisation de la situation. In *Hydrology of Mediterranean and Semiarid Regions: Papers Selected for the International Conference on Hydrology of the Mediterranean and Semi-Arid Regions, Held in Montpellier, France from 1 to 4 April 2003*; International Assn of Hydrological Sciences: Oxford, UK, 2003; pp. 223–228.
46. Tyson, P.D.; Dyer, T.G.J. Mean Annual Fluctuations Of Precipitation In The Summer Rainfall Region Of South Africa. *S. Afr. Geogr. J.* **1975**, *57*, 105–110. [[CrossRef](#)]
47. Stern, B.R.; Parsons, D.; Stern, D.; Torgbor, F. *R-Instat Climatic Guide*, 2021; 283. Available online: <https://drive.google.com/file/d/1YG5NMWov5qPbU9CKZDgaPcEgT4Oelduo/view> (accessed on 30 May 2022).
48. Sivakumar, M. Predicting rainy season potential from the onset of rains in Southern Sahelian and Sudanian climatic zones of West Africa. *Agric. For. Meteorol.* **1988**, *42*, 295–305. [[CrossRef](#)]
49. Ati, O.; Stigter, C.J.; Oladipo, E.O. A comparison of methods to determine the onset of the growing season in northern Nigeria. *Int. J. Clim.* **2002**, *22*, 731–742. [[CrossRef](#)]
50. Lodoun, T.; Giannini, A.; Traoré, P.S.; Somé, L.; Sanon, M.; Vaksmann, M.; Rasolodimby, J.M. Changes in seasonal descriptors of precipitation in Burkina Faso associated with late 20th century drought and recovery in West Africa. *Environ. Dev.* **2013**, *5*, 96–108. [[CrossRef](#)]
51. Kima, S.A.; Okhimamhe, A.A.; Kiema, A.; Zampaligre, N.; Sule, I. Adapting to the impacts of climate change in the sub-humid zone of Burkina Faso, West Africa: Perceptions of agro-pastoralists. *Pastoralism* **2015**, *5*, 1. [[CrossRef](#)]
52. Dasmané, B.; Adjima, T.; HIEN, V. Changement climatique en zones Nord soudanienne et Sub sahélienne du Burkina Faso. *Rev. D'écologie (Terre Vie)* **2016**, *71*, 35–58.
53. Ibrahim, B.; Polcher, J.; Karambiri, H.; Rockel, B. Characterization of the rainy season in Burkina Faso and it's representation by regional climate models. *Clim. Dyn.* **2012**, *39*, 1287–1302. [[CrossRef](#)]
54. Allé, U.C.Y.; Vissoh, P.V.; Guibert, H.; Agbossou, E.K.; Afouda, A.A. Relation entre perceptions paysannes de la variabilité climatique et observations climatiques au Sud-Bénin. *VertigO* **2013**, *13*, 3. [[CrossRef](#)]
55. Agossou, D.S.M.; Tossou, C.R.; Vissoh, V.P.; Agbossou, K.E. Perception des perturbations climatiques, savoirs locaux et stratégies d'adaptation des producteurs agricoles béninois. *Afr. Crop Sci. J.* **2012**, *20*, 565–588.
56. Nouaceur, Z.; Murescu, O. Rainfall variability and trend analysis of rainfall in west Africa (Senegal, Mauritania, Burkina Faso). *Water* **2020**, *12*, 1754. [[CrossRef](#)]
57. Bodian, A. Caractérisation de la variabilité temporelle récente des précipitations annuelles au Sénégal (Afrique de l'Ouest). *Physio-Géo* **2014**, *8*, 297–312. [[CrossRef](#)]
58. Jouve, P. Pratiques et Stratégies D'Adaptation des Agriculteurs aux Aléas Climatiques en Afrique Subsaharienne. 2010. Available online: https://www.inter-reseaux.org/wp-content/uploads/pdf_p15_16_Jouve.pdf (accessed on 5 June 2022).
59. Kabore, P.N.; Ouedraogo, A.; Sanon, M.; Yaka, P.; Some, L. Caractérisation de la variabilité climatique dans la région du centre-nord du burkina faso entre 1961 et 2015. *Climatologie* **2017**, *14*, 82–95. [[CrossRef](#)]
60. Mubiru, N.D.; Radeny, M.; Kyazze, F.B.; Zziwad, A.; Lwasaa, J.; Kinyangie, J.; Mungai, C. Climate trends, risks and coping strategies in smallholder farming systems in Uganda. *Clim. Risk Manag.* **2018**, *22*, 4–21. [[CrossRef](#)]
61. Aguilar, E.; Barry, A.A.; Brunet, M.; Ekang, L.; Fernandes, A.; Massoukina, M.; Mbah, J.; Mhanda, A.; do Nascimento, D.; Peterson, T.C.; et al. Changes in temperature and precipitation extremes in western central Africa, Guinea Conakry, and Zimbabwe, 1955–2006. *J. Geophys. Res. Atmos.* **2009**, *114*, 1–11. [[CrossRef](#)]
62. Hulme, M.; Doherty, R.; Ngara, T.; New, M.; Lister, D. African climate change: 1900–2100. *Clim. Res.* **2001**, *17*, 145–168. [[CrossRef](#)]
63. Gafsi, M.; Dugué, P.; Jamin, J.-Y.; Brossier, J. Exploitations Agricoles Familiales en Afrique de l'Ouest et du Centre: Enjeux, caractéristiques et éléments de gestion. 2007, p. 475. Available online: <https://agritrop.cirad.fr/542084/> (accessed on 5 June 2022).
64. Wamadini, R.S.; Koinda, F.; Decaluwé, B. Les femmes et l'agriculture Le potentiel inexploité dans la vague de transformation. *Rev. D'économie Du Développement* **2019**, *27*, 101–127.
65. Dedjan, Y.J. Changements Climatiques et Évolution des Périodes de Semis des Principales Cultures dans l'Alibori: Cas des Communes de Malanville et de Banikoara. Ph.D. Thesis, Université de Parakou, Parakou, Benin, 2010.
66. Djohy, G.; Edja, A.; Nouatin, G. Variation climatique et production vivrière: La culture du maïs dans le système agricole péri-urbain de la commune de Parakou au Nord-Benin. *Afr. Sci.* **2015**, *11*, 183–194.
67. Nassourou, L.M.; Sarr, B.; Alhassane, A.; Balla, A.; Traoré, S. Perception et Observation: Les Principaux Risques Agro-Climatique de L'Agriculture Pluviale Dans L'Ouest du Niger. *VertigO-La Rev. Électronique En Sci. De L'environnement* **2018**, *18*. [[CrossRef](#)]
68. Beucher, O.; Bazin, F. *L'agriculture en Afrique Face aux Défis du Changement Climatique*; Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie: Québec, QC, Canada, 2012; p. 170.
69. Thornton, P.; van de Steeg, J.; Notenbaert, A.; Herrero, M. The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. *Agric. Syst.* **2009**, *101*, 113–127. [[CrossRef](#)]
70. Lavalley, C.; Micalé, F.; Houston, T.D.; Camia, A.; Hiederer, R.; Lazar, C.; Conte, C.; Amatulli, G.; Genovese, G. Climate change in Europe. 3. Impact on agriculture and forestry. A review. *Agron. Sustain. Dev.* **2009**, *29*, 433–446. [[CrossRef](#)]
71. Zaatra, A. Vulnérabilité des exploitations agricoles et préférences d'adaptation au changement climatique dans le territoire du Pays Haut Languedoc et vignoble (PHLV). Doctoral dissertation, Université Montpellier, Montpellier, France, 2021; p. 282.
72. Vogel, H.; Nyagumbo, I.; Olsen, K. Effect of tied riding and mulch ripping on water conservation in Maize production on sandveld soils. *Der Trop. J. Agric. Trop. Subtrop.* **1994**, *95*, 33–44.

73. Roussel, O.; Bourmeau, E.; Walter, C. Évaluation Du Déficit En Matière Organique Des Sols Français Et Des Besoins Potentiels En Amendements Organiques. *Étude Gest. Des Sols* **2000**, *8*, 65–81.
74. Woodfine, A. L'adaptation au changement climatique et l'atténuation de ses effets en Afrique subsaharienne au moyen des pratiques de gestion durable des terres. TerrAfrica, regional Sustainable Land Management. 2009, p. 89. Available online: https://www.google.com.hk/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewiLgo3_yp_5AhVNRt4KHxbPC3kQFnoECAUQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.ipcinfo.org%2Ffileadmin%2Fuser_upload%2Fterrafrica%2Fdocs%2FAdaptation_changement_climatique_et_pratiques.pdf&usg=AOvVaw0iwaPytKj1AJ-gu2wvdMrJ (accessed on 5 June 2022).
75. Lema, M.A.; Majule, A.E. Impacts of climate change, variability and adaptation strategies on agriculture in semiarid areas of Tanzania: The case of Manyoni District in Singida Region, Tanzania. *Afr. J. Environ. Sci. Technol.* **2009**, *3*, 206–218.
76. Fonds interprofessionnel pour la recherche et le conseil agricoles (FIRCA). *La Filière Riz*; FIRCA: Abidjan, Côte d'Ivoire, 2018; p. 12.
77. Tesso, G. Individual household level vulnerability to climate change among crop dependent Communities of Western Ethiopian. *J. Agric. Econ. Dev.* **2013**, *2*, 356–370.
78. Neset, T.-S.; Wiréhn, L.; Opach, T.; Glaas, E.; Linnér, B.-O. Evaluation of indicators for agricultural vulnerability to climate change: The case of Swedish agriculture. *Ecol. Indic.* **2019**, *105*, 571–580. [[CrossRef](#)]
79. Lupwayi, N.Z.; Rice, W.A.; Clayton, G.W. Soil microbial biomass and carbon dioxide flux under wheat as influenced by tillage and crop rotation. *Can. J. Soil Sci.* **1999**, *79*, 273–280. [[CrossRef](#)]
80. Seghier, J.; Harmand, J.-M. Agroforesterie et Services Écosystémiques en Zone Tropicale: Recherche de Compromis Entre Services D'Approvisionnement et Autres Services Écosystémiques. Update Sciences et Technologies, Éditions Quae. 2019, p. 251. Available online: <http://library.oapen.org/handle/20.500.12657/23978> (accessed on 5 June 2022).

RESUME

La zone soudanienne de la Côte d'Ivoire est caractérisée par les parcs agroforestiers qui fournissent des services écosystémiques aux populations locales. Cependant, celles-ci s'intéressent ces dernières années, à la culture de l'anacardier. En outre, le contexte climatique local est marqué par des incertitudes. La présente étude visait à évaluer l'incidence de la culture de l'anacardier sur les parcs agroforestiers et les stratégies d'adaptation adoptées par les populations pour faire face à la variabilité climatique. Pour ce faire, des images satellitaires Landsat ont été utilisées afin d'analyser la dynamique spatio-temporelle de la végétation. Ensuite, des inventaires floristiques ont été effectués afin de calculer les indices de la biodiversité dans les types d'occupation du sol. Enfin, des analyses statistiques ont été réalisées sur les variables climatiques. Elles ont été couplées à une enquête auprès de 287 exploitants agricoles afin d'apprécier leurs stratégies d'adaptation. Les résultats ont montré une régression annuelle des parcs agroforestiers de 2,13 % ; 3,12 % et 1,51 % respectivement à Ouangolodougou, Tengréla et Tienko. A l'opposé, une augmentation annuelle des plantations d'anacardiers de 15,95 %, 18,37 % et 24,26 % a été observée de 1990 à 2020 respectivement dans les mêmes localités. L'analyse des indices de biodiversité a permis de montrer une diminution très significative dans les plantations d'anacarde. Quant aux variables climatiques, les résultats ont montré une forte variabilité des précipitations avec un retour à des conditions plus humides depuis 2008. Aussi, l'on a constaté une augmentation des températures. Pour y faire face, les exploitants agricoles utilisent du fumier organique et diversifient les cultures sur la même parcelle agricole. Vu l'importance des parcs agroforestiers, il serait intéressant de mettre la problématique liée à leur dégradation au cœur des initiatives sur le plan local et national.

Mots clés : Dynamique de la végétation, Parcs agroforestiers, Expansion de *Anacardium L*, Variabilité climatique, Savanes soudanienne

ABSTRACT

The Sudanian zone of Côte d'Ivoire is dominated by agroforestry parks characterized by the ecosystem services provided to local populations. However, populations are interested in cashew cultivation, which could have a negative impact on the dynamics of existing agroforestry parks. In addition, the local climatic context is marked by uncertainties in a zone where agriculture is essentially rainfed. This study aims to assess the impact of cashew on biodiversity and the adaptation strategies adopted by the populations to cope with climate variability. To do so, Landsat satellite images were used to analyze the spatio-temporal dynamics of the vegetation. Then, floristic inventories were carried out to calculate the biodiversity indices in the land use types. Finally, statistical analyses were performed on climatic variables. These were coupled with a survey of 287 farmers to know the adaptation strategies adopted. The results showed an annual regression of agroforestry parks of 1.51%, 2.13% and 3.12% in Tienko, Ouangolodougou and Tengréla. In contrast, an annual increase in cashew plantations of 24.26%, 15.95% and 18.37% was observed from 1990 to 2020. Analysis of biodiversity indices showed a significant decrease ($p < 0.001$) in cashew plantations. This implies that cashew expansion is a threat to woody vegetation. As for the climatic variables, the results showed a high variability in rainfall with a return to wetter conditions since 2008. Also, an increase in temperature was observed. Thus, to cope with this, farmers have developed adaptation strategies that include the use of organic manure, and crop diversification.

Keywords: Vegetation dynamics, Agroforestry parks, Climate variability, Cashew plantations expansion, Sudanian savannahs.