

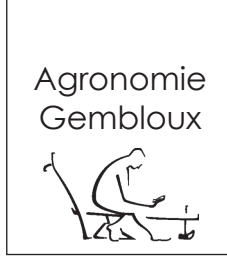
Intensification agro-écologique de la production et de la transformation du cajou en Afrique : Problématique – Acquis scientifiques et technologiques – Perspectives

Bassam (Côte d'Ivoire)
26-28 octobre 2017



Conseil du Coton et de l'Anacarde





Actes du Colloque International d'Échanges Scientifiques sur l'Anacarde (CIESA)



Presses Universitaires de Liège

Actes du Colloque International d'Échanges Scientifiques sur l'Anacarde

Intensification agro-écologique de la production et de
la transformation du cajou en Afrique : Problématique –
Acquis scientifiques et technologiques – Perspectives

Bassam (Côte d'Ivoire) 26-28 octobre 2017

Comité de rédaction

Président : Prof. Bi Irié Arsène Zoro

Membres : Dr Doudjo SORO (INP-HB); Dr Konan Charles KOUAKOU (CNRA); Dr Kouabenan ABO (INP-HB); Dr Kouakou Laurent KOUAKOU (UNA); Dr Loua DIOMANDE (UPGC); Dr N'Guessan François KOUAME (UNA); Dr Saliou BELLO (INRAB); Dr San-Whouly Mauricette OUALI-N'GORAN (UFHB); Dr Sibirina SORO (UJLoG); M. SISSOKO Amara (INP-HB)

Éditeur

Le Conseil du Coton et de l'Anacarde

Photographies de la page de garde

Prof. Bi Irié Arsène Zoro



<http://www.pressesagro.be/e-book/9782870161661.pdf>

2019, LES PRESSES AGRONOMIQUES DE GEMBLoux, A.S.B.L.

Passage des Déportés 2 — B-5030 Gembloux (Belgique)

Tél. : +32 (0) 81 62 22 42

E-mail : pressesagro.gembloux@uliege.be URL : www.pressesagro.be

D/2019/1665/166

ISBN 978-2-87016-166-1

Cette œuvre est sous licence Creative Commons. Vous êtes libre de reproduire, de modifier, de distribuer et de communiquer cette création au public selon les conditions suivantes :

- *paternité (BY) : vous devez citer le nom de l'auteur original de la manière indiquée par l'auteur de l'œuvre ou le titulaire des droits qui vous confère cette autorisation (mais pas d'une manière qui suggérerait qu'ils vous soutiennent ou approuvent votre utilisation de l'œuvre) ;*
- *pas d'utilisation commerciale (NC) : vous n'avez pas le droit d'utiliser cette création à des fins commerciales ;*
- *partage des conditions initiales à l'identique (SA) : si vous modifiez, transformez ou adaptez cette création, vous n'avez le droit de distribuer la création qui en résulte que sous un contrat identique à celui-ci.*

À chaque réutilisation ou distribution de cette création, vous devez faire apparaître clairement au public les conditions contractuelles de sa mise à disposition. Chacune de ces conditions peut être levée si vous obtenez l'autorisation du titulaire des droits sur cette œuvre. Rien dans ce contrat ne diminue ou ne restreint le droit moral de l'auteur.

<http://creativecommons.org/licences/by-nc-sa/4.0/deed.fr>

**Publié avec l'aide du Service public de Wallonie
(Aides à la promotion de l'emploi)**

Remerciements



FONDS INTERPROFESSIONNEL POUR
LA RECHERCHE ET LE CONSEIL AGRICOLES



Implemented by:
giz
Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Comités organisationnel et scientifique

MEMBRES DU COMITÉ D'ORGANISATION

- Dr COULIBALY Adama, Directeur Général du Conseil du Coton et de l'Anacarde, Président
- Mme WEIDINGER Rita, Directrice de ComCashew/GIZ, Membre
- Mme OUALLO Joëlle, chargé de projet, Membre
- M. DJAN Nakan Vincent, Membre
- M. SALIFOU Issaka Mohamed, Membre
- M. ROSTAND Jean, Membre

MEMBRES DU COMITÉ SCIENTIFIQUE

- Prof ZORO Bi Irié Arsène, Président du comité
- Prof KONE Daouda, Rapporteur général
- Dr ABO Kouabenan, Rapporteur général
- Dr OUATTARA Gniré Mariam, Directeur de la Production, CCA
- Dr BELLO Saliou, Rapporteur de panel
- Dr ROUAMBA Albert, Rapporteur de panel
- Dr KOUAKOU Kouakou Laurent, Rapporteur de panel
- Dr SORO Doudjo, Rapporteur général
- Dr SORO Sibirina, Rapporteur de panel
- Dr N'GUESSAN Kouamé François, Rapporteur général
- Dr OUALI-N'GORAN San-Whouly Maricette, Rapporteur de panel
- M. TANO Kouamé Jean-Jacques, Chargé du suivi-évaluation et recherche
- M. COULIBALY Allassane, Chargé de la formation
- Dr BADIANE Souley, Rapporteur de panel
- M. TANDJEKPON André, Directeur de production Bénin cajou
- Dr GUIRA Moussa, Rapporteur de panel
- M. N'DJOLOSSE Kouami, Rapporteur de panel
- Dr AGBO Bernard

LISTE DES MODÉRATEURS

- Prof ABO Kouabenan
- M. N'DJOLOSSE Kouami
- Prof ZORO Bi Irié Arsène
- M. TANDJEPON André
- Prof KONE Daouda
- Dr GUIRA Moussa
- Prof AHONZO Niamké Sébastien Lamine
- Prof MASSAWE Peter
- Prof KOUSSEMON Camara Marina

MEMBRES DU COMITÉ DE RÉDACTION DES RAPPORTS

- Dr SORO Doudjo
- Dr SORO Sibirina
- Dr N'GUESSAN Kouamé François
- Dr KOUAKOU Kouakou Laurent
- OUALI-N'GORAN San-Whouly Maricette
- Prof KONE Daouda
- Prof ABO Kouabenan

Table des matières

Remerciements	v
Comités organisationnel et scientifique	vi
Avant-propos	ix
Introduction	xii

Thème 1 : Gestion des Ressources génétiques et Amélioration variétale

1. Sélection de clones d'anacardier (<i>Anacardium occidentale</i> L.) de Côte d'Ivoire pour la qualité de la noix	2
2. Performance of 26 selected elite cashew hybrids under the conditions of Nachingwea in Southern Tanzania Short title. Performance of 26 selected elite cashew hybrids in Southern Tanzania	14
3. Typologie des plantations d'anacardier (<i>Anacardium occidentale</i> L.) dans deux zones agro-écologiques du Sénégal	21
4. Effet de l'agroforesterie à base de l'anacardier sur la dynamique de l'occupation du sol dans le centre du Bénin	32

Thème 2 : Agronomie

5. Évaluation des effets des bonnes pratiques d'entretien et de gestion des plantations sur la productivité et la qualité des noix brutes de cajou dans le département du Borgou (Bénin)	46
6. Effet de la fumure organo-minérale et minérale sur la productivité et la teneur en nutriments des produits d'anacardier au Bénin	54
7. Effet des champignons mycorhiziens arbusculaires sur la croissance de l'anacardier (<i>Anacardium occidentale</i> L.) au Bénin	66
8. Performance of the potential adaptation strategies of cashew (<i>Anacardium occidentale</i> L.) plantation to climate change in Benin	76
9. Analyse du niveau de fertilité chimique des sols sous anacarderaies (<i>Anacardium occidentale</i> L.) dans le département de Korhogo au nord de la Côte d'Ivoire	91
10. Mise au point d'une méthode destinée à stimuler l'émission de nouveaux greffons chez l'anacardier (<i>Anacardium occidentale</i> L.) en Côte d'Ivoire	98
11. Expansion de l' <i>Anacardium occidentale</i> L. et reboisement de la savane ivoirienne	103

Thème 3 : Défense de la culture

12. Breakthrough in the bio-ecology of the cashew wood borer <i>Apate terebrans</i> Pallas (Coleoptera: Bostrichidae), in Northern-Benin	114
13. Données bioécologiques de <i>Diastocera trifasciata</i> Fabricius, 1775 (Coleoptera : Cerambycidae), ravageur majeur de l'anacardier (<i>Anacardium occidentale</i> L., Anacardiaceae) dans la localité de Brobo au centre de la Côte d'Ivoire	126
14. Suivi efficient du verger anacardier à travers la veille sanitaire en Côte d'Ivoire	136
15. African farmers have amazing allies in their cashew plantations	143
16. Activité antibactérienne d'extraits de six plantes aromatiques contre <i>Xanthomonas citri</i> pv. <i>mangiferaeindicae</i> , bactérie responsable de la maladie des taches noires de l'anacardier et du mangoier au Burkina Faso	150

Thème 4 : Biotechnologie

17. Propagation by stem cuttings and <i>in vitro</i> adventitious shoots and roots formation in cashew (<i>Anacardium occidentale</i> L.)	162
--	-----

Thème 5 : Transformation, Valorisation et Équipements

18. Effets de la fortification à l'amande de cajou sur la valeur nutritive et sensorielle de la farine de banane plantain	172
19. Clarification du jus de pomme de cajou (<i>Anacardium occidentale</i> L.) par la gélatine et détermination des paramètres physico-chimiques et biochimiques lors de sa conservation à différentes températures	184
20. Differential Analysis of Kernel Nutritional Composition: A preliminary study	196
21. Performances et impacts socio-économiques de la technologie de valorisation énergétique des coques d'anacarde (<i>Anacardium occidentale</i> L.) H2CP pour la production de vapeur	202
22. Caractérisation par simulation des diamètres des cribles de trommels-calibreurs de noix de cajou (<i>Anacardium occidentale</i> L.)	210
Liste des participants	222

Avant-propos

DISCOURS DU DIRECTEUR GÉNÉRAL DU CONSEIL DU COTON ET DE L'ANACARDE

Monsieur le Premier Ministre, Ministre du budget et du portefeuille de l'État,
Monsieur le Ministre de l'Agriculture et du Développement Rural,
Madame la Ministre en charge de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique,
Monsieur le Ministre de l'Économie et des Finances,
Monsieur le Ministre de l'Industrie et des Mines,
Monsieur le Préfet du Département de Grand-Bassam,
Monsieur le Maire de Grand-Bassam,
Monsieur le Directeur Exécutif du FIRCA,
Monsieur le Directeur Général du CNRA,
Madame la Directrice exécutive de GIZ /Comcashew,
Messieurs les Présidents des universités et Directeurs Généraux des grandes écoles,
Monsieur le Coordonnateur du PSAC,
Mesdames et Messieurs les représentants des institutions Partenaires Techniques et Financiers,
Monsieur le Facilitateur,
Mesdames et Messieurs les acteurs professionnels de la filière anacarde (producteurs, acheteurs, exportateurs, transformateurs),
Honorables invités,
Mesdames et Messieurs, tous en vos rangs, grades et qualités respectifs,

C'est pour moi un grand honneur et un agréable plaisir de m'adresser à vous, au cours de cette cérémonie de lancement du Colloque International d'Échanges Scientifiques sur l'Anacarde (CIESA).

L'objectif global du CIESA est de contribuer au renforcement du partage et de la diffusion des résultats des programmes et projets de recherche sur l'anacarde en Afrique de l'Ouest et Centrale, et même en dehors de cette région. Cela permettra de faciliter la valorisation scientifique, agronomique, économique et sociale des résultats, ainsi que la pertinence et la performance des initiatives futures. Ainsi, ce colloque sera l'occasion du démarrage de la plateforme de partage d'expériences entre les acteurs de la Filière anacarde dans le but d'en améliorer la productivité, la transformation et la valorisation dans les différents pays membres du réseau de recherche et développement sur l'anacarde en Afrique (REDAA).

De façon spécifique, il s'agira pour les participants de :

- présenter les résultats des projets de recherche sur l'anacarde ;
- recenser les projets de recherche sur l'anacarde et produits dérivés à court, moyen et long termes et explorer les possibilités d'articulation et de mutualisation au niveau régional et sous-régional ;
- identifier les activités prioritaires constituant les perspectives du projet CORAF anacarde et planifier l'élaboration d'une offre technique régionale en vue de rechercher les financements ;
- créer des synergies et un cadre collaboratif entre les chercheurs des différents pays impliqués dans la recherche sur l'anacardier ;
- adopter les textes réglementaires du REDAA et désigner les points focaux ;
- installer les bases de la coopération sous-régionale en matière de recherche, de formation et de développement autour de thèmes stratégiques pour la Filière anacarde dans le cadre du REDAA.

Il s'agit surtout d'une opportunité offerte aux équipes de recherche des institutions et universités qui seront impliquées dans la mise en œuvre du Programme National de Recherche sur l'Anacarde (PNRA) d'obtenir l'état

de la connaissance sur les travaux scientifiques portant sur l'anacarde et de nouer des alliances qui favoriseront la collecte et le traitement des informations scientifiques sur cette spéculation.

Cette cérémonie constitue une étape décisive de la réforme de la filière anacarde en général et de l'axe stratégique relatif à la recherche agronomique en particulier. Elle marque une nouvelle ère dans la conduite des bonnes pratiques agricoles de l'anacarde en Côte d'Ivoire. Il s'agit d'œuvrer à valoriser tout le potentiel économique de la culture, depuis la production jusqu'à la mise sur le marché, à travers les échanges entre chercheurs. Du point de vue de la production, le verger actuel est composé de plants non sélectionnés provenant de diverses origines, avec des caractéristiques agronomiques et technologiques hétérogènes entraînant un faible niveau de rendement (500 kg/hectare contre au moins 1 000 kg/hectare en Inde et au Brésil).

Ainsi, l'accessibilité des producteurs aux plants à haut rendement (au moins 1 000 kg à l'hectare) est l'une des recommandations fortes de la réforme de la filière anacarde que nous voudrions voir se réaliser dans les meilleurs délais. Pour y arriver, la filière s'est engagée dans le financement du programme d'amélioration variétale à travers le Fonds Interprofessionnel de la Recherche et le Conseil Agricoles (FIRCA) depuis 2009. Ce programme, mis en œuvre par le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) avait pour objectif de mettre au point des variétés capables d'améliorer les rendements à l'hectare et, par ricochet, le revenu du producteur.

Le processus de sélection massale conduit dans le cadre de ce programme d'amélioration variétale a permis de confirmer trois génotypes à hauts rendements résistants aux maladies. Les premiers plants greffés et les graines issus de ces vergers greniers ont été distribués à des producteurs «pilotes». Cependant, vu le niveau élevé des besoins en plants, il est impérieux de trouver une stratégie capable d'assurer l'accès des producteurs au matériel végétal amélioré à travers un mécanisme fluide et à moindre coût, tout en se conformant au calendrier agricole. Fort de ces résultats, le CNRA a engagé le processus de multiplication de ce matériel végétal sélectionné à travers l'installation de :

- Trois parcs à bois de 5 ha chacun à Tanda, Ferké et Madinani ;
- Trois vergers greniers de 2 ha chacun à Tanda, Ferké et Madinani ;
- Trois pépinières d'une capacité de production de 10 000 plants/an ;
- Dix-huit pépiniéristes, dans 18 régions de production afin d'y produire des plants sélectionnés à partir des 18 parcs à bois implantés dans ces régions.

Débuté en 2009 par un projet pilote, initié par le FIRCA et le CNRA, la recherche sur l'anacardier est au stade embryonnaire. C'est pourquoi il est impératif et urgent d'accroître l'efficacité et la pertinence des travaux en cours et à venir par la mutualisation des acquis, les réflexions et les ressources, à travers non seulement la promotion de la mobilité des acteurs (partage d'expérience), mais également et surtout des rencontres d'échanges scientifiques.

Le dernier atelier d'échanges scientifiques s'est tenu du 18 au 22 janvier 2017 à Bassam dans le cadre de la mise en œuvre des activités du projet de renforcement des capacités des acteurs de la chaîne des valeurs anacarde, financé par le CORAF. Le principe de l'organisation d'une activité d'échanges scientifiques répondant aux normes de la communauté scientifique, avec possibilité de publication des actes dans une revue à audience internationale et reconnue par le CAMES a été validé. Ce colloque constitue l'aboutissement de cette prise de conscience.

Pour atteindre efficacement les objectifs susmentionnés, le Conseil du Coton et l'Anacarde et le FIRCA ont sollicité l'expertise de spécialistes dans le domaine de l'anacardier pour réaliser un état des lieux des projets de recherche sur l'anacardier en Côte d'Ivoire, en vue de capitaliser les acquis et de mieux coordonner l'ensemble des initiatives en cours. Dans son rapport final, la mission a identifié les institutions et équipes de recherche effectivement ou potentiellement impliquées dans la recherche sur l'anacardier. Elle a également proposé les grandes lignes d'un Programme National de Recherche sur l'Anacardier dont l'objectif général est d'intensifier la production et la valorisation de l'anacarde en Côte d'Ivoire, de façon à doubler la production d'ici 2030, favoriser la transformation de toute cette production et valoriser les sous-produits de l'anacarde. Elle a en outre proposé le renforcement des capacités des chercheurs comme une action prioritaire.

En application des recommandations de la mission sur l'état des lieux des projets de recherche sur l'anacardier en Côte d'Ivoire, avec l'appui financier du Programme d'Appui au Secteur Agricole en Côte d'Ivoire (PSAC), le Conseil du Coton et de l'Anacarde, en collaboration avec le FIRCA, a organisé une mission de renforcement des capacités des chercheurs dans le domaine de l'anacarde en Tanzanie du 30 octobre au 14 novembre 2015. Au cours de cette même mission, la délégation a participé à la troisième conférence internationale sur le cajou (CIC) les 17 et 18 novembre 2015. Huit chercheurs et enseignants chercheurs de six institutions d'enseignement supérieur et/ou de recherche ont participé à cette mission qui a permis le renforcement des capacités des chercheurs dans six domaines prioritaires identifiés par les experts. Ces domaines sont :

- Génétique / Sélection ;
- Agronomie / Multiplication du matériel de plantation ;

- Défense de la culture (Entomologie et Phytopathologie);
- Caractérisation moléculaire (Biotechnologie);
- Caractérisation des sols (Pédologie);
- Génie des procédés (Transformation).

Toujours en application des recommandations de la mission sur l'état des lieux des projets de recherche sur l'anacardier, il a été procédé au lancement du Programme National de Recherche sur l'Anacardier (PNRA), au mois de juillet dernier, avec trois objectifs majeurs :

- doubler le rendement en milieu paysan, en passant de 500 kg à 1 000 kg/ha de noix de cajou ;
- améliorer la qualité avec un KOR des noix supérieur à 48 lbs, par une maîtrise plus poussée des activités post-récolte par l'ensemble des acteurs ;
- accroître le taux de transformation locale de l'anacarde par des actions de la part du gouvernement tendant à créer un effet de levier.

Ainsi, nous avons foi que, fort des acquis précités, ce colloque sera un des leviers de l'avènement d'une chaîne de valeur réellement ajoutée pour tous les acteurs intervenant dans la filière anacarde en Côte d'Ivoire. Mieux, vu la qualité des participants à ces échanges scientifiques et innovants qui regroupent des chercheurs, des universitaires, des ingénieurs agronomes et des techniciens, spécialistes dans le domaine de l'anacarde en Côte d'Ivoire, je reste confiant que les objectifs visés par ce colloque seront atteints au terme de ces deux jours.

Avant de clore mon propos, je voudrais, au nom du Conseil du Coton et de l'Anacarde, adresser mes sincères remerciements au FIRCA, au CNRA, aux différents chercheurs, à leurs institutions pour la qualité du travail qu'ils ont abattu pour la compilation de ces publications de recherche.

Je remercie également Monsieur le préfet de Grand-Bassam pour son implication personnelle dans toutes les actions de développement initiées dans son département.

Je n'oublie pas le PSAC pour son soutien financier sans faille dans la filière anacarde, depuis sa mise en place.

Je ne saurais terminer sans exprimer ma profonde gratitude aux représentants des partenaires techniques et financiers qui ne cessent d'apporter leur contribution au processus de développement de la filière anacarde, en se rendant disponibles, chaque fois qu'ils sont sollicités, malgré leur agenda chargé. Nous sommes convaincus que chacun d'entre vous a déjà pris sa part dans le financement du PNRA.

C'est sur cette note de remerciements que je voudrais terminer mon propos.

Je vous remercie.

Docteur Adama COULIBALY
Directeur Général du Conseil du Coton et de l'Anacarde

Introduction

Du 26 au 28 octobre 2017, s'est déroulée à AFRIKLAND Hôtel de Grand-Bassam, la première édition du Colloque International d'Échanges Scientifiques sur l'Anacarde (CIESA 2017).

Cette activité est l'émanation du projet sous-régional "**Renforcement de capacité des acteurs de la chaîne de valeur de la Filière Anacarde en Afrique de l'Ouest**", financé par le Conseil Ouest et Centre Africain pour la Recherche et le Développement Agricoles (CORAF/WECARD) et coordonné par le Conseil du Coton et de l'Anacarde.

Ce projet a pour objectif global d'améliorer et de générer des emplois et des revenus des acteurs de la chaîne de valeurs de la filière anacarde dans cinq pays d'Afrique de l'Ouest (Côte d'Ivoire, Bénin, Burkina Faso, Ghana et Sénégal). Il implique près d'une dizaine d'institutions de recherche, de formation et de développement. La mise en œuvre de ce projet a permis de mettre en place le réseau de Recherche Développement sur l'Anacarde en Afrique (REDAA). L'un des objectifs de ce réseau est l'organisation d'une activité d'échanges scientifiques répondant aux normes de la communauté scientifique avec possibilité de publication des communications dans une revue à audience internationale et reconnue par le CAMES.

C'est dans cette optique que le Conseil du Coton et de l'Anacarde, assurant la coordination régionale du projet CORAF anacarde, avec ses partenaires, a pris l'initiative d'organiser le CIESA 2017 sur le thème « **Intensification agro-écologique de la production et de la transformation du cajou en Afrique : Problématiques – Acquis scientifiques et technologiques – Perspectives** ».

L'objectif global du CIESA est de contribuer au renforcement du partage et à la diffusion des résultats des programmes et projets de recherche sur l'anacarde en Afrique de l'Ouest et du Centre, et même en dehors de cette région en vue de faciliter leur valorisation (scientifique et socioéconomique), ainsi que la pertinence et la performance des initiatives futures.

1. PARTICIPANTS

Le CIESA 2017 a noté la présence de nombreux participants issus d'horizons divers :

- des chercheurs et enseignants chercheurs, issus des institutions et universités nationales et internationales ;
- des structures sous tutelles (ANADER, Conseil du Coton et de l'Anacarde, FIRCA) ;
- des partenaires techniques et financiers (INADES-FORMATION, PROFIAB/GIZ, PSAC/SFI, ACA, ComCashew, WASCAL, etc.) ;
- des experts et chercheurs provenant de 18 pays ;
- des acteurs professionnels (producteurs, sociétés coopératives, acheteurs, transformateurs, exportateurs, équipementiers) ;
- des spécialistes de la presse (écrites, audiovisuelles).

Le lancement des activités de ce colloque s'est effectué sous le haut parrainage du Premier Ministre et la présidence du Ministre en charge de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, représenté par le Directeur de Cabinet dudit Ministère. Il a été enregistré au total 152 participants à la cérémonie d'ouverture et 118 participants dans les 16 panels.

2. DÉROULEMENT DES ATELIERS

Le colloque s'est déroulé en cinq étapes :

- Cérémonie d'ouverture
- Communications au sein des panels
- Discussion générale et rapport de synthèse des panels
- Rapport général du colloque
- Cérémonie de clôture

3. CÉRÉMONIE D'OUVERTURE

La cérémonie d'ouverture du colloque a été marquée par plusieurs allocutions.

La première, celle de bienvenue, a été délivrée par le 2^e adjoint au maire de Grand-Bassam. Il a souhaité la bienvenue aux organisateurs, au Comité scientifique et à l'ensemble des participants pour avoir honoré de leur présence cette cérémonie et choisi sa cité pour abriter cet événement. Il a enfin félicité le Premier Ministre, le Ministre de l'Agriculture et celle de la Recherche Scientifique pour leur franche collaboration ayant abouti à cette cérémonie.

Ensuite, l'allocution du Président du Conseil d'Administration du Conseil du Coton et de l'Anacarde. Il a, au nom de sa structure et en son nom personnel, souhaité également la bienvenue aux organisateurs, au Comité scientifique et à l'ensemble des participants à ce colloque d'importance capitale, et d'avoir honoré de leur présence cette cérémonie. Il a rappelé l'état des lieux de la filière et les objectifs du colloque. Il a précisé que cette cérémonie constitue une étape décisive pour le renforcement du partage et les efforts de synergie de la recherche entre les membres du REDAA. Il a terminé ses propos en remerciant l'ensemble des partenaires pour avoir répondu massivement à l'appel du Conseil du Coton et de l'Anacarde.

La troisième intervention faite par le Président du Comité scientifique était relative à la présentation du colloque. Il a rappelé brièvement la genèse et les objectifs du CIESA, qui sont le renforcement du partage et la diffusion des résultats afin de valoriser et améliorer les performances de la chaîne de valeur de la filière anacarde. Il a précisé les différentes articulations du colloque. Il a, enfin, adressé ses sincères remerciements à l'ensemble des partenaires pour avoir répondu à l'appel du Comité d'organisation.

Dans son allocution, Madame la Directrice Exécutive de *ComCashew* a félicité l'ensemble des parties prenantes pour l'excellente préparation du colloque. Elle a précisé que pour un coup d'essai, cela a été un coup de maître. En effet, le CIESA est un événement majeur et permettra une meilleure coordination des résultats de la recherche et une réponse adéquate à l'attente des acteurs. Elle a fait un bref historique de la création du REDAA et remercié les initiatrices que sont Madame OUATTARA et Madame TALL. Elle s'est ensuite réjoui de l'augmentation de la production de l'anacarde de près de 400 %, ces dix dernières années. Elle a indiqué qu'il faut sortir du paradigme traditionnel qui associe la mort à la consommation du jus de pomme et du lait. Elle a achevé ses propos, en exhortant les décideurs à relever le niveau du financement de recherche qui est de 1 % du PIB national des pays producteurs.

Le Directeur de Cabinet, représentant Madame la Ministre de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, a présenté les excuses de Madame la Ministre pour son absence due à ses charges gouvernementales. Il a livré le message de Madame la Ministre en saluant d'abord l'ensemble des invités, puis a remercié le Premier Ministre pour sa présence à travers son représentant, pour avoir engagé son gouvernement et manifesté un intérêt appuyé pour les activités de la recherche en instituant un fonds mis en place à cet effet (FONARI). Il a ensuite félicité le Directeur Général du Conseil du Coton et de l'Anacarde et son équipe, ainsi que leurs partenaires pour la parfaite organisation de ce colloque. Il a terminé son allocution en précisant que la capitalisation des échanges constituera un *starting-block* pour la recherche scientifique et a encouragé les chercheurs à soumettre des projets au financement du FONARI puis a déclaré ouvert le Colloque International d'Échanges Scientifiques sur l'Anacarde (CIESA 2017).

4. COMMUNICATIONS

Les communications ont été articulées en six thèmes et 16 panels dans deux salles, suivies d'une session de présentation de posters.

Chaque panel a été conduit par un modérateur, assisté de deux rapporteurs de panel. Au total, huit modérateurs, 12 rapporteurs de panels et cinq rapporteurs généraux ont été mobilisés. Les communications de chaque panel, délivrées entre 30 et 40 min, ont été suivies d'échanges très enrichissants.

Au total, CIESA 2017 a enregistré 50 communications orales et trois posters. Dix-huit y ont participé. Suite aux communications, 140 interventions (questions et contributions) ont été enregistrées. Pour chaque communication, le cas échéant, les acquis capitalisables du point de vue économique, scientifique et académique, et transférables aux utilisateurs et bénéficiaires finaux ont été relevés.

5. DISCUSSION GÉNÉRALE ET ADOPTION DU RAPPORT D'ACTIVITÉS

La discussion générale qui a suivi les panels a été essentiellement axée sur les acquis du CIESA 2017, notamment la formalisation de la plateforme d'échanges régionale entre acteurs de la filière anacarde qui est le REDAA, ainsi que le CIESA comme outil de matérialisation de ces échanges.

Il importe de rappeler que la coordination du REDDA a été confiée aux trois pays que sont le Bénin, la Côte d'Ivoire et le Sénégal. La Côte d'Ivoire assure la Présidence de la Coordination à travers le Conseil du coton et de l'Anacarde. Le rôle de coordinateurs adjoints a été confié au Bénin et au Sénégal.

La mission suivante a été assignée à la Coordination du REDDA :

- finaliser la formalisation et la structuration du REDDA;
- enregistrer les manifestations d'intérêt des participants au CIESA 2017 pour le compte de leurs pays;
- renforcer la représentation du REDDA au sein du CICC et présenter les résultats du présent colloque à cette instance;
- mobiliser les acteurs pour élaborer un projet régional dans le domaine du cajou.

Concernant le CIESA, il a été convenu d'une organisation tous les deux à trois ans. Le REDAA a été chargé d'analyser toutes les propositions pour déterminer la périodicité et la modalité d'organisation des CIESA futurs.

L'idée d'éditer les actes du colloque dans un délai de deux mois, et d'évaluer certaines communications en vue de leur publication sous forme d'articles dans la revue *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement (BASE)* a été retenue par les participants.

6. CLÔTURE

La clôture a été ponctuée par deux allocutions.

La première a été prononcée par Docteur COULIBALY Adama, Directeur Général du Conseil du Coton et de l'Anacarde. Il a remercié les autorités administratives et politiques pour leurs implications sans faille dans les activités réalisées dans leur commune, puis les panelistes pour la qualité du travail abattu. Il a indiqué l'importance de la manifestation pour le développement de la filière anacarde en Côte d'Ivoire.

L'allocution de clôture a été délivrée par le Secrétaire Général, représentant le Préfet du département de Grand-Bassam, l'administrateur COULIBALY Napegadeh Magloire. Il a adressé ses sincères félicitations au Directeur Général du Conseil du Coton et de l'Anacarde et ses collaborateurs, ses partenaires, et l'ensemble des chercheurs pour la portée internationale que revêt cet événement. Il a indiqué que cet événement sera un coup de levier pour la recherche agronomique. Il a souhaité des perspectives reluisantes à la recherche, puis a déclaré clos le colloque International d'Échanges Scientifiques sur l'Anacarde (CIESA 2017).

Thème 1.

**Gestion des Ressources génétiques et
Amélioration variétale**

1. Sélection de clones d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) de Côte d'Ivoire pour la qualité de la noix

Charles Konan Kouakou*, Achille Aimé N'Da Adopo, Akadié Jean-Baptiste Djaha, Magloire Yves Minhibo, André Hortense Djidji

Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Direction Régionale de Korhogo, Station de Recherche de Lataha, Programme Anacarde, Mangue, Papaye. Siège social : Km 17 Route de Dabou/ 01 BP 1740 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

*E-mail auteur correspondant : charles_kokou@yahoo.fr

Description du sujet. La Côte d'Ivoire, premier pays producteur mondial de noix de cajou, doit relever les défis de la transformation et de la commercialisation. La qualité des noix de cajou ivoiriennes est inférieure à la moyenne. Des efforts sont consentis pour sélectionner du matériel végétal à haut rendement et à meilleure qualité de noix.

Objectifs. L'objectif de l'étude est de sélectionner des clones d'anacardier ayant une qualité de noix plus compétitive.

Méthode. La sélection des clones a été réalisée sur des Arbres Hauts Producteurs (AHP) identifiés en milieu rural. Le test de coupe a été appliqué pour l'analyse des noix, à partir d'échantillons mères constitués selon la méthode des quarts. L'index de sélection massale a été utilisé pour sélectionner les clones ayant une meilleure qualité de la noix.

Résultats. Les résultats ont montré que 51,8 % des AHP ont un grainage excellent (70-150 noix.kg⁻¹) et 57,4 % de ces AHP ont des noix à taux d'amande élevé (25 et 32 %), avec 37 % parmi eux ayant des noix à *out-turn* de 50 à 57 lbs. Le taux d'amande est positivement et fortement corrélé à l'*out-turn* ($r = 0,9130$; $p < 0,00001$). Dix-neuf clones ont été sélectionnés sur base de la qualité de la noix : grainage de 100-200 noix.kg⁻¹, taux d'amande de 25 et 32 % et *out-turn* compris entre 50 et 57 lbs.

Conclusions. Une sélection d'anacardier à taux d'amande élevé, conduit indirectement à des clones ayant des *out-turn* élevés. Ces clones pourraient être proposés aux producteurs et aux transformateurs.

Selection of cashew (*Anacardium occidentale* L.) clonal from Côte d'Ivoire for nut quality

Description of the subject. Côte d'Ivoire, the world's leading producer of cashew nuts, faces the challenges of processing and marketing. The quality of Ivorian cashew nuts is below average. Efforts are being made to select high-yielding plant material with better nut quality.

Objectives. The objective of the study is to select cashew clonal with a more competitive nut quality.

Method. Selection of cashew clonal was carried out on High-Yielding Trees (HYT) identified in rural areas. The cutting test was applied for the nut analysis from mother samples made using quarter sampling method. The mass selection index was used to select clones with better nut quality.

Results. Results showed that 51.8% of HYTs had excellent nut count (70-150 nuts.kg⁻¹), and 57.4% of these HYTs had high percentage kernel out-turn (25 and 32%), with 37% among them having out-turn quality from 50 to 57 lbs. The percentage kernel out-turn is positively and strongly correlated with the out-turn quality ($r = 0.9130$; $p < 0.001$). Nineteen clones with better nuts quality: nut count of 100-200 nuts.kg⁻¹, 25 and 32% percentage kernel out-turn and out-turn quality between 50 and 57 lbs, were selected.

Conclusions. A selection of cashew clonal with high percentage kernel out-turn, indirectly leads to select clones with high out-turns. These clones could be offered to producers and processors.

1. INTRODUCTION

L'anacardier (*Anacardium occidentale* L., Anacardiaceae) est un arbre dont la culture contribue au développement socio-économique de plusieurs pays du monde (Bezerra et al., 2007). D'origine brésilienne (Sivagurunathan et al., 2010), cette plante a été introduite en Afrique de l'Ouest et de l'Est par les portugais, au 18^e siècle (Sauer, 1993). En Côte d'Ivoire, les premières introductions d'anacardiens datent de 1951 dans le Nord et le Centre du pays. À partir de 1959-1960 des programmes de plantations forestières ont été réalisés et étendus à toute la zone écologiquement favorable, à savoir, les savanes soudano-guinéennes (Goujon et al., 1973).

L'anacardier est surtout cultivé pour sa noix qui est une importante matière première industrielle et d'exportation (Akinhanmi et al., 2008). Les trois principaux produits issus de la noix de l'anacarde, appelée aussi noix de cajou, et commercialisés sur le marché international sont : la noix brute, l'amande et le baume de cajou (Azam-Alli & Judge, 2001). La coque comprend 50 % du poids de la noix, l'amande représente 25 % et le reste, 25 %, se compose du baume de cajou (CNSL), un liquide naturel brun rougeâtre visqueux (Santos & Magalhães, 1999). La noix de cajou reçoit l'attention du scientifique en tant que ressource protéique additionnelle viable (Akande et al., 2015). Elle est très riche en nutriments essentiels (Rico et al., 2016). Les acides gras contenus dans l'amande de cajou sont d'un grand intérêt au plan diététique, dans la lutte contre le mauvais cholestérol (Ricaud, 2013). Le baume représente une source importante et économique de composés phénoliques naturels. Ces composés peuvent être utilisés dans la fabrication d'éléments de friction pour l'industrie automobile, dans l'industrie des revêtements (vernis, matières plastiques). Le baume de cajou est également utilisé pour son activité antibactérienne contre les agents pathogènes (Velmurugan et al., 2014).

Le marché mondial de la noix de cajou a une demande croissante en amande de haute qualité (Malamine, 2016). La Côte d'Ivoire, premier pays producteur mondial de noix de cajou avec plus de 700 000 tonnes en 2015 (Cashew Info, 2016), doit relever les défis de la transformation et de la commercialisation en fournissant des noix de qualité. En effet, sur le marché international, la qualité des noix de cajou brutes est déterminante dans la fixation de son prix (Ogunwolu et al., 2016). Les critères utilisés par les opérateurs du marché international pour mesurer la qualité des noix de cajou brutes sont : le *Kernel Output Ratio* (KOR) ou *out-turn* qui s'exprime en livres d'amande de cajou disponibles par sac de 80 kg de noix brute, le grainage (nombre de noix.kg⁻¹) et le taux d'humidité (RONGEAD, 2010). L'indice de qualité le plus important est l'*out-turn*. Non seulement la qualité des noix brutes a un impact sur la quantité d'amande qui peut être obtenue au décorticage, mais elle a également un impact sur les proportions d'amandes blanches entières qui en ressortent (RONGEAD, 2014).

Malgré toutes les dispositions prises pour améliorer et préserver la qualité des noix de cajou ivoiriennes, il est ressorti que celle-ci a été bien inférieure à la moyenne en 2015. L'*out-turn* moyen était de 2 à 3 lbs inférieur à la normale (Narayanan, 2016). Or, deux points de KOR en moins correspondent à 10-25 F CFA.kg⁻¹ de noix brutes de coût de production en plus, soit entre 50 et 125 F CFA.kg⁻¹ d'amande produite de moindre compétitivité en moins (RONGEAD, 2014). Selon Rinderknecht (2013), la Côte d'Ivoire pourrait, dans un premier temps, améliorer la qualité de ses noix de cajou afin de diversifier ses marchés. Il est donc nécessaire pour les producteurs et les exportateurs ivoiriens de se conformer aux normes rigoureuses concernant la qualité du produit. Le respect des normes de qualité imposées sur le marché international est un des principaux critères de succès pour améliorer la compétitivité de la production ivoirienne de noix de cajou. Les facteurs clés de succès est l'utilisation des variétés améliorées afin d'obtenir de meilleurs rendements et des noix de meilleure qualité et ainsi rattraper le niveau des autres pays producteurs comme l'Inde.

Dans ce contexte, l'amélioration de la qualité des noix de cajou pour disposer de produits compétitifs sur le marché international est un enjeu décisif auquel doit faire face la filière anacarde, en Côte d'Ivoire. Aussi, des efforts sont consentis au niveau de la recherche pour mettre à la disposition des producteurs, du matériel végétal à haut rendement et à meilleure qualité de noix.

La présente étude est menée pour sélectionner et mettre à la disposition des producteurs ivoiriens et des transformateurs, des clones d'anacardier ayant une qualité de noix plus compétitive.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Site d'étude

Les travaux ont été conduits à la Station de Recherche du CNRA, à Lataha, à 22 km de Korhogo, au nord de la Côte d'Ivoire. La station s'étend sur une superficie de 40 ha et est située entre 9°34' de latitude Nord et 5°34' de longitude Ouest, à 350 mètres d'altitude.

2.2. Matériel végétal

L'étude a porté sur des noix de 54 génotypes d'anacardier identifiés dans des vergers de producteurs (Tableau 1) pendant les prospections de 2010, 2014 et 2015.

Tableau 1. Liste des 54 géotypes d'anacardier et leurs localités d'origine – *List of 54 cashew genotypes and their localities of origin.*

Code des arbres-mères	Localité	Département	Région
AHPF1	Fronan		
AHPF2	Fronan		
AHPK1	Katiola commune		
AHPK2	Katiola commune	Katiola	
AHPK3	Katiola commune		Hambol
AHPK4	Katiola commune		
AHPK5	Katiola commune		
AHPK6	Katiola commune		
AHPN1	Badikaha	Niakara	
AHPV1	Dabakala	Dabakala	
AHPM1	M'Bahiakro	M'Bahiakro	
AHPBo1	Mézran Konankro		Gbêkê
AHPBo2	Mézran Konankro	Bouaké	
AHPBo3	Tchimou Assékro		
AHPP1	Karakoro		
AHPP2	Karakoro		
AHPP3	Karakoro		
AHPP4	Karakoro		
AHPP5	Karakoro		
AHPP7	Karakoro		
AHPP8	Karakoro	Korhogo	Poro
AHPP9	Karakoro		
AHPW1	Waraniéné		
AHPW2	Waraniéné		
AHPO1	Koni		
AHPO2	Koni		
AHPKo1	Fapaha		
AHPS1	Pegnankaha		
AHPS2	Pegnankaha	Sinématiali	Poro
AHPS3	Pegnankaha		
AHPS4	Pegnankaha		
AHPB1	Boundiali commune		
AHPB2	Boundiali commune		
AHPB3	Boundiali commune		
AHPB4	Boundiali commune	Boundiali	Bagoué
AHPB6	Boundiali commune		
AHPB5	Boundiali commune		

Tableau 1. (suite). Liste des 54 génotypes d'anacardier et leurs localités d'origine

Code des arbres-mères	Localité	Département	Région
AHPD1	Kaniasso	Kaniasso	Kabadougou
AHPD2	Kaniasso		
AHPD7	Kaniasso		
AHPD8	Kaniasso		
AHPD5	Gbongaha	Odienné	
AHPD3	Séguélon		
AHPD6	Séguélon		
AHPD4	Madinani		
AHPT1	Téhini commune	Téhini	Boukani
AHPT2	Téhini commune		
AHPT3	Téhini commune		
AHPT4	Téhini commune		
AHPT5	Téhini commune		
AHPT6	Téhini commune		
AHPZ2	Méré	Bondoukou	Gontougo
AHPZ1	Wakiala	Tanda	
AHPZ3	Wakiala		

2.3. Méthodes

Collecte des échantillons. Les noix des différents génotypes ont été récoltées arbre par arbre dans les vergers et séchées à l'ombre par les producteurs. À la fin de la récolte, les quantités obtenues, représentant les échantillons mères, ont été transférées à la station de recherche de Lataha où elles ont été stockées dans des sacs en jutes et conservées à la température de 20°C.

Un échantillon d'un kilogramme de noix a été prélevé à partir de chaque échantillon mère selon la méthode des quarts (RONGEAD, 2008).

Évaluation de la qualité des noix des différents génotypes. La qualité des noix des différents échantillons a été évaluée selon la méthode décrite par RONGEAD (2008). Les critères de qualité pris en compte sont le grainage, le taux d'amande et l'*out-turn*. Le taux d'humidité des différents échantillons a varié entre 5,7 et 9,8%.

Grainage. C'est le nombre de noix par kilogramme. Il est obtenu en divisant le nombre de noix (N) comptées dans l'échantillon par le poids (P_1) de cet échantillon rapporté au kilo. Le calcul se présente comme suit :

$$\text{Grainage (Noix/kg)} = \frac{N}{P_1}$$

Test de coupe. Chaque noix de chaque échantillon à analyser a été coupée dans le sens de la longueur à l'aide d'une pince calao de sorte à obtenir deux moitiés sensiblement égales. Les noix coupées ont été classées selon des caractéristiques réparties suivant l'ordre de la qualité des amandes. L'amande saine est acceptée à 100%, l'amande présentant des spots (piqûres d'insecte) est acceptée à 50%, l'amande immature ou fripée (récolte trop précoce) est acceptée à 50%, l'amande brune (mauvais séchage, stockage humide) est rejetée, l'amande beurrée (noix restée trop longtemps à terre) est rejetée, l'amande présentant des traces de poudre jaune (présence d'insectes ou de maladies) est rejetée, la noix vide (manque d'eau) est rejetée. Les amandes avec pellicules ont été séparées de la coque selon leur catégorie. Leurs différentes masses ainsi que celle de leurs coques ont été prises séparément.

Taux d'amande. Le taux d'amande (TA), en pourcentage, rend compte de la quantité d'amande dans l'échantillon. La méthode de calcul est :

$$P_A = \frac{\text{Poids des amandes saines + pellicules}}{\text{Nombre d'amandes saines}}$$

où P_A est le poids des amandes saines + pellicules

$$TA(\%) = \frac{P_A}{P_n} \times 100 \text{ avec } P_n \text{ le poids des noix.}$$

Out-turn. L'*out-turn* (*OT*) ou lbs/sac de 80 kg représente la quantité de bonnes amandes que l'on peut avoir dans un sac de 80 kg de noix après décorticage.

$$OT = \frac{RA}{100} \times 80 \times \frac{1}{0,45359}$$

avec RA le rendement en amande calculé comme suit :

$$RA(\%) = \frac{(P_2 + P_4/2)}{P_1} \times 100$$

où P_2 est le poids total obtenu des amandes saines + pellicules des noix saines acceptées à 100 % et P_4 le poids total obtenu des amandes + pellicules des noix rejetées à 50 %.

Sélection des meilleurs génotypes. La sélection massale a été appliquée pour sélectionner les meilleurs génotypes sur base de la qualité des noix. L'index de sélection massale qui est égal à la performance brute observée (Boyer, 1958) a été utilisé. Les caractères retenus à l'intérieur de l'indice de sélection des génotypes pour la qualité de la noix sont l'*out-turn*, le grainage et le taux d'amande. Le choix de ces caractères a été basé sur leur importance économique, leur héritabilité et les corrélations existantes entre eux. D'après Quinton et al. (2014), il y a trois facteurs à considérer pour déterminer l'importance d'un caractère à l'intérieur d'un indice : le premier est la valeur économique du caractère, le deuxième est son héritabilité et le troisième sa corrélation ou le lien avec les autres caractères.

Les moyennes des caractères sélectionnés ont été standardisées. L'indice (*I*) de sélection utilisé est défini par l'équation linéaire suivante :

$$I = P, P \text{ étant la performance observée (Boyer, 1958).}$$

avec $P = aOT - bGr + cTA$, a, b et c étant des constantes et *OT*, *Gr* et *TA*, l'*out-turn*, le grainage et le taux d'amande, respectivement.

L'indice de sélection utilisé a été ainsi : $I = aOT - bGr + cTA$.

La méthode de calcul des constantes utilisée a été l'estimation subjective (Rivest et al., 2008), en se basant sur les principes énoncés par Falconer (1981) et Cue & St-Onge (2001), et les notes maximales sur les échelles de mesure des caractères retenus. Selon Falconer (1981), cette pondération (choix des constantes) se fait selon l'importance économique relative, l'héritabilité et les corrélations génétiques et phénotypiques entre chaque caractère. Un caractère très important au plan économique aura une pondération plus grande qu'un autre caractère ayant moins d'importance (Cue & St-Onge, 2001). Les échelles correspondantes aux caractères retenus sont présentées ci-dessous :

Out-turn (*OT*), échelle de 1 à 8 :

Ricau (2013) a défini une échelle de qualité des noix selon le tableau 2.

Grainage (*Gr*), échelle de 1 à 6 :

L'échelle sur le grainage des noix brutes d'anacarde est présentée dans le tableau 3.

Taux d'amande (*TA*), échelle 1 à 6 :

1 < 25 % (faible), **2** = 25–27,5 % (acceptable), **3** = 27,5–28,5 % (bon), **4** = 28,5–29,5 % (élevé), **5** = 29,5–30,5 % (très élevé), **6** = 30,5–32 % (excellent).

Ainsi, l'indice de sélection revient à : $I = 8OT - 6Gr + 6TA$.

Tableau 2. Échelle de qualité des noix brutes d'anacarde : l'*out-turn* – Raw cashew nut quality scale: *out-turn*.

Échelle	Lbs	Qualité et caractéristiques des noix
1	< 42	Noix de qualité extrêmement mauvaise, très difficile à transformer
2	42–44	Qualité très mauvaise, difficile à transformer
3	44–46	Mauvaise qualité, peu intéressant pour les transformateurs
4	46–48	Qualité acceptable
5	48–50	Bonne qualité
6	50–52	Très bonne qualité
7	52–54	Excellente qualité
8	54–56	Qualité exceptionnelle, rare et très recherchée

Source : Ricau (2013)

Tableau 3. Échelle de qualité des noix brutes d'anacarde : grainage – *Raw cashew nut quality scale: nut count.*

Échelle	Noix.kg ⁻¹	Qualité et caractéristiques des noix
1	< 240	Noix très petites, difficiles à transformer
2	240–220	Petites noix, peu recherchées
3	200–220	Noix moyennes, grainage le plus courant en Afrique de l'Ouest
4	180–200	Grosses noix, appréciées par les transformateurs si bon <i>out-turn</i> aussi
5	160–180	Très grosses noix, rares et recherchées
6	< 160	Excellent, si l' <i>out-turn</i> > 48

Source : Ricau (2013), pour une échelle de 1 à 5

Analyse statistique. Les données collectées sur la qualité des noix des génotypes ont été présentées sous la forme de tableaux et comparées aux normes standards de qualité des noix de cajou. Des statistiques descriptives (moyenne et écart-type) ont été obtenues. Le test de Lilliefors (test non-paramétrique) a été réalisé pour vérifier si les données réelles des différents caractères suivent la loi normale ou non. Lorsque la loi normale a été vérifiée, les probabilités associées ont été calculées. La table de la loi normale centrée réduite, permettant de déterminer la probabilité que la variable x (par exemple taux d'amande) s'écarte de la moyenne μ de plus de $z_0 \times \sigma$ (écart-type) vers le haut, a été utilisée.

$$Z_0 = \frac{\delta}{\sigma}$$

où δ est l'écart par rapport à la moyenne : $\delta = x - \mu$.

L'analyse de corrélation de Pearson entre les caractères déterminant la qualité des noix des génotypes a été faite et le niveau de signification a été accepté aux seuils de probabilité de 0,05 ; 0,01 et 0,00001. Le logiciel STATISTICA version 8 a été utilisé pour les analyses de données.

3. RÉSULTATS

3.1. Caractéristiques technologiques des noix des différents génotypes

Les génotypes étudiés ont présenté de façon générale un taux moyen d'amande de $25,31 \pm 3,21$ %, de grosses noix pesant en moyenne $6,87 \pm 2,05$ g avec un grainage moyen de 158 ± 42 noix.kg⁻¹. L'*out-turn* moyen des noix de ces génotypes est de $48,35 \pm 4,31$ lbs/sac de 80 kg (Tableau 4).

Tableau 4. Caractéristiques des noix de 54 génotypes d'anacardier – *Nuts characteristics of 54 cashew genotypes.*

Données sur les 54 génotypes analysés	Grainage (noix.kg ⁻¹)	Poids moyen des noix (g)	Taux d'amande (%)	Out-turn (lbs/sac de 80 kg)
Moyenne	157,19	6,87	25,31	48,35
Écart-type	41,74	2,05	3,21	4,61

Out-turn. L'*out-turn* des génotypes étudiés se situe entre 36,96 et 56,50 lbs/sac de 80 kg, et est rangé dans des classes allant de 35 à 60 lbs (Tableau 5). Vingt génotypes sur 54, soit 37,04 %, ont des noix de très bonne qualité.

Le test de Lilliefors, utilisé pour vérifier si les données relatives à l'*out-turn* de ces noix suivent une loi normale ou non, n'est pas significatif ($p < 0,05$). Les données de l'*out-turn* des noix sont donc normalement distribuées. L'*out-turn* des noix de ces génotypes obéit à une loi normale de moyenne 48,35 lbs et d'écart-type 4,61 lbs.

La probabilité pour que l'*out-turn* d'un génotype étudié excède 60 lbs a été calculée.

$$\delta = 60 - 48,35 = 11,65 \text{ lbs}$$

$$Z_0 = \frac{\delta}{\sigma} = \frac{11,65}{4,61} = 2,703$$

Probabilité = 0,235 = 23,5

Ainsi, les génotypes étudiés ont un potentiel d'*out-turn* qui pourrait atteindre et même excéder 60 lbs dans 23,5 cas sur 100.

Tableau 5. Catégorisation de 54 génotypes d'anacardier en fonction de leur *out-turn* – *Categorization of 54 cashew genotypes according to their out-turn.*

Classes d' <i>out-turn</i> (lbs)	Effectifs des classes des génotypes	Fréquences des classes des génotypes (%)
[35 – 40[	1	1,85
[40 – 45[	12	22,22
[45 – 50[	21	38,89
[50 – 55[	15	27,78
[55 – 60[	5	9,26
Total	54	100,00

Test de Lilliefors, K-S d = 0,090 ; $p > 0,20$

Taux d'amande. Les différents génotypes d'anacardiers étudiés ont un taux d'amande minimum de 17,8 % et maximum de 31,8 %, et ont été rangés dans des classes de 17,5 à 32,5 % (Tableau 6). Plus de la moitié des génotypes (31/54), soit 57,41 %, ont des taux d'amande acceptables (31,48 %), 16,67 % ont des taux élevés et 9,26 % présentent des taux excellents.

Tableau 6. Catégorisation de 54 génotypes d'anacardier en fonction de leur taux d'amande – *Categorization of 54 cashew genotypes according to their percentage kernel out-turn.*

Classes de taux d'amande (%)	Effectifs des classes des génotypes	Fréquences des classes des génotypes (%)
[17,5 – 20[	2	3,70
[20 – 22,5[	9	16,67
[22,5– 25[	12	22,22
[25– 27,5[	17	31,48
[27,5 – 30[	9	16,67
[30 – 32,5[	5	9,26
Total	54	100,00

Test de Lilliefors, K-S d = 0,07356 ; $p > 0,20$

Les données relatives au taux d'amande des noix de ces génotypes sont normalement distribuées (test de Lilliefors non significatif, $p > 0,05$). Elles obéissent à une loi normale de moyenne 25,31 % et d'écart type 3,21 %.

La probabilité pour que le taux d'amande d'un génotype étudié excède 32,5 %, a été aussi déterminée :

$$\delta = 32,5 - 25,31 = 7,19$$

$$Z_0 = \frac{\delta}{\sigma} = \frac{11,65}{4,61} = 2,703$$

$$\text{Probabilité} = 0,0129 = 1,3$$

Dans la population des génotypes étudiés, la probabilité d'atteindre ou de dépasser un taux d'amande de 32,5 % est de 1,3 cas sur 100.

Grainage. Le grainage est de minimum 68 noix.kg⁻¹ et de maximum 247 noix.kg⁻¹ menant à une répartition en classes allant de 50 à 250 noix.kg⁻¹ (Tableau 7). La majorité des noix de ces génotypes (51,85 %), soit pour 28 arbres sur les 54, sont très grosses à grosses. Un tiers parmi eux, 33,33 % soit 18 sur 54 génotypes, ont des noix moyennes et seulement 8 arbres sur 54 (14,82 %) ont de petites noix.

Le grainage des noix étudié obéit à une loi normale (test de Lilliefors non significatif, $p > 0,05$) de moyenne 157,19 noix.kg⁻¹ et d'écart-type 41,74 noix.kg⁻¹.

Tableau 7. Catégorisation de 54 génotypes d'anacardier en fonction de leur grainage – *Categorization of 54 cashew genotypes according to the nut count.*

Classes de grainage (noix.kg ⁻¹)	Effectifs des classes des génotypes	Fréquences des classes des génotypes (%)
[50 – 100[	4	7,41
[100 – 150[	24	44,44
[150 – 200[	18	33,33
[200 – 250[	8	14,82
Total	54	100,00

Test de Lilliefors, K-S d = 0,08685 ; $p > 0,20$

Poids des noix. Le poids des noix des génotypes est compris entre 4 et 14,7 g et se range dans des classes de 2,5 à 15 g (Tableau 8). Plus de la moitié de l'effectif des noix (29/54, soit 53,70 %) a une masse comprise entre 5 et 7,5 g et 31,48 % ont des noix de masses situées entre 7,5 et 15 g.

Les données relatives au poids des noix des AHP ne sont pas normalement distribuées (test de Lilliefors significatif, $p < 0,05$).

Tableau 8. Catégorisation de 54 génotypes d'anacardier en fonction de leur masse – *Categorization of 54 cashew genotypes according to their nut weight.*

Classes des poids des noix (g)	Effectifs des classes des génotypes	Fréquences des classes des génotypes (%)
[2,5 – 5,0[	8	14,82
[5,0 – 7,5[	29	53,70
[7,5 – 10,5[	14	25,93
[10,5 – 12,5[	2	3,70
[12,5 – 15[	1	1,85
Total	54	100,00

Test de Lilliefors, K-S d = 0,13240 ; $p > 0,05$

3.2. Corrélation entre les différents caractères liés à la qualité des noix

L'*out-turn* est significativement et positivement corrélé (Tableau 9) au taux d'amande ($r = 0,91$; $p < 0,00001$), au grainage ($r = 0,28$; $p < 0,05$), et négativement corrélé au poids de la noix ($r = -0,35$; $p < 0,01$). Le grainage est négativement et significativement corrélé au poids de la noix ($r = -0,93$; $p < 0,00001$). Le taux d'amande est également négativement et significativement corrélé au poids de la noix ($r = -0,32$; $p < 0,01$). Aucune corrélation significative n'a été observée entre le taux d'amande et le grainage ($r = 0,26$; $p > 0,05$).

Tableau 9. Corrélation entre l'*out-turn*, le grainage et le taux d'amande chez 54 génotypes d'anacardier de Côte d'Ivoire – *Pearson Correlations of percentage kernel out-turn, nut count and out-turn in 54 ivorians cashew genotypes.*

Caractères	<i>Out-turn</i>	Grainage	Taux d'amande
<i>Out-turn</i>	–		
Grainage	0,28*	–	
Taux d'amande	0,91***	0,26	–
Poids de la noix	-0,35**	-0,93***	-0,32**

*Corrélation significative à $p < 0,05$, $p < 0,01$ et *** Corrélation significative à $p < 0,00001$ – **Significant Correlation at $p < 0,05$, $p < 0,01$ and *** Significant Correlation at $p < 0,00001$*

3.3. Sélection des génotypes selon les critères liés à la qualité des noix

L'analyse combinée des données relatives à la qualité des noix a permis de sélectionner 20 génotypes sur les 54 étudiés. Le tableau 10 présente les caractéristiques des 20 génotypes sélectionnés avec leurs indices de sélection.

Onze géotypes sur les 20 ont des noix de très bonne qualité (52,45 lbs ; 27,6 % ; 166 noix.kg⁻¹) à qualité excellente (56,32 lbs ; 31,8 % ; 175 noix.kg⁻¹). Le géotype AHPBo2, au taux d'amande et à l'*out-turn* très élevés, mais de noix de très petites tailles, difficiles à transformer (grainage très élevé), a été sélectionné pour les besoins de la recherche.

Les rendements de ces 20 géotypes sont rangés entre 8 kg de noix/arbre à l'âge de 8 ans à 45 kg de noix/arbre à 29 ans (données non présentées).

Tableau 10. Caractéristiques des noix des 20 géotypes d'anacardier sélectionnés – *Characteristics of 20 cashew genotypes selected.*

Géotypes	Grainage (noix kg ⁻¹)	Taux d'amande (%)	<i>Out-turn</i> (lbs)	Indice de sélection	Appréciation des critères de qualités
AHPP9	175	31,8	56,32	20,85	Super qualité
AHPBo1	150	30,1	55,62	17,17	Super qualité
AHPP2	116	30,1	53,68	16,30	Super qualité
AHPBo3	185	30,1	56,14	12,85	Super qualité
AHPK1	190	27,9	56,5	5,99	Excellente qualité
AHPB3	146	29,2	52,8	4,94	Excellente qualité
AHPBo2*	244	30,4	56,5	4,72	-
AHPV1	150	29,4	52,62	4,26	Très bonne qualité
AHPZ3	190	29,3	54,56	3,74	Très bonne qualité
AHPZ1	202	29,2	54,56	1,30	Très bonne qualité
AHPB1	107	25,1	52,98	-1,08	Très bonne qualité
AHPT6	166	27,6	52,45	-5,10	Très bonne qualité
AHPD1	119	26,7	50,86	-5,41	Bonne qualité
AHPD7	150	27,9	50,86	-6,92	Bonne qualité
AHPT2	122	26,2	50,69	-8,19	Bonne qualité
AHPO2	198	27,9	52,8	-8,51	Bonne qualité
AHPB2	143	27,2	50,69	-8,59	Bonne qualité
AHPD5	150	26,6	50,51	-12,44	Bonne qualité
AHPS4	181	27,1	50,51	-16,25	Bonne qualité
AHPB5	163	25,3	50,34	-19,62	Bonne qualité

*Taux d'amande et *out-turn* très élevés, mais noix très petites, difficiles à transformer (grainage très élevé). Géotype retenu pour les besoins de la recherche – **Very high percentage kernel out-turn and out-turn rate, but very small nuts, difficult to process (very high nut count). Genotype selected for research purposes.*

4. DISCUSSION

4.1. Corrélation entre les différents caractères

Les résultats ont montré qu'au niveau des caractères génétiques (taux d'amande, grainage et poids de la noix), le taux d'amande est négativement corrélé au poids de la noix ($r = -0,32$; $p < 0,01$). Cela signifie que les géotypes aux noix de petites masses à moyennes ont en général des taux d'amande élevés. Ainsi, la sélection pour améliorer le taux d'amande pourrait se faire en identifiant des géotypes ayant des noix de taille moyenne. Aucune corrélation significative n'a été trouvée entre le taux d'amande et le grainage ($r = 0,26$; $p > 0,05$). Le grainage rend compte de la taille moyenne des noix, plus le nombre obtenu est grand, plus les noix sont nombreuses dans un kilo et plus elles sont petites. Toutefois, une forte corrélation négative ($r = -0,93$; $p < 0,00001$) a été observée entre le grainage et le poids de la noix. Ce résultat indiquerait que les noix de petite taille pèsent moins. Ceci pourrait aussi révéler que les noix ayant un grainage élevé, auraient également un taux d'amande élevé. Cependant, certains géotypes font exception. C'est le cas du géotype AHPP2 par exemple, qui a un taux d'amande très élevé (30,1 %) et possède un

faible grainage (grosses noix, 116 noix.kg⁻¹). Ce qui veut dire aussi que des génotypes ayant un faible grainage ou de grosses noix, peuvent également avoir des taux d'amande élevés. Les noix de tels génotypes sont recherchées sur le marché international.

Au niveau de l'*out-turn*, un caractère fortement influencé par l'itinéraire technique de culture, une forte corrélation positive a été trouvée ($r = 0,91$; $p < 0,00001$) avec le taux d'amande. Ce résultat impliquerait que, bien que l'*out-turn* soit influencé par l'itinéraire technique, la sélection de génotypes ayant un taux d'amande élevé pourrait contribuer indirectement à améliorer l'*out-turn*. L'*out-turn* a été positivement corrélé au grainage ($r = 0,28$) et négativement corrélé au poids de la noix ($r = -0,35$). Ainsi, l'*out-turn* associé au grainage peut renseigner sur la taille des amandes qu'on pourrait avoir après le décorticage. Plus les noix sont grosses, moins leur *out-turn* serait élevé. Toutefois, le génotype AHPP2 susmentionné, possédant de grosses noix, a également un *out-turn* très élevé. Ce qui signifierait qu'AHPP2 aurait des amandes de gros calibre, lesquelles sont particulièrement bien vendues sur le marché mondial.

Dans une étude similaire menée au Nigéria, Ogunwolu et al. (2016) ont trouvé que l'*out-turn* est positivement et fortement corrélé au taux d'amande ($r = 0,968$). Ce qui corrobore les résultats de la présente étude. Cependant, ces auteurs ont montré dans leur étude une corrélation négative significative entre l'*out-turn* et le grainage. Ce qui signifierait qu'au Nigéria, plus le grainage est élevé, moins l'*out-turn* est élevé. Cette tendance générale serait l'inverse en Côte d'Ivoire, où plus le grainage est important, plus l'*out-turn* est aussi élevé. Cette différence entre ces résultats ne serait pas de nature génétique, mais serait plutôt liée à la conduite de la culture au Nigéria où le taux d'humidité des noix échantillonnées par Ogunwolu et al. (2016) était très élevé (en moyenne 12,44 %). Ces auteurs ont conclu que les noix de cajou du Nigeria sont de faible qualité, attirant moins les acheteurs sur le marché mondial.

4.2. Qualité des noix des génotypes sélectionnés

Les génotypes étudiés ont présenté de façon générale un taux moyen d'amande de 25,31 %, un grainage moyen de 158 noix.kg⁻¹ et un *out-turn* moyen de 48,35 lbs/sac de 80 kg. Ces résultats sont plus ou moins semblables à ceux obtenus par Tandjiékpon et al. (2011), au Bénin. Ces auteurs ont trouvé des noix présentant les qualités suivantes : *out-turn* moyen de 48,63 lbs/sac de 80 kg, taux d'amande moyen de 27,6 % avec un grainage moyen de 166 noix.kg⁻¹. Ogunwolu et al. (2016), au Nigéria, ont par contre enregistré les qualités suivantes : *out-turn* moyen de 47,53 lbs/sac de 80 kg, taux d'amande moyen de 25,33 % avec un grainage moyen de 181 noix.kg⁻¹. Selon Mohan et al. (2007), un *out-turn* inférieur à 48 lbs/sac de 80 kg n'est pas bon. Les noix présentant cette valeur de l'*out-turn* ne pourraient pas attirer les acheteurs.

Dix-neuf génotypes à haut rendement, avec des noix de très bonne qualité, présentant un grainage situé entre 163 et 175 noix.kg⁻¹, un taux d'amande variant entre 25,3 et 31,8 % et un *out-turn* compris entre 50,34 et 56,32 lbs/sac de 80 kg, ont été sélectionnés dans la présente étude. Ces génotypes pourraient être multipliés et mis à la disposition des producteurs locaux, et des transformateurs. Les résultats obtenus sont en adéquation avec les observations de Masawe & Kapinga (2013a et 2013b) en ce qui concerne le taux d'amande et le grainage. Selon cet auteur, en sélection variétale de l'anacardier, il est fortement recommandé de sélectionner les arbres-mères ayant un taux d'amande supérieur à 25 %. D'après ces auteurs, les génotypes (variétés, clones ou hybrides) qui ont des taux d'amande supérieurs à 25 % sont considérés comme étant de bons génotypes. Les industries de transformation d'anacarde acceptent les noix dont le grainage est inférieur ou égal à 200 noix.kg⁻¹ (Masawe et al., 2015a). Ces auteurs ont souligné que les noix ayant un grainage supérieur à 200 noix.kg⁻¹ sont difficiles à transformer à cause de leur petite taille.

La masse moyenne des noix des génotypes étudiés a été de 6,87 g. Ce qui est largement supérieur à la masse minimum (5 g) acceptable par les industriels de cajou. L'un des génotypes sélectionné, par exemple le génotype AHPP2, a une masse de noix plus élevée que celle de la variété hybride (H9) la plus performante créée par Masawe & Kapinga (2013b). Dans leur étude sur la performance des variétés hybrides élites sélectionnées à Nachingwea en Tanzanie, ces auteurs ont révélé que la masse moyenne de la noix de la variété hybride (H9) est de 8,36 g tandis que celle de la variété témoin AC4/H20 est de 8,29 g. De même, le génotype AHPP2 a une masse de noix (8,6 g) identique à celle du clone W227 développé au Ghana. Ce clone est considéré comme le clone possédant les plus grosses noix au Ghana (Dadzie et al., 2014). En revanche, le génotype AHPB1 montre la noix ayant la masse la plus importante (9,3 g) parmi les génotypes sélectionnés. Le génotype AHPD8 (non sélectionné) présente la noix la plus grosse dans cette étude : 14,7 g (résultat non présenté). Les noix de ce génotype ont une masse supérieure à celle de la descendance demi-frère du clone nain brésilien CCP95 (11,9 g). Cette descendance a enregistré la plus grosse noix dans l'essai d'évaluation de 25 descendants demi-frères de clones nains brésiliens en Tanzanie (Masawe et al., 2015b). Ce génotype présentant de grosses noix avec un taux d'amande faible (22,9 %) pourrait être exploité dans le programme d'amélioration variétale de l'anacardier en Côte d'Ivoire. Il pourrait par exemple être croisé avec le génotype AHPBo2, aux noix de très petite taille (4,1 g) mais un taux d'amande élevé (30,4 %).

L'*out-turn* n'est pas un caractère génétique. Il est lié à l'itinéraire technique et mesure la valeur commerciale des noix d'anacarde. Selon RONGEAD (2010), l'*out-turn* permet aux producteurs de corriger certaines insuffisances au niveau de l'itinéraire technique de culture car il est surtout très important au niveau de la commercialisation des noix. L'*out-turn* moyen des génotypes étudiés correspondant justement à la qualité standard minimum (48 lbs), au niveau du commerce régional (Ricau, 2013; Mohan et al., 2007). Cela indiquerait que l'itinéraire technique de l'anacardier est passablement maîtrisé par la plupart des producteurs ivoiriens, détenteurs de ces arbres. Afin d'améliorer la valeur marchande de la noix de cajou en Côte d'Ivoire, un accent particulier devrait donc être mis sur l'encadrement des producteurs. La sécheresse peut également conduire à une détérioration de l'*out-turn* en provoquant des noix rabougries ou vides. Ces noix ont, en général, un développement incomplet dû à un manque d'eau. Pour faire face à cela, l'adaptation des génotypes au changement climatique est prise en compte dans le programme d'amélioration variétale de l'anacardier en Côte d'Ivoire. Cependant, l'*out-turn* étant positivement et fortement corrélé au taux d'amande, une sélection de génotype d'anacardier de qualité et à taux d'amande élevés, pourrait conduire indirectement à un *out-turn* moyen élevé.

5. CONCLUSIONS

L'analyse technologique des noix a été réalisée chez 54 génotypes d'anacardier de Côte d'Ivoire. La majorité des noix des génotypes étudiés ont présenté des taux d'amande élevés et un bon grainage. Les noix de ces génotypes pourraient être facilement transformées par les usines et avoir une bonne valeur marchande. Dix-neuf génotypes à haut rendement, avec des noix de très bonne qualité, ont été sélectionnés. Les résultats ont par ailleurs montré que, de façon générale, les génotypes étudiés ont en moyenne un *out-turn* acceptable. L'itinéraire technique de l'anacardier est passablement maîtrisé par les producteurs ivoiriens. Afin d'améliorer la qualité des noix d'anacarde au niveau national, un accent particulier devrait être mis sur l'encadrement des producteurs. L'*out-turn* a été fortement corrélé au taux d'amande. Bien que l'*out-turn* soit un caractère influencé par l'itinéraire technique, la sélection de génotypes ayant un taux d'amande élevé pourrait contribuer indirectement à améliorer l'*out-turn*.

Bibliographie

- Akande T.O., Akinwumi A.O. & Abegunde T.O., 2015. Cashew reject meal in diets of laying chickens: nutritional and economic suitability. *Journal of Animal Science and Technology*, **57**, 17-23.
- Akinhanmi T.F., Akintokun P.O. & Atasié N.V., 2008. Chemical composition and physicochemical properties of cashew nut (*Anacardium occidentale*) oil and cashew nut shell liquid. *Journal of Agricultural, Food and Environmental Science*, **2**(1), 1-10.
- Azam-Alli S.H. & Judge E.C., 2001. *Small scale cashew nut processing*. ITDG. FAO, Rome, 70 p.
- Bezerra M.A. et al., 2007. Physiology of cashew plants grown under adverse conditions. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, **19**(4), 449-461.
- Boyer J.P., 1958. Théorie et calcul des index de sélection. *Annales de Zootechnie*, **7**(3), 193-242.
- Cashew Info, 2016. *Country profiles*. http://www.cashewinfo.com/country_profiles/Cote%20d'Ivoire.pdf, (10/07/2017).
- Cue R. & St-Onge A., 2001. Les valeurs économiques des caractères de sélection pour les bovins laitiers. *25^e symposium sur les bovins laitiers : des défis ? des solutions !*, 17 octobre 2001, Québec, 31-42.
- Dadzie A.M. et al., 2014. Evaluation of Potential Cashew Clones for Utilization in Ghana. *Advances in Biological Chemistry*, **4**, 232-239.
- Falconer D.S., 1981. *Introduction to quantitative genetics*. 2nd ed. Longman Group: England, 340 p.
- Goujon P. et al., 1973. Études sur l'Anacardier. *Revue Bois et Forêt des Tropiques*, **151**, 27-53.
- Malamine S., 2016. Join SIETTA 2016 – Be a Part of the Growing African Cashew Sector. *Cashew week*, **17**(5), 20-22.
- Masawe P.A.L. & Kapinga F.A., 2013a. Towards a sustainable cashew industry in Tanzania. In: Masawe P.A.L. et al. (eds). *Proceedings of the second international Cashew conference, Kampala, Uganda, 26-29 April 2010*. CAB International, Wallingford, UK, 112-118.
- Masawe P.A.L. & Kapinga F.A., 2013b. Preliminary observations on the performance of selected elite cashew hybrids at Nachingwea, southern Tanzania. In: Masawe P.A.L. et al. (eds). *Proceedings of the second international Cashew conference, Kampala, Uganda, 26-29 April 2010*. CAB International, Wallingford, UK, 26-29.
- Masawe P.A.L., Kapinga F.A., Madeni J. & Ngamba S., 2015a. Performance of 29 cashew hybrids under conditions of coastal areas of Chambezi Bgamoyo in Tanzania. In: Masawe P.A.L. et al. (eds). *Proceedings of the Third international Cashew*

- conference, Dar Es Salaam, Tanzania, 16-19 November 2015. Naliendele Agricultural Research Institute, Mtwara, Dar es Salam, Tanzania, 2-11.
- Masawe P.A.L., Kapinga F.A., Madeni J. & Ngamba S., 2015b. The performance of 25 Brazilian dwarf cashew clones under conditions of Nachingwea in southern Tanzania. In: Masawe P.A.L. et al. (eds). *Proceedings of the Third international Cashew conference, Dar Es Salaam, Tanzania, 16-19 November 2015*. Naliendele Agricultural Research Institute, Mtwara, Dar es Salam, Tanzania, 12-23.
- Mohan R. et al., 2007. *Amélioration de la qualité des noix de cajou au Sénégal – Manuel de formation, 3^e éd.* USAID/ Sénécomex/IRG, 39 p.
- Narayanan A., 2016. Vietnam and Cambodia Combined RCN Crop Could be 500,000 - 525,000 tonnes in 2016. *Cashew week*, **17**(5), 45-47.
- Ogunwolu S.O. et al., 2016. Evaluation of Quality of Raw Cashew (*Anacardium occidentale*, L) Nut from Major Cashew Producing Areas of Nigeria. *American Journal of Food Technology*, **4**(6), 178-181.
- Quinton C., Kennedy D., Stachowicz K. & Miller S., 2014. Economic breeding objectives for Canadian lamb. *Proceedings of 10th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Vancouver BC, Canada, 17-22 August 2014*.
- Ricau P., 2013. *Connaître et comprendre le marché international de l'anacarde*. RONGEAD, 48 p.
- Rico R., Bulló M. & Salas-Salvadó J., 2016. Nutritional composition of raw fresh cashew (*Anacardium occidentale* L.) kernels from different origin. *Food Science and Nutrition*, **4**(2), 29–338.
- Rinderknecht L., 2013. *Évaluation du potentiel à l'exportation des noix de cajou de Côte d'Ivoire*. Centre du commerce international (ITC), Fiche Export Anacarde : Côte d'Ivoire, Document de travail, Genève, 54 p.
- Rivest J.M. et al., 2008. *Estimation du potentiel économique de nouveaux caractères génétiques et développement d'un outil de calcul des valeurs économiques des indices paternel et maternel*. Rapport final. CDPQ, 86 p.
- RONGEAD, 2008. *Apprécier la qualité des noix de cajou brutes*, RONGEAD, 25 p.
- RONGEAD, 2010. *L'out-turn ou comment mesurer la qualité de l'anacarde ?* RONGEAD, 38 p.
- RONGEAD, 2014. Étude sur les mesures incitatives et de protection de l'industrie de l'anacarde en Côte d'Ivoire. *Atelier organisé par Conseil Coton et Anacarde*, Ministère de l'Agriculture et Ministère de l'Industrie les 11 et 12 février 2014, 21 p.
- Santos M.L. & Magalhães G.C., 1999. Utilization of cashew nut shell liquid from *Anacardium occidentale* as starting material for organic synthesis: a novel route to lasiodiplodin from cardols. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, **10**, 13-20.
- Sauer J.D., 1993. *Historical geography of crop plants: a select roster*. CRC Press, México, 320 p.
- Sivagurunathan P., Sivasankari S., Muthukkaruppan S.M., 2010. Characterisation of cashew apple (*Anacardium occidentale* L.) fruits collected from Ariyalur District. *Journal of Bioscience Research*, **1**, 101-107.
- Tandjiékpon A.M., Salifou M.I. Ouidoh-Agbodjogbé F. & Atchaoue V.S., 2011. *Cartographie du KOR pour la campagne 2011 au Bénin*. Initiative de Cajou Africain Bénin : Fiche de Résultats n° 003/2011. http://africancashewinitiative.org/imglib/downloads/270711_Benin_%20Cartographie%20KOR%202011.pdf (08/07/2017)
- Velmurugan P. et al., 2014. Synthesis of Silver and Gold Nanoparticles Using Cashew Nut Shell Liquid and Its Antibacterial Activity Against Fish Pathogens. *Indian Journal of Microbiology*, **54**(2), 196-202.

2. Performance of 26 selected elite cashew hybrids under the conditions of Nachingwea in Southern Tanzania Short title. Performance of 26 selected elite cashew hybrids in Southern Tanzania

Peter Albert Lello Masawe*, Fortunus Anton Kapinga, Joachim Paul Madeni, Dadili Majune, Zabron Samson Ngamba

Naliendele Agricultural Research Institute, Cashew Research Programme, P.O. Box 509 Mtwara, Tanzania

*E-mail corresponding author: palmasawe@gmail.com

Description of the subject. A study was undertaken to evaluate the performance of selected elite cashew hybrids developed by controlled hand pollination in 1996.

Objectives. The objective of the trial was to find out which of these elite hybrids would perform well in the agro-ecological site of Nachingwea district.

Method. A total of 284 new hybrids were developed by crossing commercial cashew varieties with selected cashew clones that originated from Jamaica, Zambia, Brazil and Trinidad. The hybrids were preserved as seedlings in a nursery at NARI (Naliendele Agricultural Research Institute) in Mtwara because funds were not available for field evaluation. The hybrids were later propagated vegetatively and planted in the field at NARI in 2000. Yield and nut quality (nut weight, kernel weight and percentage kernel outturn) were recorded on individual tree basis for seven years from 2001 to 2007. From these data, mass selection was carried out and 26 elite hybrids were identified for further observation in an advanced trial. The 26 elite hybrids were planted in a replicated trial at Nachingwea district in Lindi region, Tanzania. A high yielding commercial cashew variety AC4 was used as a control. Yield and nut quality were recorded on individual tree basis for eight years from 2008 to 2016.

Results. Analysis of the data revealed that a number of the hybrids performed better than control variety AC4 in terms of nut yields as well as nut quality.

Conclusions. Eleven hybrids were recommended for commercialisation in Nachingwea and in areas with similar climatic conditions in Tanzania due to its superiority in nut weight.

Performance de 26 hybrides anacardiens sélectionnés sous conditions à Nachingwea au Sud de la Tanzanie

Description du sujet. Une étude a été entreprise pour évaluer les performances de certains hybrides d'anacardes sélectionnés par pollinisation manuelle contrôlée en 1996.

Objectifs. L'objectif de l'essai était de déterminer lesquels de ces hybrides d'élite seraient performants sur le site agro-écologique du district de Nachingwea.

Méthode. Un total de 284 nouveaux hybrides ont été développés en croisant des clones de noix de cajou sélectionnés provenant de la Jamaïque, de la Zambie, du Brésil et de Trinidad. Les hybrides ont été conservés en tant que plants dans une pépinière du NARI (Naliendele Agricultural Research Institute) à Mtwara parce que les fonds n'étaient pas disponibles pour l'évaluation sur le terrain. Les hybrides ont ensuite été multipliés par voie végétative et plantés sur le terrain à NARI en 2000. La qualité des noix (poids des noix, poids des graines et pourcentage de grains) a été enregistrée sur une base individuelle de 2001 à 2007. À partir de ces données, la sélection de masse a été effectuée et 26 hybrides d'élite ont été identifiés pour une observation ultérieure dans un essai avancé. Ces 26 hybrides d'élite ont été plantés dans un essai dans le district de Nachingwea dans la région de Lindi, en Tanzanie. L'objectif de l'essai était de découvrir lequel de ces hybrides d'élite serait performant dans ce site agro-écologique. Une variété de cajou à haut rendement commercial AC4 a été utilisée comme témoin.

Résultats. L'analyse des données a révélé qu'un certain nombre d'hybrides ont obtenu de meilleurs résultats que la variété témoin AC4 en termes de rendement en noix et de qualité.

Conclusions. Onze hybrides ont été recommandés pour la commercialisation à Nachingwea et dans des régions ayant des conditions climatiques similaires en Tanzanie, en raison de sa supériorité en poids de noix.

1. INTRODUCTION

Cashew (*Anacardium occidentale* L.) originated in Latin America, specifically North-Eastern Brazil (Ohler, 1979). It was introduced in East Africa in the 16th century (Woodroof, 1979). Since cashew was not brought to East Africa for the purpose of cultivation, it might have come from unselected seeds representing possibly a narrow genetic base (Masawe, 1994). As a result, some farmers get poor producing and disease susceptible varieties (ECI Africa, 2003). In addition to that, smallholder farmers face major constraint of access to good planting materials (Dendena & Corsi, 2014). Improving productivity is a challenge that needs attention in cashew industry worldwide. Dadzie et al. (2014) reported low and variable nut yields, low kernel outturn percentage and susceptibility to insect pests and diseases as the main challenges of the crop (cashew) in Ghana. The development of appropriate improved planting materials resistant to biotic and abiotic factors is one of the approaches towards increasing productivity of the crop. It is from this concept that cashew hybridisation remains to be a driving force in cashew improvement programmes. Nevertheless, hybridization is labour intensive and time consuming because the whole process from hand pollination to harvesting takes about three months (Masawe, 2009).

Hybrid seeds usually require field evaluation period of not less than five years before mass selection is carried out. The selected elite hybrids need to undergo field evaluation in replicated trials to establish whether the observed performance was genetic or environmentally controlled (Masawe, 2009).

Evaluation of hybrids produced in 1996 was carried out at NARI Mtwara from 2001 to 2007, from which 26 elite hybrids were selected for further evaluation in an advanced trial. Selection of these hybrids was based on nut yields and nut quality. Since performance of these hybrids was based on data from a single site it was important to test them in contrasting environment to find out if their performance was due to favourable environment conditions or genetic traits. Hence, an experiment for evaluation of the hybrids was set at Nachingwea Lindi.

2. MATERIALS AND METHODS

Two sites were used to undertake the two independent trials. These were NARI in Mtwara region and Nachingwea Research substation in Lindi, both in Southern zone of Tanzania.

The NARI is located in Mtwara Municipal, Southern Tanzania at 10° 22' S 40° 11' E and at altitude of 120 m asl. The mean annual temperature is around 26°C and mean annual rainfall is about 1,160 mm which falls in a single six-month season from November to April. Soil fertility levels are very low and soil structures are weakly developed. The top soils have loamy sand textures changing with depth to sand soils.

The Nachingwea research substation is located in Nachingwea district in Lindi region, Southern Tanzania. The district is situated at 10.38° S, 38.77° E and altitude of about 393 meters asl. Rainfall at Nachingwea is mono-modal and the annual rainfall is about 870 mm which is lower than NARI. The average temperatures for the year at Nachingwea is 24.4°C. The average humidity ranges from 54-79% (Weatherbase, 2011). Soil at Nachingwea are red or reddish-brown sandy loams and loams, sticky when wet but hard and massive when dry.

Twenty-six high yielding cashew hybrids with good nut quality were selected (Table 1) from 284 hybrids developed by hand cross pollination in 1996 and evaluated from year 2001 to 2007. The parents involved in the cross pollination were selected cashew varieties registered in Tanzania and selected cashew clones imported in Zambia (Brazil origin), Jamaica and Trinidad. The selected hybrids were vegetatively propagated at NARI and later transplanted in the field at Nachingwea in February 2008. A selected commercial cashew variety (AC4) was used as control. The experimental design was RCBD (Randomised Complete Block Design) in three replicates. The plot size was four trees planted at a spacing of 12 m between rows and 12 m within rows.

Good agricultural practices i.e. pruning, weeding, control of insect-pest and diseases were carried out as recommended by agronomy and crop protection units of NARI Cashew Research Programme. The PMD (powdery mildew disease) was controlled by using Triadimenol (Transmute) fungicide at a rate of 10-15 ml/l of water per tree (Sijaona, 2009a) and sulphur dust at a rate of 250 g/tree (Boma et al., 1997; Sijaona, 2009b). Sucking pests were controlled by using Lambda cyhalothrin (Ninja) insecticide at a rate of 5 ml/l of water per tree. The control of the mealy bugs was carried out using insecticide (selecron) at the rate of 7.1 ml/l of water (Sijaona et al., 2001) whenever there was pests out-break. The yield and nut quality were recorded on a tree basis for seven years from 2010 to 2016. Data analysis was carried out using GenStat statistical software (GenStat Discovery Edition 16). Duncan's Multiple Range Test was used to separate the means.

Table 1. List of parents crossed for the hybrids selected for evaluation at Nachingwea – *Liste des parents croisés pour les hybrides sélectionnés pour l'évaluation à Nachingwea.*

S/N	Crossed parents (Female x Male)	Hybrid name
1	AC28/94 x ATRIN	C3-1
2	AC6/445 x BRZ11.21	C15-2
3	AC6/445 x BRZ11.21	C15-3
4	AC4 x BRZ10.16	C14-4
5	AC28 x BRZ10.16	C5-2
6	AC4/17 x BRZ4.4	C7-1
7	AC4/17 x BRZ4.4	C7-2
8	AC6/445 x BRZ11.21	C15-2
9	AC6/445 x BRZ11.21	C15-4
10	AZA2/339 x BRZ10.16	C22-4
11	AC4/263 x ATRIN	C10-4
12	AC4 x AJ74	C13-2
13	AC4/17 x BRZ4.4	C7-1
14	AC4/263 x ATRIN	C10-1
15	AC4/263 x ATRIN	C10-4
16	AC1/75 x AJ74	C1-2
17	AC1/75 x AJ74	C1-3
18	AC1/75 x AJ74	C1-4
19	AC28 x BRZ10.16	C5-1
20	AC6 x BRZ11.21	C19-4
21	AC4/259 x BRZ4.4	C9-3
22	AC4 x AJ74	C13-1
23	AC4 x AJ74	C13-4
24	AC28 x BRZ10.16	C4-1
25	NTP88/04 x BRZ4.4	C25-3
26	AC6/445 x BRZ11.21	C15-2
27	AC4	Control variety

3. RESULTS

Analysis of variance for yield in years 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 and 2016, nut weight, kernel weight and %OT (percentage kernel out-turn) is presented in Table 2. The table indicated that there were highly significant differences in performance of the hybrids for almost all parameters under observation ($p \leq 0.01$). Trial means for nut yields (in 2016 when the selection was made), nut weight, kernel weight and %OT were 25.16 kg/tree, 7.59 g, 2.28 g and 30.31% respectively. Generally, the trial mean yields begun to increase when cashew trees were three years old and continued until they were nine years old. Thereafter, yields remained more or less at the same levels (Table 2). The CV (Coefficient of variations) for the data recorded in nut yields ranged from 22.60% (Y2015) to 48.40% (Y2010) which appears to be relatively high.

Duncan multiple range test for nut yields and nut quality sorted by nut weight are presented in Table 3. The data clearly show that in 2016 the highest yielding hybrid was Hybrid C1-4 (38.20 kg/tree) and it was statistically significantly different ($p \leq 0.05$) from all the other hybrids (Table 3). Hybrid C5-2 was the lowest yielder (16.18 kg/tree); however, it was not statistically significantly different from other five hybrids (C9-3, C4-1, C19-4, C15-2-2 and C5-1). The control cashew variety AC4 ranked 12th in yield in year 2016.

Regarding nut weight, hybrid C9-3 had the highest nut weight (9.43 g); however, it did not differ significantly from hybrids C4-1, C13-2, C1-2, C7-1-13, C19-4 and C5-2 (Table 3). Also, Hybrid C9-3 excelled in kernel weight (2.84 g), however, it was not statistically significantly different from hybrids C13-2 and C19-4. The lowest kernel weight was recorded on hybrid C10-4-11 (1.71 g) which did not differ significantly from hybrids C25-3 and C15-3. When considering the percentage out turn, hybrid C15-2-8 had the highest percentage (33.67%). However, it was not statistically significantly different from 10 other hybrids including control variety AC4 (C19-4, C14-4, C3-1, C15-2-2, C15-4, C15-2-26, C5-1, C25-3 and C15-3).

Table 2. Analysis of variance for yield, nut weight, kernel weight and %OT for 26 selected hybrids developed in 1996 at Nachingwea site – *Analyse de variance des rendements, poids des noix, poids des amandes et %OT pour 26 hybrides sélectionnés en 1996 à Nachingwea.*

Source	df	Y2010 (3 Yrs)	Y2011 (4 Yrs)	Y2012 (5 Yrs)	Y2013 (6 Yrs)	Y2014 (7 Yrs)	Y2015 (8 Yrs)	Y2016 (9 Yrs)	NutWt	KernWt	%OT
Rep	2	6.501**	1.894	62.177**	69.472**	146.31	82.72**	731.23***	10.21**	0.454	43.01**
Hybrid	26	7.267**	22.289**	33.721**	71.735**	269.16**	40.79**	275.44***	12.06***	0.74***	49.96***
Rep x Hybrid	52	3.220**	6.808**	11.704**	22.759**	190.18**	44.52**	105.94***	3.36***	0.214	26.64***
Error		0.751	2.534	4.991	9.976	83.510	14.450	36.510	1.540	0.155	8.47
Mean		1.79	3.75	5.04	8.97	26.23	16.79	25.16	7.59	2.28	30.31
CV(%)		48.40	42.40	44.30	35.20	34.80	22.60	24.00	16.40	17.30	9.6

** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$; Y2010 = Yield (kg) in 2010 – *Rendement (kg) en 2010*; Yrs = Years (age of the tree) – *Années (âge de l'arbre)*; NutWt = Nut weight (g) – *Poids de la noix (g)*; KernWt = Kernel weight (g) – *Poids des amandes (g)*; %OT = Percentage kernel outturn – *Pourcentage d'outturn des amandes*.

Table 3. Ranked order of means for yield, nut weight, kernel weight and OT% for 26 hybrids developed in 1996 at Nachingwea site – Ordination des moyennes des rendements, des poids des noix, des poids des amandes et %OT pour les 26 hybrides développés en 1996 à Nachingwea.

No	Hybrid	Y2010	Y2011	Y2012	Y2013	Y2014	Y2015	Y2016	NutWt	KernWt	%OT
1	C9-3	2.261b-g(8)	4.102c-f(12)	4.59c-f(17)	8.355c-k(18)	19.14g(27)	15.61e-f(20)	20.91f-i(22)	9.439a(1)	2.846a(1)	30.27d-g(15)
2	C4-1	2.505a-d(5)	6.610a(1)	6.63b-c(4)	12.971a(1)	24.61c-g(18)	14.90e-f(24)	18.82g-i(25)	9.343a(2)	2.236c-h(15)	24.42i(27)
3	C13-2	1.756d-i(15)	4.434b-e(7)	6.05b-d(8)	11.726a-b(2)	26.98a-g(12)	18.41a-e(5)	27.76b-e(7)	9.257a(3)	2.724ab(2)	29.44d-h(19)
4	C1-2	0.163i(25)	0.549h(27)	1.47h(26)	2.669h(27)	22.33d-g(19)	14.83e-f(25)	22.03e-h(21)	8.948ab(4)	2.458b-e(5)	27.59gh(25)
5	C7-1-13	2.338b-f(7)	4.894b-d(4)	4.58c-f(19)	9.181a-g(14)	26.09a-g(16)	19.57a-d(4)	26.48b-f(11)	8.616a-c(5)	2.492b-d(4)	29.14d-h(22)
6	C19-4	1.530f-i(21)	3.391d-f(19)	5.23b-e(16)	7.381f-g(21)	21.22f-g(21)	14.43f(27)	20.3g-i(23)	8.55a-d(6)	2.57a-c(3)	32.01a-d(4)
7	C5-2	0.946h(24)	1.828g-h(24)	2.34g-h(25)	6.829g(23)	21.02f-g(22)	15.77e-f(17)	16.18i(27)	8.301a-e(7)	2.335c-f(12)	28.15f-h(24)
8	C13-1	2.531a-d(4)	4.750b-d(5)	5.54b-e(13)	9.173a-g(15)	28.41a-f(10)	16.17d-f(16)	26.2b-f(13)	8.056b-f(8)	2.438b-f(7)	29.89d-h(17)
9	C7-2	1.534f-i(20)	4.315b-e(11)	5.27b-e(15)	10.083a-f(10)	26.37a-g(14)	20.00a-c(3)	24.25c-g(16)	7.978b-g(9)	2.299c-f(13)	28.83e-h(23)
10	C14-4	1.893c-h(14)	2.564f-g(23)	4.51c-f(20)	11.225a-d(5)	19.25g(25)	15.19e-f(22)	23.59c-g(17)	7.907b-g(10)	2.452b-f(6)	31.13a-e(10)
11	C1-4	2.827a-b(2)	5.730a-b(2)	8.69a(1)	11.447a-c(4)	34.13a(1)	14.98e-f(23)	38.2a(1)	7.816b-h(11)	2.366b-f(10)	30.2d-g(16)
12	C13-4	3.151a(1)	5.149b-c(3)	6.64b-c(3)	11.629a-b(3)	20.92f-g(23)	16.90b-f(12)	22.98d-h(19)	7.63c-h(12)	2.365b-f(11)	30.61b-f(13)
13	AC4	0.069i(27)	1.812g-h(25)	2.70f-h(24)	6.832g(22)	22.10e-g(20)	16.43c-f(14)	26.48b-f(12)	7.608c-h(13)	2.424b-f(8)	31.79a-d(8)
14	C10-4-15	1.451g-i(22)	4.370b-e(10)	5.63b-e(12)	7.939e-g(20)	26.36a-g(15)	16.25d-f(15)	27.13b-e(9)	7.424d-i(14)	2.179c-h(19)	29.48d-h(18)
15	C3-1	2.408a-e(6)	4.048c-f(14)	5.67b-e(11)	8.909b-g(16)	28.32a-f(11)	17.37b-f(8)	26.16b-f(14)	7.31e-i(15)	2.412b-f(9)	33.32a-c(3)
16	C1-3	2.165b-h(10)	4.396b-e(9)	5.80b-e(9)	9.961a-f(11)	29.55a-f(8)	14.61e-f(26)	27.61b-e(8)	7.287e-j(16)	2.215c-h(16)	30.55c-f(14)
17	C10-1	2.049b-h(12)	4.042c-f(15)	5.70b-e(10)	10.513a-e(8)	29.86a-f(7)	16.46c-f(13)	31.15b(3)	7.205e-j(17)	2.115d-h(21)	29.4d-h(20)
18	C7-1-6	1.578e-i(19)	3.032e-g(22)	3.82e-g(23)	8.153d-g(19)	26.60a-g(13)	15.63e-f(19)	26.11b-f(15)	7.172e-j(18)	2.208c-h(17)	30.63b-f(12)
19	C15-2-2	1.606e-i(17)	3.641c-f(17)	4.58c-f(18)	6.652g(25)	20.87f-g(24)	16.97b-f(11)	19.08g-i(24)	7.123e-j(19)	2.244c-g(14)	31.87a-d(6)
20	C22-4	1.327hi(23)	3.369d-f(21)	5.28b-e(14)	9.912a-f(13)	33.70a-b(2)	15.64e-f(18)	23.19d-h(18)	7.06f-j(20)	2.06f-h(24)	29.2d-h(21)
21	C15-4	2.227b-g(9)	4.398b-e(8)	6.14b-c(7)	10.467a-e(9)	30.82a-e(6)	15.44e-f(21)	29.45bc(4)	6.839g-j(21)	2.177d-h(20)	31.96a-d(5)
22	C15-2-26	1.943c-h(13)	4.467b-e(6)	6.32b-c(5)	11.136a-d(6)	32.13a-c(4)	17.72a-f(7)	31.39b(2)	6.691h-k(22)	2.07e-h(23)	30.95a-f(11)
23	C5-1	0.157i(26)	0.770h(26)	1.34h(27)	3.264h(26)	19.22g(26)	16.99b-f(10)	17.79hi(26)	6.689h-k(23)	2.114d-h(22)	31.83a-d(7)
24	C15-2-8	1.611e-i(16)	3.372d-f(20)	4.48c-f(21)	8.438c-k(17)	29.17a-f(9)	20.44a-b(2)	28.26b-d(6)	6.659h-k(24)	2.202c-h(18)	33.67a(1)
25	C10-4-11	1.586e-i(18)	4.062c-f(13)	7.02a-b(2)	9.923a-f(12)	31.13a-d(5)	18.06a-f(6)	26.89b-e(10)	6.256i-k(25)	1.713i(27)	27.29h(26)
26	C25-3	2.630a-c(3)	3.682c-f(16)	6.28b-c(6)	10.712a-e(7)	33.14a-c(3)	21.23a(1)	28.79b-d(5)	6.101jk(26)	1.911g-i(25)	31.37a-e(9)
27	C15-3	2.131b-h(11)	3.469d-f(18)	3.92d-g(22)	6.652g(24)	24.71b-g(17)	17.31b-f(9)	22.13e-h(20)	5.598k(27)	1.859hi(26)	33.42ab(2)

Means with the same letter(s) in the same column are not significantly different following Duncan's Multiple Range Test ($p \leq 0.05$). Numbers within parentheses following the letter(s) stand for rank Y = Yield (kg) – Rendement (kg) en 2010; NutWt = Nut weight (g) – Poids de la noix (g); KernWt = Kernel weight (g) – Poids des amandes (g); %OT = Percentage kernel outturn – Pourcentages d'outturn des amandes.

4. DISCUSSION

Results of the analysis of variance have shown that a number of hybrids appeared to perform better than the control variety AC4 in nut yields as well as nut quality, which is a clear evidence that majority of the hybrids were potentially higher yielding than the control. Ranking of mean nut yields by years under observation showed that the control variety AC4 ranked 27th (0.06 kg), 25th (1.81 kg), 24th (2.70 kg), 22nd (6.83 kg), 20th (22.10 kg), 14th (16.43 kg) and 12th (26.48 kg) in years 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 and 2016 respectively (Table 3). This indicates that majority of the hybrids had higher potential yield compared to the control variety AC4. The nut yields of the hybrids in the last three years of observation ranged from 19.14–34.13 kg/tree (2014), 14.43–21.23 kg/tree (2015) and 16.18–38.20 kg/tree (2016) were economic production as they were higher than the cashew genotypes reported by Adeigbe et al. (2015) in Nigeria which produced an average of 10 kg/tree and the improved varieties reported by Desai et al. (2010) in India producing 10–15 kg/tree.

High yielding is one of the criteria that must be considered in selecting superior cashew trees; however, the trees must also produce nuts that – when processed – can produce large kernel grades (WW180, WW210 and WW240) which command premium prices in the market (de la Cruz & Fletcher, 1997). It was interesting to note that 12 hybrids had nut weights greater than the control variety AC4 (7.60 g) which demonstrated their superiority. The range of 5.59 to 9.43 g recorded by the hybrids was higher than 5.1 to 7.0 g reported by Gyedu-Akoto et al. (2014) of cashew nuts in Ghana. In selecting best hybrids, it was necessary to consider other parameters like yield and kernel OT% and not nut weight alone. It should be noted that big nuts are easy to shell and they also produce big kernels which fetch higher prices. Smaller nuts have higher number of nuts per unit weight and cost more to shell while they fetch lower prices in the international markets. The minimum nut weight for cashew genotypes to be selected as improved planting material in Tanzania is 6.5 g (Anonymous, 2010; Masawe & Kapinga, 2017).

The kernel weight ranged from 1.71 to 2.84 g was within the range reported by Blaikie et al. (2002) of 1.4 to 3.2 g. On the other hand, when considering OT% all hybrids have an excellent outturn ranging between 24.42% and 33.67%, which confirms that the previous selection was correctly done. This is comparable with results obtained by Blaikie et al. (2002) who reported a range of 26% to 34%. However, these results were higher than the minimum standard OT% of 20% acceptable by cashew processors in Tanzania (Anonymous, 2012).

The CVs for yields were slightly high (up to 48.40%) compared to annual crops but are still within acceptable range for a tree crop like cashew. Similar and even higher CVs in cashew have been reported by other authors (Neto, 1992; Neto et al., 1997; Kasuga, 2003; Masawe et al., 2005; Masawe, 2006).

Ranking means for yield, nut weight, kernel weight and OT% (in 2016), revealed that 11 hybrids had yields higher than control variety; however, only few of them had higher nut and kernel weights. Since nuts with higher (nut & kernel) weight supported by higher OT% appear to be more profitable to processors, the selection of the best hybrids was undertaken based on nut and kernel weights without forfeiting yields. In year 2016 when the selection was carried out, 12 cashew hybrids had nut weights higher than control variety but one of them (C5-2) was the lowest yielder therefore it was rejected (Table 3). In addition, hybrid C3-1 had yield equivalent to control variety AC4 but ranked third in OT% (33.32%). This has warranted it to be grouped among the best cashew hybrids.

5. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

As noted from the preceding section, 10 cashew hybrids had higher nut weights and high yields and one cashew hybrid (C3-1) followed control variety AC4 in kernel weight, ranked third in OT% and consistently recorded good yields in the seven years of observation. It is evident that these hybrids (C9-3, C4-1, C13-2, C7-1-13, C19-4, C13-1, C7-2, C14-4, C1-4, C13-4 and C3-1) performed well at this site and therefore they can be recommended for planting in Nachingwea and in areas with similar climatic conditions.

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge funding from the Government of the United Republic of Tanzania through the Ministry of Agriculture Livestock and Fisheries and Commission for Science and Technology in Tanzania, Cashew Research Steering Committee for approving this study and Cashewnut Board of Tanzania for ensuring funds were timely made available. We are so grateful to Stella Mfunu, Khalifa Issa and Ben Mpangala for taking lead in data collection, compilation and computerization. Many thanks go to Faustine Machina for his invaluable contribution in maintaining trial and supervision of data recording. Last but not least, we appreciate the contribution of our drivers Twalib Mmole and Hashim Mchotike who played a substantial role in driving us safely to the field for data collection.

Bibliography

- Adeigbe O.O., Olasupo F.O., Adewade B.D. & Muiyiwa A.A., 2015. A review on cashew research and production in Nigeria in the last four decades. *Academic journal*, **10**(5), 196-209.
- Anonymous, 2010 & 2012. *Annual Cashew Research Report for 2010/2011 and 2012 seasons*. Ministry of Agriculture, Livestock and Fisheries Tanzania.
- Blaikie S. et al., 2002. *Assessment and Selection of New Cashew Hybrids*. Environmentally friendly paper, Canprint. Publication number 01/177, 29 p.
- Boma F., Topper C.P. & Anthony J.K., 1997. *Evaluation of various sulphur formulations for the control of powdery mildew (Oidium anacardii Noack) on cashew in Tanzania*. Paper submitted to Registrar of Pesticides TPRI, Arusha. (S.H. Shomari and P.A.L. Masawe eds). Cashew Research Programme, Naliendeke, Mtwara, Tanzania.
- Dadzie A.M et al., 2014. Evaluation of potential cashew clones for utilization in Ghana. *Advances in Biological Chemistry*, **4**, 10.
- Dela-Cruz F.S. & Fletcher R.J., 1997. Identification of Superior Cashew Trees from a Seedling Population. *Crop Science Society of the Philippines*, **22**(2), 83-88.
- Dendena B. & Corsi S., 2014. Cashew, from seed to market: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, **34**(4), 753-772.
- Desai A.R. et al., 2010. Techniques and Practices For Cashew Production. *Technical Bulletin*, **21**, ICAR Research Complex for Goa, Ela, Old Goa - 403402, Goa, India.
- ECI Africa, 2003. *Cashew nut sub-sector study final report, October 2003*. Development Alternatives Inc-Private Enterprise Support Activities Project Tanzania, 73 p.
- Gyedu-Akoto E. et al., 2014. Assessment of Post-Harvest Handling Effects on Quality of Cashew nuts and Kernels in Ghana. *Journal of Scientific Research and Report*, **3**(7), 953-965.
- Kasuga L.J.F., 2003. *Adoption of improved cashew (Anacardium occidentale L.) by smallholder farmers in south eastern Tanzania*. PhD thesis: University of Reading, Reading (UK).
- Masawe P.A.L., 1994. *Aspects of breeding and selecting improved cashew genotypes (Anacardium occidentale L.)*. PhD thesis: University of Reading, Reading (UK).
- Masawe P.A.L., 2006. *Tanzanian Cashew Cultivars: Selected Clones*. 1st Ed. Colour Print (T) Ltd, Dar Es Salaam, Tanzania.
- Masawe P.A.L., 2009. Modern Agro-practices in Cashew. *Journal of Science, Technology and Management*, **2**, 9-16.
- Masawe P.A.L., Mfuno S. & Mbunda Z., 2005. Performance of cashew hybrids developed from partial diallel crossing between selected clones in Tanzania. *Tanzania Agricultural Research and Training Newsletter*, **20**(1-4), 5-8.
- Masawe P.A.L. & Kapinga F.A., 2017. *The first dwarf cashew varieties in Tanzania*. 1st ed. Dar Es Salaam Tanzania, Colour Print (T) Ltd.
- Neto V., 1992. *Yield variability of cashew trees in East Africa*. PhD thesis: University of Reading, Reading (UK).
- Neto V. & Caligari P.D.S., 1997. The effect of variability on cashew yield trials. In: Topper C. et al. (eds). *Proceedings of the International Cashew and Coconut Conference*, p. 74-75, 17-21 February 1997, Dar es Salaam, Tanzania.
- Ohler J.G., 1979. *Cashew Communication 71*. Department of Agricultural Research, Koninklijk Instituut voor de Tropen, Amsterdam, 260 p.
- Sijaona M.E.R., 2009a. *Fungicide screening against powdery mildew (Oidium anacardii) on cashew*. Paper submitted to Registrar of Pesticides TPRI, Arusha -November 2009.
- Sijaona M.E.R., 2009b. *Evaluation of sulphur formulations against powdery mildew disease on cashew*. Paper submitted to Registrar of Pesticides TPRI, Arusha -November 2009.
- Sijaona M.E.R., Shija B.M. & Anthony J.K., 2001. *Evaluation of Pesticides in the control of mealy bug (Pseudococcus longispinus) on cashew in Tanzania*. Paper submitted to Registrar of Pesticides TPRI, Arusha -November 2001
- Weatherbase, 2011. Weatherbase.com 2011
- Woodroof J.G., 1979. *Tree Nuts*. 2nd ed. Westport, Connecticut: AVI Publishing Company.

3. Typologie des plantations d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) dans deux zones agro-écologiques du Sénégal

Samb* Cheikh Oumar⁽¹⁾, Faye Elhadji⁽²⁾, Touré Mamoudou Abdoul⁽³⁾, Ba Halimatou Sadyane⁽¹⁾, Diallo Adja Madjiguene⁽¹⁾, Sanogo Diaminatou⁽¹⁾, Badiane Souleye⁽¹⁾, Samba Samba Arona Ndiaye⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, Centre National de Recherches Forestières (ISRA/CNRF), Routes des Pères Maristes, BP 2312 Dakar, Sénégal

⁽²⁾ Université de Thiès, Institut Supérieur de Formation Agricole et Rurale (UT/ISFAR), BP 54 Bambey, Sénégal

⁽³⁾ Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, Centre de Recherches Zootechniques (ISRA/CRZ), Dahra, Sénégal

⁽⁴⁾ Université de Thiès, École Nationale Supérieure d'Agriculture (UT/ENSA), BP A296 Thiès, Sénégal

*E-mail auteur correspondant : omarsamb2004@yahoo.fr

Description du sujet. Les plantations de *Anacardium occidentale* L. constituent un levier de développement socio-économique pour les communautés locales au Sénégal. Cependant, depuis leur introduction, peu d'informations existent sur les données biophysiques de la ressource.

Objectifs. L'objectif de l'étude est de caractériser les plantations d'anacardier de la Casamance (Sédhiou) et du bassin arachidier (Fatick).

Méthode. L'approche méthodologique repose sur un inventaire forestier.

Résultats. Les résultats montrent que le diagramme des structures des plantations révèle une similarité entre les zones d'étude. La structure horizontale présente une allure exponentielle négative tandis que la structure verticale est multi-étagée. L'analyse en composantes principales montre deux classes distinctes. La première regroupe les villages dont les plantations sont caractérisées par de fortes densités, une hauteur élevée et une couronne moyenne. Elle comprend 70,6 % des plantations de la Casamance et 29,4 % des plantations du bassin arachidier. La deuxième comporte les villages avec des plantations à faible densité, des individus de gros diamètres à couronne élargie. Dans cette classe, 78,6 % des plantations se trouvent dans le bassin arachidier et 21,4 % en Casamance. Toutefois, la structure des plantations apparaît fortement liée à la densité.

Conclusions. Les plantations serrées sont dominantes en Casamance et les plus âgées se trouvent dans le bassin arachidier. Pour une amélioration durable de la production de noix, un modèle d'aménagement et de gestion des plantations tenant compte de la densité et de l'âge doit être proposé.

Typology of cashew plantations (*Anacardium occidentale* L.) in two agro-ecological zones of Senegal

Description of the subject. Cashew plantations (*Anacardium occidentale* L.) are a lever of socio-economic development for local communities in Senegal. However, since their introduction, little information exists on biophysical assessment of the resource.

Objectives. The aim of the study is to characterize cashew plantations of Casamance (Sédhiou) and peanut basin (Fatick).

Method. Methodological approach is based on a forest inventory.

Results. Results show that the structure diagram of cashew plantations reveals a similarity between areas. Horizontal structure has a negative exponential appearance while vertical structure is multi-staged. Principal component analysis shows two distinct classes. The first includes villages whose plantations are characterized by high densities, high height and medium crown. It includes 70.6% Casamance plantations and 29.4% groundnut basin plantations. The second includes villages with low density plantations, large diameter individuals with enlarged crowns. In this class, 78.6% are in the groundnut basin and 21.4% in Casamance. However, the plantation structure appears highly dependent on density.

Conclusions. Tight plantations are dominant in Casamance and older ones are in groundnut basin. For a sustainable improvement of production, a model of management for the plantations taking into account density and age should be proposed.

1. INTRODUCTION

L'agriculture emploie plus de 1,3 milliard de personnes dans le monde, soit près de 40 % de la population active mondiale (FAO, 2012). Dans les pays en développement, le secteur agricole emploie plus de la moitié de la population. Dans les pays pauvres comme le Sénégal, dont plus de la moitié de la population est en lien direct avec le secteur agricole, ce pourcentage peut atteindre 75 %. En effet, le secteur agricole sénégalais emploie plus des deux tiers (69 %) des actifs et fait vivre deux tiers (57 %) de la population encore majoritairement rurale (ANSD, 2013). Cette agriculture est principalement composée de cultures commerciales (arachide, coton, canne à sucre), de cultures alimentaires ou vivrières (riz, maïs, mil, sorgho, manioc, niébé) et de maraichage (fruits et légumes) (ANSD, 2013). Cette agriculture tributaire de la pluviométrie connaît des difficultés. Face à cette situation, l'agroforesterie peut être une voie pour booster l'économie rurale. C'est pourquoi au Sénégal l'anacardier a été introduit et diffusé pour diversifier les revenus des paysans. L'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) est une espèce ligneuse tropicale au potentiel socio-économique important (Tandjiékpon, 2005). C'est une culture de rente en plein essor qui représente pour l'Afrique une grande opportunité d'exportation pour ses noix. À travers ses produits et sous-produits, elle constitue une source de revenus monétaires nouvelle pour les producteurs (Nugawela et al., 2006). Elle participe également à la sécurité alimentaire et constitue un moyen d'investissement pour les producteurs. Au Sénégal, les plantations d'anacardier se multiplient d'année en année selon le Programme d'Appui à l'Entreprenariat Forestier de Kolda (PAEFK, 2003) et représentent 1,22 % de la superficie nationale (Samb et al., 2018). L'espèce est très présente dans le paysage agricole du Sénégal pour ses diverses utilités en reboisement (Bonnet et al., 2008), ou comme haie vive (Loupe et al., 2008) dans la lutte contre l'érosion. La réussite de ces plantations a beaucoup incité les populations locales à s'investir dans la production de l'anacarde pour augmenter leur capacité financière et économique. Malgré son importance dans l'économie nationale et locale, des données statistiques sur les plantations d'anacardiers au Sénégal manquent. Il est aussi largement admis que le développement effectif des politiques de gestion des ressources naturelles nécessite une meilleure connaissance des acteurs qui gèrent ces ressources (Atindogbe et al., 2011). Au Sénégal, dans les grandes zones de production d'anacardier comme la Casamance (Sédhiou) et le bassin arachidier (Fatick), les plantations appartiennent généralement à des personnes à titre individuel ou à des associations villageoises. Ainsi, les politiques de gestion des ressources naturelles doivent prendre en compte les besoins et motivations des gestionnaires des plantations (Emtage et al., 2007) mais également leurs modes de gestion (Atindogbe et al., 2011). Cette situation suppose la mise en place d'un accompagnement technique des acteurs afin de garantir la compétitivité de la noix sénégalaise sur le marché mondial à travers une production de qualité. L'amélioration des plantations d'anacardier doit passer nécessairement par une bonne connaissance de leur état actuel. La présente étude a pour objectif de faire l'état des lieux des plantations de *A. occidentale* L. au Sénégal dans deux zones agro-écologiques afin d'identifier les contraintes de gestion et de proposer des solutions. Elle vise à vérifier l'hypothèse selon laquelle les types de plantation et leurs modes de gestion varient en fonction des zones agro-écologiques.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Cadre de l'étude

Cette étude a été conduite dans deux zones agroécologiques contrastées : la Casamance (Sédhiou X : 0 418 091 ; Y : 1 386 813) et le Bassin arachidier (Fatick X : 0 339 652 ; Y : 1 509 622), favorables à la culture de l'anacardier et faisant partie des zones principales de production de noix au Sénégal. La population de Sédhiou compte 434 242 habitants en 2007 pour une superficie de 7 350 km². La région de Fatick enregistre une population estimée à 639 354 habitants en 2004 pour une superficie de 7 535 km². Le climat de la Casamance est de type Soudano-guinéen. La région de Fatick est caractérisée par un climat de type tropical soudanien marqué par une variante sahélo soudanienne et une variante soudano sahélienne. Elle subit également l'influence du climat maritime sur la partie côtière des départements de Foundiougne et de Fatick. Les températures moyennes mensuelles de la Casamance varient entre 25 et 40 °C alors que celles de Fatick oscillent entre un peu moins de 20,7 °C et 37 °C.

Les précipitations moyennes annuelles de Sédhiou sont 1 132,16 mm de 2000 à 2017 alors qu'à Fatick, la moyenne des pluviométries annuelles est de 626,12 mm (Figure 1). La cause première de la pluviométrie en zone soudanienne et sahélienne, est généralement attribuée aux variations de température à la surface des océans, qui déterminent l'intensité des flux de mousson et la position de la zone de convergence intertropicale (Giannini et al., 2003 ; Faye, 2010). On note une évolution en dents de scie de la pluviométrie. Cette évolution erratique de la pluviométrie est attribuable à la variation climatique. La végétation de Sédhiou est constituée de forêts claires

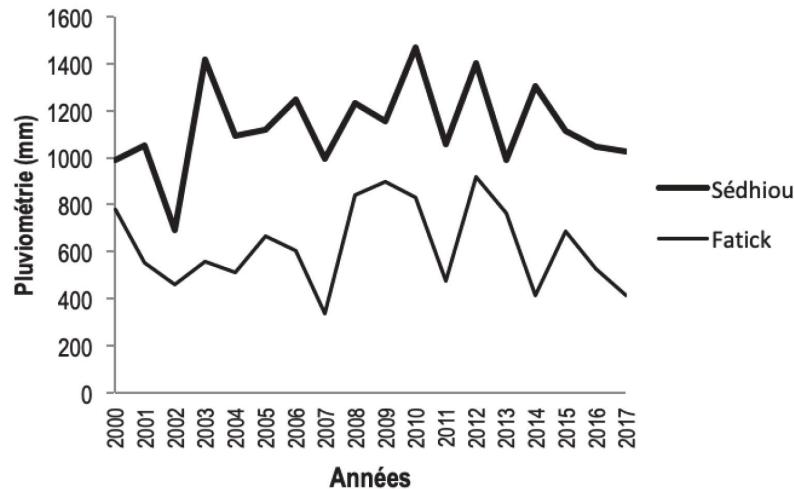


Figure 1. Fluctuations des pluviosités moyennes annuelles de 2000 à 2017 des zones d'études (Source : Anacim, 2017) – *Fluctuations in mean annual rainfall from 2000 to 2017 in the study areas (Source: Anacim, 2017).*

caractérisées par la présence de *Pterocarpus erinaceus*, *Khaya senegalensis*, *Daniella oliveri*, *Ceiba pentandra*, *Terminalia macroptera*. La végétation naturelle est entrecoupée de vallées dans lesquelles se trouvent les rizières et les pâturages de bas-fonds. La végétation de Fatick de type savane arborée à boisée. Les espèces ligneuses recensées sont : *Cordyla pinnata*, *Daniellia oliveri*, *Pterocarpus erinaceus*, *Cassia sieberiana*, *Ficus sycomorus*, *Diospyros mespeliformis*, *Sclerocarya birrea*, *Acacia machrostachya*, *Lannea acida*, *Terminalia macroptera* et les Combretaceae (*Guiera senegalensis*, *Combretum glutinosum*, *Combretum aculeatum*, *Combretum micranthum*). Une strate herbacée est également présente. À ces différentes formations s'ajoutent les écosystèmes mangrove. Les principales espèces rencontrées sont : *Avicennia africana*, *Rhizophora racemosa*, *Rhizophora mangle*, *Rhizophora harrisonii*, *Laguncularia racemosa* et *Conocarpus erectus*. À Sédhiou, le relief est essentiellement composé de plateaux, de vallées et de bas-fonds. Les sols rencontrés sont de types ferrugineux tropicaux et/ou ferralitiques, argilo-limoneux, hydromorphes (ANSD, 2012). À Fatick, le relief est sensiblement le même, composé de plateaux, de vallées et de bas-fonds, mais la région présente une diversité pédologique : des sols ferrugineux tropicaux, des sols hydromorphes et des sols halomorphes. De par la richesse de ses ressources forestières, la production agricole, l'élevage et le tourisme, Sédhiou dispose de fortes potentialités économiques favorables à son émergence. À Fatick, l'activité économique reste dominée par l'agriculture, l'élevage, la pêche mais les autres secteurs notamment le tourisme, présentent un intérêt certain pour son développement économique. L'agriculture est axée sur les cultures de rente (arachide, coton, sésame, pastèque, cultures maraîchères et fruitières) et les cultures vivrières (mil, riz, maïs, niébé) (ANSD, 2014). La présence des vergers fournissant d'importantes et diverses ressources fruitières (*Saba senegalensis*, *Carica papaya*, *Mangifera indica*, agrumes, etc.) combinée avec une production agricole abondante et variée (miel, gingembre, pain de singe, huile de palme, fruits de *Detarium senegalense*, noix d'anacarde, etc.) attirent une population commerçante provenant de toutes les régions du Sénégal, mais également des pays limitrophes que sont : la Guinée Conakry, la Guinée Bissau, la Gambie et la Mauritanie.

2.2. CARACTÉRISTIQUES ÉCOLOGIQUES, DENDROMÉTRIQUES

Pour apprécier l'état actuel des plantations d'anacardier de la Casamance et du bassin arachidier, un inventaire systématique de la végétation ligneuse naturelle (Figure 2) a été effectué dans 85 plantations réparties dans 42 villages en Casamance et dans le bassin arachidier (Annexe 1). Les plantations inventoriées ont été tirées de manière aléatoire sur la base de la liste des producteurs déjà caractérisés. La taille de l'échantillon est de 125 placettes pour la Casamance et 180 placettes pour le Bassin arachidier. Au total, 305 placettes de 1 000 m² (50 m × 20 m) ont été délimitées (Kalinganire et al., 2005). Les placettes ont été choisies sur les deux diagonales de la plantation (Bama, 2014) équidistantes de 25 m. À l'intérieur de chaque placette, les mensurations dendrométriques (diamètre à 1,30 m du sol, hauteur de tous les arbres sur pied) et le type de plantation (plantation pure, plantation mixte), ont été notés. Les coordonnées du centre de chaque placette ainsi que l'altitude et l'orientation ont été relevées par un GPS Garmin etrex 20. Les positions géographiques ont été, par la suite, portées sur une carte au 1/50 000. Dans chaque placette, les individus de diamètre supérieur ou égal (\geq) à 10 cm ont été mesurés à l'aide du compas forestier

(Haglof Sweden). Les individus ayant un diamètre inférieur (<) à 10 cm ont été comptés comme régénération. Les hauteurs ont été mesurées à l'aide d'une perche (Tolefix 20 m).



Figure 2. Association anacardier et mil – *Cashew and millet association.*

2.3. INDICES DE DIVERSITÉ, DENSITÉ ET PARAMÈTRES DE QUALITÉ

Les paramètres étudiés sont essentiellement la richesse spécifique (R), la densité réelle qui correspond au nombre réel d'arbres sur la parcelle, ramené à l'hectare a été calculée, le facteur d'espacement et le facteur d'élancement. Le facteur d'espacement traduit le rapport entre l'espacement moyen « a » des arbres et la hauteur dominante (H_{dom}) du peuplement. Il s'écrit : $S\% = (a/H_{dom}) \times 100$. Le facteur d'élancement ou de stabilité des plantations est défini de la façon suivante : $F = H_{dom}/D_{moy}$; H_{dom} et D_{moy} étant respectivement la hauteur dominante et le diamètre moyen des arbres dominants, toujours exprimée dans la même unité. Les productions ont été obtenues à travers des enquêtes réalisées au cours de l'inventaire.

Les variables ont été soumises à une analyse de variance par XLSTAT 6.1.9. On considère que les résultats sont significatifs quand $p \leq 0,05$ et hautement significatifs quand $p < 0,01$. Pour la typologie, la méthode de classification hiérarchique utilisée est l'algorithme de Ward, technique d'agrégation basée sur la variance par SPSS Statistics 20.

3. RÉSULTATS

3.1. Flore et structures des plantations des zones de production

La végétation ligneuse inventoriée en Casamance (Sédhiou) et au Bassin arachidier (Fatick) comportait respectivement 88 et 72 espèces réparties dans 35 familles (Annexe 2). Sur l'ensemble des 305 placettes, 39 329 individus ont été recensés, soit 28 648 en Casamance et 13 730 au Bassin arachidier. Au sein de ces plantations, la végétation reste dominée dans le Bassin arachidier par *Anacardium occidentale* L. avec un degré de mélange de 78,5 %, *Azadirachta indica* (4 %), *Daniellia oliveri* (3,32 %), *Terminalia macroptera* (2,23 %), *Bauhinia rufescens* (1,47 %), *Pterocarpus erinaceus* (0,9 %), *Mangifera indica* (0,9 %), *Cordyla pinnata* (0,7 %), *Acacia sieberiana* (0,6 %), *Dichrostachys glomerata* (0,7 %). En Casamance, elle est dominée par *Anacardium occidentale* (79,7 %), *Antiaris africana* (4,37 %), *Elaeis guineensis* (8,5 %), *Parkia biglobosa* (1,54 %), *Khaya senegalensis* (0,65 %), *Mangifera indica* (0,60 %), *Ficus capensis* (0,35 %), *Prosopis africana* (0,35 %), *Ficus capreifolia* (0,25 %), *Pterocarpus erinaceus* (0,45 %).

La densité moyenne est de 2 129 et 668 individus.ha⁻¹ respectivement pour la Casamance et le bassin arachidier, toutes espèces confondues. La densité des arbres adultes des plantations de la Casamance est de 158 contre

100 individus.ha⁻¹ pour le bassin arachidier. La densité de la régénération est de 568 individus.ha⁻¹ dans le Bassin arachidier contre 1971 individus.ha⁻¹ en Casamance.

En Casamance, *Guiera senegalensis* (26,6%), *Cola cordifolia* (11,9%), *Combretum micranthum* (8,5%), *Terminalia macroptera* (6,2%) et *Anacardium occidentale* L. (2,2v%) présentent les taux de renouvellement les plus élevés. Quant au bassin arachidier, il s'agit de *Azadirachta indica* (15,1%), *Daniellia oliveri* (11,3%), *Anacardium occidentale* L. (11,1%), *Guiera senegalensis* (8,9%), *Ozoroa insignis* (6,1%), *Combretum lecardi* (5,9%) et *Bauhinia rufescens* (5,9%). La régénération de *Anacardium occidentale* L. est plus importante dans le bassin arachidier (42 anacardiers.ha⁻¹) qu'en Casamance (11 anacardiers.ha⁻¹).

Le coefficient de Hart-Becking qui traduit l'espacement moyen entre les tiges d'un peuplement en pourcentage de sa hauteur dominante est de 58,67% dans le Bassin arachidier et 31,025% en Casamance. Le facteur d'élancement qui caractérise la stabilité des plantations présente des valeurs plus élevées en Casamance (113,71) qu'au bassin arachidier (75,18) (Tableau 1).

Tableau 1. Variation des indices de densité, diversité et les paramètres de qualité des plantations d'anacardier en fonction des zones d'étude – *Variation of density indices, diversity and quality parameters of cashew plantations according to study areas.*

Critères	Densité				Qualité			
	Densité totale (ha ⁻¹)	Densité anacardiers adultes (ha ⁻¹)	Densité régénération anacardiers (ha ⁻¹)	Densité régénération (ha ⁻¹)	degré de mélange (%)	Richesse spécifique (R)	Facteur d'espacement (S)	Facteur d'élancement (F)
Bassin arachidier	668	100	42	568	78,5	72	58,27	75,18
Casamance	2 129	158	11	1971	79,7	88	31,025	113,71

3.2. Caractérisation structurale des plantations

La figure 3 met en évidence la structure horizontale des plantations d'anacardier dans les deux zones agro-écologiques. La distribution des individus par classe de diamètre correspond à une courbe exponentielle négative ou en «J renversé» dans les deux zones. La distribution des diamètres des individus décroît graduellement au fur et à mesure que la classe de diamètre augmente. Les effectifs les plus élevés sont observés dans les classes]10 – 15 cm] ;]15 – 20 cm] ;]20 – 25 cm] dans les deux zones. Le diamètre moyen dominant est de 23,7 ± 10,71 cm pour le Bassin arachidier et 19,5 ± 7,42 cm pour la Casamance. Toutefois, des individus de diamètre supérieur à (>) 75 cm ont été recensés mais à des proportions faibles.

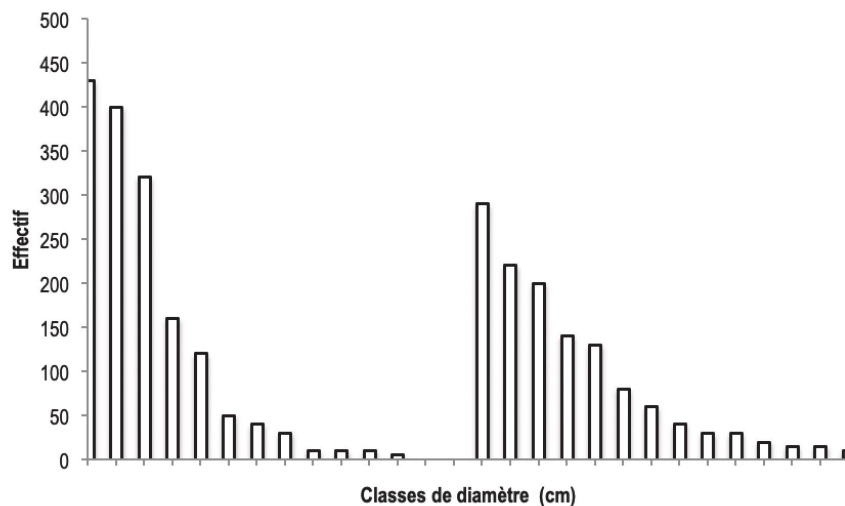


Figure 3. Répartition des individus par classe de diamètre des plantations en fonction des zones d'étude – *Distribution of individuals by diameter class of plantations according by study areas.*

La distribution des individus par classe de hauteur est multi-étagée avec des classes d'âge non équilibrées dans les plantations des deux zones. L'analyse de la figure 4 montre une concentration des effectifs dans les classes]2 – 4 m] et]4 – 6 m] pour le bassin arachidier et]4 – 6 m] et]6 – 8 m] pour la Casamance. Le bassin arachidier n'a pas enregistré de sujets dans les classes de hauteurs]16 – 18 m] et]18 – 20 m] contrairement à la Casamance avec cependant des pourcentages relativement faibles. Les plantations de la Casamance ont une hauteur moyenne de $7,2 \pm 2,64$ m alors que celles du Bassin arachidier enregistrent $5,9 \pm 1,49$ m.

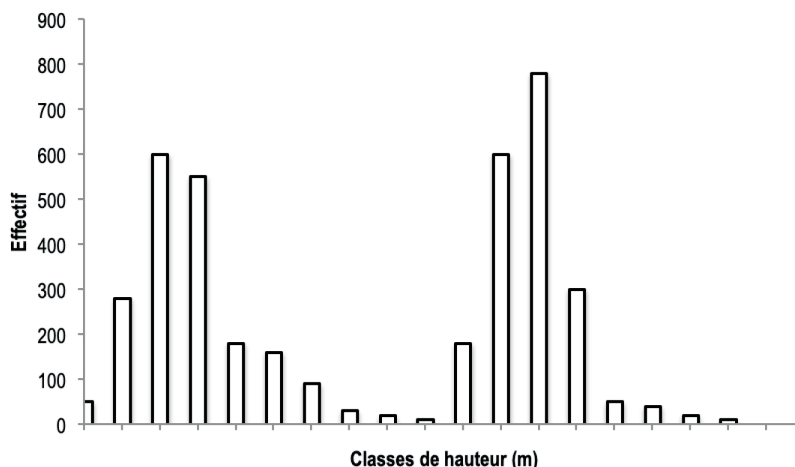


Figure 4. Répartition des individus par classe de hauteur en fonction des plantations des zones d'études – *Distribution of individuals by height class according to plantations of study areas.*

3.3. Typologie des plantations

La figure 5 représente l'arbre de classification hiérarchique issu de la typologie des plantations inventoriées dans les deux zones agro-écologiques à partir des caractéristiques dendrométriques et indices de qualité. La structure mise en place montre deux classes bien distinctes dont les variables explicatives sont la densité, les structures horizontale et verticale (diamètre, hauteur, houppier, production). La première classe est caractérisée par des plantations d'anacardier à hauteur élevée (6,5 – 9,5 m), densités fortes (172 – 509 arbres.ha⁻¹), couronne moyenne (6 – 9 m), une production moyenne (595 kg.ha⁻¹) (Tableau 2). Elle comprend les plantations des villages Fassane, Niafor, Yarang, Athioufa, Limana, Thiar, Sindima, Bambato, Fassada, Kounayang, Kolaane, Dassilamé socé, Toubacouta, Daga ndoup, Sathioum, Santamba. La classe est composée à 70,6% des plantations de la Casamance et à 29,4% des plantations du bassin arachidier. La deuxième classe se distingue par des densités faibles (61 – 140 arbres.ha⁻¹), des individus de gros diamètres (40 – 75 cm) à couronne élargie (10 – 13 m), production moyenne (504 kg.ha⁻¹). Elle comporte les plantations Kouagne, Sina, Set coumba, Temento, Bandiagara, Touba barya, Keur samba Gueye, Touba mouride, Sadio sala, Sandicoloy, KBD, Ndioufene lima, Toubading, Bousra (Tableau 2). Dans cette classe, 78,6% se trouvent dans le bassin arachidier et 21,4% en Casamance. Toutefois, les classes sont constituées de plusieurs sous-classes présentant des similarités structurales.

Tableau 2. Typologie des plantations basée sur les caractéristiques dendrométriques – *Typology of cashew plantations based on dendrometric characteristics.*

Classes	Villages	Densité (nombre arbres.ha ⁻¹)	Diamètre (cm)	Hauteur (m)	Houppier (m)
Classe 1	Fassane, Niafor, Yarang, Athioufa, Limana, Thiar, Sindima, Bambato, Fassada, Kounayang, Kolaane, Dassilamé socé, Toubacouta, Daga ndoup, Sathioum, Santamba	172-509	31-38	6,5-9,5	6-9
Classe 2	Kouagne, Sina, Set coumba, Temento, Bandiagara, Touba barya, Keur samba Gueye, Touba mouride, Sadio sala, Sandicoloy, KBD, Ndioufene lima, Toubading, Bousra	61-140	40-75	4,7-6,3	10-13

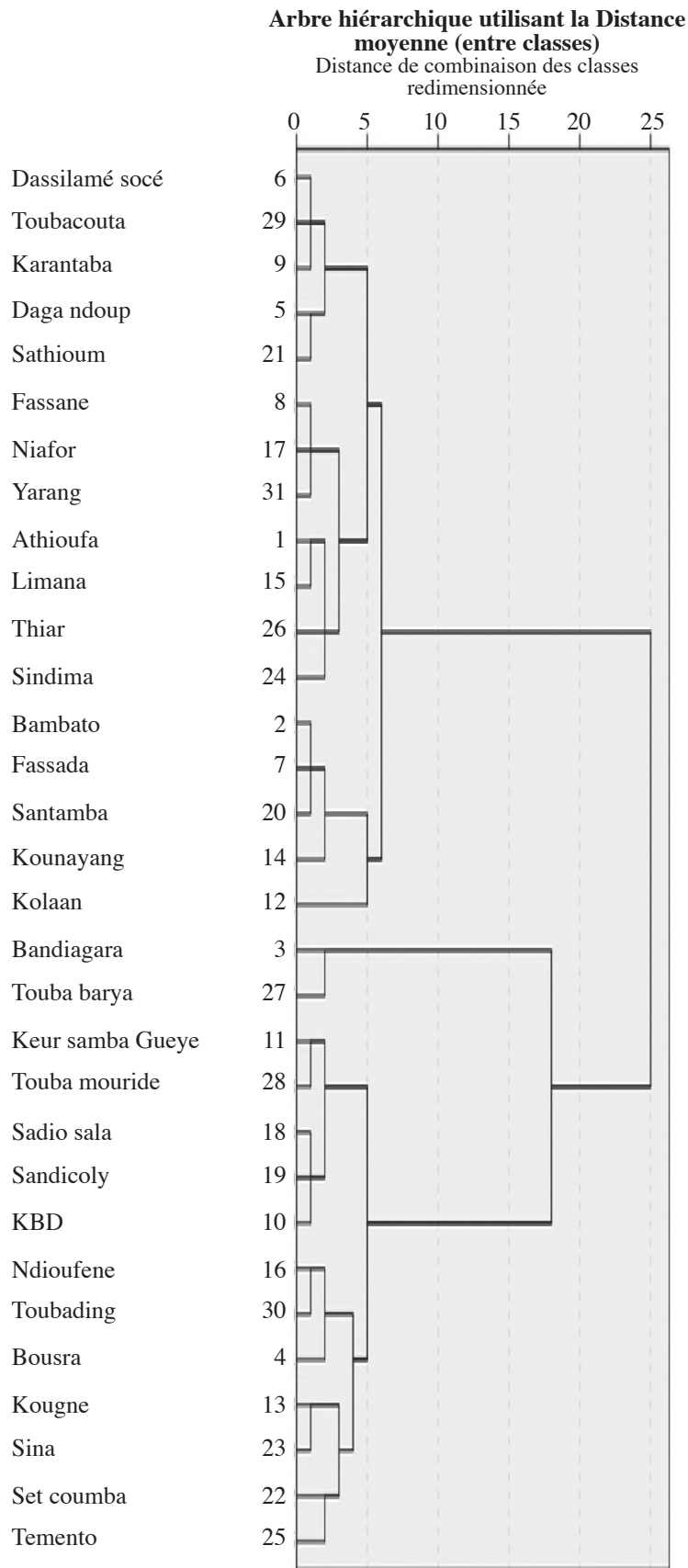


Figure 5. Dendrogramme de regroupement des plantations en deux classes en fonction de la matrice basée sur l'indice de similarité de Ward – *Dendrogram showing clustering of cashew plantations based on Ward similarity indice.*

4. DISCUSSION

L'étude sur la caractérisation et la typologie des plantations à base d'*A. occidentale* L. en Casamance et dans le bassin arachidier a révélé une flore ligneuse très riche. *Anacardium occidentale* L. représente 78,5 % dans le bassin arachidier et 79,7 % en Casamance. Les plantations d'anacardier sont caractérisées par leur forte densité et leur structure (âge multiple). Les plantations de Sédhiou présentent les plus fortes densités. Le diagramme structural des classes de diamètre montre que les plantations de Fatick sont plus âgées.

La présence des espèces forestières, fruitières et les cultures annuelles dans les plantations d'anacardier est une réalité. Cette diversité montre l'existence de conditions favorables à l'installation de nombreuses espèces, signe d'une grande stabilité du milieu (Dajoz, 1985) mais également du choix délibéré du planteur. Ainsi, l'association anacardiers et cultures annuelles (mil, arachide) est beaucoup plus fréquente dans le bassin arachidier. La pérennisation de la culture de l'arachide est une réalité dans la zone du bassin arachidier, ceci rappelle d'ailleurs sa spécificité. Cependant, en Casamance, l'association est très timide même si elle est très bénéfique du point de vue agronomique. Cette association n'est possible qu'au stade juvénile des plantations. Au-delà de ce stade, l'on constate une reconversion des plantations associées aux cultures à des plantations pures compte tenu de leur âge, s'il n'y a aucune intervention sylvicole. Cette reconversion est une contrainte à la diversification des cultures. Ce phénomène a été plus accentué en Casamance où l'on note plus de plantations pures. Ces résultats sont en phase avec ceux de Ndiaye et al. (2017) qui ont montré que les plantations pures représentent 76 % dans la commune de Djibanar/Sédhiou. Cependant, Mansal (2011) montre que les plantations associées aux cultures annuelles sont plus représentatives que les plantations pures à Méouane/Thiès. Pour maintenir le système agroforestier, les recherches de Boiro (2018) montrent que la largeur optimale de la couronne ne doit pas dépasser 6 m. Au-delà de cette largeur, l'anacardier présente un effet dépressif sur les cultures.

L'association de l'anacardier aux essences forestières et arboricoles (*Daniellia oliveri*, *Guiera senegalensis*, *Cola cordifolia*, *Cassia sieberiana*, *Combretum micranthum*, *Elaeis guineensis*, *Khaya senegalensis*) a été promue du fait des avantages d'ordre socioéconomique et écologique qu'elles offrent. Certains auteurs rapportent que l'association de l'anacardier aux autres essences ligneuses à fortes valeurs ajoutées est fréquente en Afrique (Gaillard & Godefroy, 2014), car elles constituent une source de revenus monétaires et d'alimentation pour les populations locales (Illiassou et al., 2007; Larwanou et al., 2010). La présence des essences forestières traduit l'intérêt porté sur la conservation des autres espèces forestières dans les systèmes de production. Les espèces forestières associées à l'anacardier offrent des vertus médicinales, pharmaceutiques et nutritionnelles aux producteurs. Cette présence de la végétation ligneuse dans les plantations joue également un rôle primordial dans la fixation des sols en empêchant le déplacement des particules, favorisant un microclimat et la fertilité des sols (Grouzis & Akpo, 1993). Elle protège aussi contre l'érosion hydrique et éolienne (Sène, 1997), écologique (Koudzo, 2015). Par ailleurs, Ndiaye (1985) signalait que l'anacardier joue un rôle d'écran arborescent pour améliorer le système de protection par pare-feux. Cette association s'avère possible et rentable (Snoeck et al., 2013) mais la difficulté réside dans la maîtrise de l'itinéraire technique (Some, 2014).

La prédominance des anacardiers dans les deux zones s'explique par le caractère monospécifique des plantations. Toutefois, les plantations peuvent devenir plurispécifiques si la dynamique de régénération des autres espèces forestières/fruitières reste maintenue.

Les diagrammes structuraux montrent que les plantations d'anacardier sont inéquiennes. Elles se traduisent par une courbe exponentielle négative en forme de « J renversé ». La quasi-totalité des gros diamètres (> 75 cm) se trouve dans les plantations de Fatick, ce qui atteste que les plantations de Fatick sont d'âge plus avancé. Cette situation s'expliquerait par le fait que les premières plantations ont été expérimentées dans la zone avec le Projet Anacardier Sénégal-Allemand (PASA) qui a été mis en place en 1949 avec d'importantes superficies de plantations à base d'anacardier.

La taille de l'anacardier est de 5 m de hauteur et 23 cm de diamètre dans le bassin arachidier contre 7 m de hauteur et 19 cm de diamètre en Casamance. Toutefois, ces moyennes cachent des disparités avec des hauteurs minimales de 1,8 m et maximales de 16 m par endroit et des diamètres de 10 à 75 cm. Ces disparités font croire que la ressource est très mal répartie dans les zones faute d'interventions sylvicoles. Nos résultats confirment ceux de Nair (1980), la FAO (1982) et Chadha (1985), de Purseglove (1986) et Meijer (1983) qui mentionnent que le diamètre de l'anacardier peut atteindre 25 cm. Toutefois, les recherches de Ndiaye (2014) montrent un diamètre moyen de 32,8 cm pour des arbres âgés de 20 à 30 ans. Lautié et al. (2001) indiquent que le diamètre du tronc de l'anacardier peut varier de 1,2 m à 1,5 m. Les différences constatées pourraient être expliquées par les types de sols, les cultivars utilisés, les techniques et systèmes de production de l'anacardier. Les plantations denses souffrent d'une concurrence en lumière et éléments nutritifs. Cette souffrance se manifeste sur la morphologie de l'espèce par des diamètres de taille relativement petite et des arbres ayant tendance à s'étioler à la recherche de la

lumière. Les différences de taille observées dans les deux zones s'expliqueraient par l'âge et les fortes densités. La densité conditionne le partage des ressources disponibles entre les différents arbres d'une plantation et donc le niveau de concurrence intraspécifique (Périé et al., 2006 ; Ngemale, 2009) et interspécifique des individus (Jobidon, 1994 ; Wagner, 2000). Or, l'anacardier est une espèce héliophile qui réclame le plein découvert pour fructifier abondamment (FAO, 1982).

Les structures des plantations montrent que celles du bassin arachidier sont plus âgées que celles de la Casamance. En Casamance, 70,6 % des plantations présentent une hauteur élevée, des densités fortes et une couronne moyenne alors que dans le bassin arachidier 78,6 % se caractérisent par leurs faibles densités, par des individus de gros diamètres à couronne élargie. Les variables dendrométriques pourraient être influencées par la densité, entraînant une compétition intra et interspécifique des individus. La croissance en diamètre est plus affectée par la compétition que celle en hauteur (Wagner, 2000). Un rapport hauteur/diamètre faible doit être maintenu (Jobidon, 1994). La variation des densités est corrélée à la vocation d'antan des peuplements d'anacardier qui était plutôt écologique (Goujon et al., 1973), et ce n'est que par la suite qu'une production fruitière a été envisagée avec les mêmes techniques de plantation. La production fruitière nécessite une densité plus faible pour un bon développement de l'espèce. Selon Goujon et al. (1973), la densité optimale est de l'ordre de 90 – 120 plants.ha⁻¹, ce qui donne des écartements variant de 9 à 12 m. Certains auteurs comme Badiane & Sy (2005) pensent que la densité optimale, tant pour le développement du houppier que pour la couverture du sol, est de 100 arbres.ha⁻¹. Or, dans le cadre de cette étude, les densités relevées sont variables (61 à 509 arbres.ha⁻¹). Donc, les plantations sont très irrégulières en densité et en vigueur. Les plantations à faible densité enregistrent le meilleur taux de survie (Reukema et al., 1979 ; Stiell, 1986 ; Bowling, 1987). Ces fortes densités soulèvent la mauvaise gestion des plantations d'anacardier. Les densités et la structure des plantations montrent l'absence d'interventions sylvicoles. Or, il est admis que la densité influence de manière significative l'évolution de la plantation et détermine les scénarii sylvicoles. Les auteurs comme Perret & Ginisty (2009) préconisent des dépressages pour améliorer l'indice de stabilité. L'analyse des indices de qualité (stabilité, espacement) révèle que les plantations sont fragiles notamment celles de la Casamance et peuvent subir des verses ou chablis. Le facteur d'élancement qui caractérise la stabilité des plantations présente des valeurs plus élevées en Casamance (113,71) que dans le bassin arachidier (75,18). Plus l'indice est grand plus les plantations deviennent fragiles. Donc, des opérations d'éclaircie devront être menées pour améliorer l'indice de stabilité et ralentir la progression du facteur d'élancement. Les dépressages permettent de ralentir la progression du facteur d'élancement en fonction de la réduction de la compétition opérée (Perret & Ginisty, 2009).

5. CONCLUSIONS

Cette étude a permis de mettre en évidence deux types de plantation à base d'anacardier dans les zones d'étude : un type, plus présent en Casamance, caractérisé par de fortes densités, des hauteurs élevées et des couronnes moyennes ; l'autre, majoritairement retrouvé dans le bassin arachidier, se distingue de par ses densités faibles, des individus de gros diamètres et à couronne élargie. Les plantations présentent une structure inéquienne équilibrée et multi-étagée, fortement tributaires de la densité et de l'âge. La présence d'espèces à forte capacité de régénération pourrait donner une autre allure à la structure des plantations. Au regard de l'analyse de ces caractéristiques, la gestion des plantations pose problème car obéissant à un type de plantation sauvage. Ce type de plantation ne milite pas en faveur d'une plantation durable et d'une production de qualité. Il serait intéressant de penser à la réhabilitation des plantations d'anacardier en tenant compte des spécificités des zones et types de plantation.

Remerciements

Les auteurs adressent leurs sincères remerciements au CORAF pour le soutien financier à travers le projet « Renforcement de capacité des acteurs de la chaîne de valeur Anacarde en Afrique de l'Ouest », l'ISRA/CNRF et l'Université de Thiès pour le soutien technique et scientifique accordé aux travaux de doctorat de Cheikh Oumar SAMB. Les remerciements vont également à l'endroit des planteurs d'anacardier pour leur disponibilité ainsi que tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail scientifique.

Bibliographie

ANSD, 2012. *Situation économique et sociale régionale Sédhiou*. Ministère de l'Économie et des Finances, Agence Nationale de la Statistique et de la démographie, Sénégal, 12 p.

- ANSD, 2013. *Rapport final du grand recensement général de la population, de l'habitat, de l'agriculture et de l'élevage*. Ministère de l'Économie et des Finances, Agence Nationale de la Statistique et de la démographie, Sénégal, 418 p.
- ANSD, 2014. *Rapport final du grand recensement général de la population, de l'habitat, de l'agriculture et de l'élevage*. Ministère de l'Économie et des Finances, Agence Nationale de la Statistique et de la démographie, Sénégal, 418 p.
- Atindogbe G., Fonton N.H., Fandohan B. & Lejeune P., 2011. Caractérisation des plantations privées de teck (*Tectona grandis* L.f.) du département de l'Atlantique au Sud-Bénin. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, **16**(4), 441-451.
- Badiane S., 2004. *Étude de la filière anacarde dans la région de Kolda*. Conseil régional de Kolda, CRZ-Kolda, Sénégal, 34 p.
- Badiane S. & Sy P.B.A., 2005. *Manuel de sylviculture de l'anacardier*. Dakar, Sénégal, 30 p.
- Bama J.W.K., 2014. *Typologie des systèmes agro-forestiers à manguier et anacardier dans le terroir de Kotoudeni (Kenedougou) : impact sur la production agricole*. Mémoire : Gestion et aménagement des écosystèmes forestiers, Institut du Développement rural (IDR), Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB), 79 p.
- Boiro M., 2018. Détermination de la longueur optimale de la couronne de *Anacardium occidentale* L. et son influence sur les rendements de l'arachide (*Arachis hypogaea* L.) dans la commune de Toubacouta. Département Productions Forestières, Institut Supérieur de Formation Agricole et Rurale, Université de Thiès, 52 p.
- Bonnet P., Arbonnier M. & Gerard P., 2008. *Ligneux du sahel*. QUAE, Versailles, France.
- Bowling D., 1987. Twenty-year slash pine spacing study: what to optimize. Pages 300-30. In: Proc. of the 4th Biennial Southern Silvicultural Research Conference. Nov. 4-6, Atlanta, Ga.
- Chadha Y.R., 1985. *The wealth of India- raw materials volume I: A (revised)*. CSIR, New Delhi, India.
- Dagnelie P., 1998. *Statistiques théoriques et appliquées*. De Boeck, Bruxelles, 517 p.
- Dajoz R., 1985. *Précis d'écologie*. Bordas, Paris, 504 p.
- Emtage N., Herbohn J. & Harrison S., 2007. Landholder profiling and typologies for natural resource-management policy and program support: potential and constraints. *Journal of Environmental Management*, **40**, 481-492.
- FAO, 1982. *Espèces fruitières forestières – fiches techniques*. FAO, Rome, 205 p.
- FAO, 2012. *Rapport final sur la situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2012 : investir dans l'agriculture pour un avenir meilleur*. FAO, Rome, 202 p.
- Faye E., 2010. *Diagnostic partiel de la flore et de la végétation des Niayes et du Bassin arachidier au Sénégal : application de méthodes floristique, phytosociologique, ethnobotanique et cartographique*. Thèse : Faculté des Sciences, Université Libre de Bruxelles, 266 p.
- Gaillard J.P., Godefroy J., 2014. *L'avocatier*. Maisonneuve et Larose, Paris, 100 p.
- Giannini A., Saravanan R. & Chang P., 2003. Oceanic forcing of Sahel rainfall on interannual to interdecadal time scales. *Science*, **302**, 1027-1030. doi:10.1126/science.1089357
- Goujon P., Lebevre A., Leturq Ph., Marcellesi A.P. & Praloran J.C., 1973. Études sur l'anacardier. *Bois et Forêts des Tropiques*, **115**, 27-53.
- Akpo L.E., Grouzis M., Bada F., Pontanier R. & Floret C., 1999. Effet du couvert ligneux sur la structure de la végétation herbacée de jachères soudaniennes. *Sécheresse*, **10**(4), 253-261.
- Illiassou M., 2007. *Impacts de la régénération naturelle assistée dans la minimisation des risques environnementaux*. Mémoire : Fac. Agro., Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger, 90 p.
- Jobidon R., 1994. Light threshold for optimal black spruce (*Picea mariana*) seedling growth and development underbrush competition. *Canadian Journal of Forest Research*, **24**, 1629-1635.
- Kalinganire A., Dakou M.J., Bayala J. & Niang A., 2005. *Relevé des données sur la biodiversité ligneuse : Manuel du projet biodiversité des parcs agroforestiers au Sahel*. ICRAF Working Paper-no.6. World Agroforestry Centre, Nairobi, 82 p.
- Larwanou M., Abdoulaye M. & Reij C., 2010. *Étude de la régénération naturelle assistée dans la région de Zinder, Niger*. USAID/EGAT, 56 p.
- Lautié E., Dornier M., De souza F. & Reynes M., 2001. Les produits de l'anacardier : caractéristiques, voies de valorisation et marchés. *Fruits*, **56**(4), 235-248.
- Legendre P. & Legendre L., 1998. *Numerical ecology*. Elsevier, Amsterdam, 853 p.
- Loupe D., Otang-Amoako A. & Brink M., 2008. *Ressources végétales de l'Afrique tropicale 7 Bois d'oeuvre 1*. PROTA, Wageningen, Pays-Bas.
- Mahamane A., 2005. *Études floristique, phytosociologique et phytogéographique de la végétation du Parc Régional du W du Niger*. Thèse de doctorat : Laboratoire de Botanique systématique et de Phytosociologie, Université Libre de Bruxelles, 484 p.
- Mansal E., 2011. *Caractérisation des plantations d'anacardier dans les communautés rurales de Toubacouta, Nioro Alasane Tall, Méouane et sélection des arbres pouvant servir de semenciers pour l'amélioration de la production*. Master : ENSA, Université de Thiès, 46 p.
- Meijer W., 1983. Anacardiaceae. In: Dassanayaka M.D. & Foresberg F.R. (eds). *A revised Handbook to the flora of Ceylon, Volume IV*. Amerind Publishing Company Private Limited, New Dehli, India.

- Nair P.K.R., 1980. *Agroforestry species: a crop sheets manual*. ICRAF, Nairobi.
- Ndiaye S., 2014. *Typologie et caractérisation des plantations agroforestières à base de Anacardium occidentale L. dans la Communauté rurale de Djibanar*. Mémoire de master : Université Assane Seck de Ziguinchor.
- Ndiaye S., Charahabil M.M. & Diatta M., 2017. Caractérisation des Plantations à base d'anacardier (*Anacardium occidentale L.*) dans le Balantacounda : cas des communes de Kaour, Goudomp et Djibanar (Casamance/Sénégal). *European Scientific Journal*, **13**, 242-257.
- Ngemale M., 2009. *Caractérisation dendrométrique de plantations forestières de l'INERA-Yangambi. (Cas d'Entandrophragma cylindricum Sprague et Pterocarpus soyauxii Taub) en Province Orientale de la RDC*. Mémoire : Université de Kisangani, RDC, 42 p.
- 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*. USAID, SAGIC, Sénégal.
- PAEFK, 2003. *Production et évaluation économique de la noix d'anacarde et de pomme cajou au Sénégal*. Ministère de l'Environnement, DEFCCS, 48 p.
- Périé C., Ouimet R. & Duchesne L., 2006. *Évolution Contemporaine des principales caractéristiques dendrométrique des stations du RESEF*. Mémoire de recherche forestière n° 149.
- Perret S. & Ginisty C., 2009. Jusqu'où dynamiser la sylviculture du pin sylvestre en région centre ? les enseignements issus du réseau expérimental du Cemagref. *Rendez-vous Techniques ONF*, n° 23-24, pp. 3-13
- Purseglove J.W., 1968. *Tropical crops: dicotyledons 1 & 2*. Longmans, London.
- Reukema D.I., 1979. Fifty-year development of Douglas-Fir stands planted at various spacings. *USDA For. Serv. Res. Pap.*, PNW-253, 21 p.
- Samb C.O., Faye E., Dieng M., Sanogo D., Samba A.N.S. & 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.
- Séne A., 1997. *Potentialités agroforestières dans les systèmes d'utilisation des terres de la zone semi-aride du Sénégal*. Rapport AFRENA, 33, Agroforestry Research Network for Africa, International Centre of Research in Africa, Nairobi, 194 p.
- Snoeck D., Lacoter, Keliz J., Doumbia A., Chapus T., Jagoret P. & Gohete, 2013. Association of hevea with other tree crops can be more profitable than hevea monocrop during first 12 years. *Industrial Crops and Products*, **43**, 578-586.
- Some L.F.M.C., 2014. *Analyse socio-économique des systèmes de production d'anacarde au Burkina Faso : Cas des régions des Cascades des Hauts Bassins*. Mémoire : Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Institut du développement rural, Burkina Faso, 66 p.
- Stiell W.M., 1986. *Fifteen years growth of tamarack planted at six spacings on an upland site*. Information Report PI-X-62, Canadian Forestry Service, Natural Resources Canada, 22 p.
- Tandjiékpon A.M., 2005. *Caractérisation du système agro forestier à base d'anacardier (Anacardium occidentale L.) en zone de savane au Bénin*. DEA : Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 104 p.
- Wagner R.G., 2000. Competition and critical-period thresholds for vegetation management decisions in young conifer stands. *The Forestry Chronicle*, **76**, 961-968.

4. Effet de l'agroforesterie à base de l'anacardier sur la dynamique de l'occupation du sol dans le centre du Bénin

Ibouraïma Yabi^{*(1)}, Emile Obognon Edea⁽¹⁾, Guy Cossi Wokou⁽¹⁾, Brice Augustin Sinsin⁽²⁾, Michel Boko⁽¹⁾

⁽¹⁾ Université d'Abomey- Calavi, Faculté des Sciences Humaines et Sociales (FASHS), Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT), Laboratoire Pierre Pagney « Climat, Eau, Ecosystème et Développement » (LACEEDE), (République du Bénin)

⁽²⁾ Université d'Abomey- Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques (FSA), Département d'Aménagement et Gestion des Ressources Naturelles (DAGRN), Laboratoire d'Écologie Appliquée (LEA), (République du Bénin)

*E-mail auteur correspondant : yafid2@yahoo.fr ; ibouyabi@gmail.com ; ibouraima.yabi@uac.bj

Description du sujet. L'association des cultures saisonnières avec l'anacardier (agroforesterie à base de l'anacardier) fait désormais partie des pratiques culturelles des paysans du Centre du Bénin.

Objectifs. L'objectif du travail est de caractériser la pratique agroforestière à base d'anacardier et d'analyser ses effets sur la gestion des espaces agricoles et la dynamique de l'occupation du sol dans le milieu de recherche.

Méthode. Le traitement des images satellitaires et de la photographie aérienne ajouté aux données issues des enquêtes de terrain auprès des différents acteurs que sont les producteurs, les agents du développement rural, etc., ont permis d'obtenir les données. Ces données sont relatives aux unités d'occupation du sol et aux systèmes culturels autour de l'anacardier. L'utilisation de la statistique descriptive et des outils cartographiques a aidé à traiter les données collectées et à analyser les résultats obtenus.

Résultats. Les plantes d'anacardiers sont associées aux cultures saisonnières au cours des 5 à 10 premières années avant que les agro-forêts ne se transforment en vergers ou plantations ou laissées en jachère. La pratique agroforestière basée sur l'anacardier a permis de reboiser les espaces de cultures et les jachères agricoles. Elle contribue également à freiner la mobilité des producteurs à la recherche de nouvelles terres agricoles.

Conclusions. L'agroforesterie à base d'anacardier mérite d'être encouragée dans le cadre de la gestion durable des espaces agricoles et de l'adaptation aux changements climatiques.

Effect of agroforestry based on cashew tree on the soil cover dynamic in the center of Benin

Description of the subject. The association of seasonal crops with the cashew tree (cashew tree agroforestry) is now part of the farming practices of peasants in central Benin. It is therefore important to examine the implications of this new form of use of agricultural land for the dynamics of land use.

Objectives. The objective is to characterize the practice of agroforestry based on cashew tree and to analyze its effects on the management of agricultural areas and the dynamic of land cover.

Method. The processing of satellite imagery and aerial photography added to information obtained by the fieldwork with the various actors (producers, rural development agents, etc.) made it possible to obtain the data. These data relate to land-use units to cropping systems around the cashew tree. The use of descriptive statistics and mapping tools helped to process the data obtained and analyze the results.

Results. Cashew plants are associated with seasonal crops in the first 5 to 10 years before agro-forests turn into orchards or plantations or set aside. The practice of agroforestry based on the cashew tree has made it possible to reforest agricultural areas and agricultural fallows. It contributes to slowing down the mobility of producers in search of new agricultural land. This new practice allows for a more sustainable management of agricultural areas.

Conclusions. The practice of agroforestry based on cashew tree merits encouragement in the context of sustainable management of agricultural areas and adaptation to climate change.

1. INTRODUCTION

À l'échelle globale, les 50 dernières années ont été marquées par une modification à un rythme inquiétant des écosystèmes naturels plus rapidement et plus profondément qu'au cours de toute autre période comparable de l'histoire de l'humanité, en raison des activités humaines (<http://www.futura-sciences.com>). La même source précise qu'environ 60 % des composantes de l'écosystème mondial nécessaire à la vie sur terre (eau douce, air pur et climat relativement stable) subissent des dégradations peu réversibles ou font l'objet d'utilisations non durables. De même, d'après CNULCD (2014), la conjugaison de la dégradation des terres et du changement climatique pose un double problème. Ces deux phénomènes se soutiennent mutuellement dans une spirale cyclique négative. En effet, de façon combinée ou isolée, la dégradation des terres et le changement climatique induisent l'érosion des couches arables du sol et affecte négativement les ressources en eau. Ainsi, tous les dix ans, l'humanité perd environ 120 millions d'hectares de terre; plus de la moitié des terres agricoles du monde entier est déjà dégradée. Or, la dégradation des terres réduit ou détruit leur capacité à produire et constitue une grave menace pour le développement durable (DGMDP-RF, 2011). Dans les pays en développement, la baisse de la productivité des sols atteint 50 % dans certaines régions. Dès lors, les pratiques de gestion durable des terres pouvant réduire leur vulnérabilité deviennent une nécessité vitale pour l'humanité. Selon DGMDP-RF (2011) et Simard (2012), la pratique de l'agroforesterie constitue un moyen pertinent pour la gestion durable des espaces cultureux.

Dans les pays en développement, en général et au Bénin en particulier, les écosystèmes naturels sont sujets à plusieurs menaces. Il s'agit des pratiques de feux de végétation, les déboisements associés à l'insuffisance de la durée des jachères (Agbahungba, 1989 cité par Yabi et al., 2012) provoquant une disparition de 100 000 ha de végétation chaque année (Mama & Houndagba, 1991). Ces actions anthropiques induisent des conséquences dramatiques sur les ressources naturelles environnementales (FAO, 1995 citée par Yabi et al., 2012).

Selon Tandjiékpon (2005) et Yabi et al. (2009), le paysage agraire dans le Bénin central est caractérisé par une combinaison d'espèces culturales annuelles sous plantation d'anacardiens (*Anacardium occidentale* L.). Cette nouvelle forme d'agroforesterie permet aux producteurs non seulement de lutter contre l'insécurité alimentaire mais également d'obtenir des gains monétaires complémentaires issus de la vente des noix d'anacarde (Yabi et al., 2012; Balogoun et al., 2014; Afouda et al., 2016). Selon Adégbola & Zinsou (2010), la diversification des cultures est devenue une priorité nationale. La production d'anacarde est donc considérée comme une filière phare par le gouvernement qui compte s'y investir.

L'essentiel des travaux sur l'anacarde au Bénin ont porté sur les volets socioéconomiques et agronomiques (Tandjiékpon & Shouveller, 2008; Adégbola & Zinsou, 2010; Balogoun et al., 2015). Certes, les recherches de Tandjiékpon (2005), Yabi et al. (2010, 2012 et 2013) et Afouda et al. (2016) ont porté sur quelques aspects environnementaux de l'espèce. Mais, les dimensions écologiques de l'agroforesterie basée sur cette plante ne sont pas encore étudiées dans leur intégralité. Or, « l'agroforesterie est un système dynamique de gestion des ressources naturelles reposant sur des fondements écologiques qui intègrent des arbres dans les exploitations agricoles et le paysage rural, et permet ainsi de diversifier et de maintenir la production afin d'améliorer les conditions sociales, économiques et environnementales de l'ensemble des utilisateurs de la terre » (www.worldagroforestry.org cité par Yabi et al., 2012).

Le présent papier vise à analyser les effets de la pratique agroforestière basée sur l'anacardier sur la dynamique de l'occupation du sol au centre du Bénin (Figure 1). Il est sous-tendu par l'hypothèse selon laquelle cette pratique culturelle est moins dégradante pour les espaces agricoles. Elle peut constituer une alternative à la culture itinérante sur brûlis couramment pratiquée au Bénin.

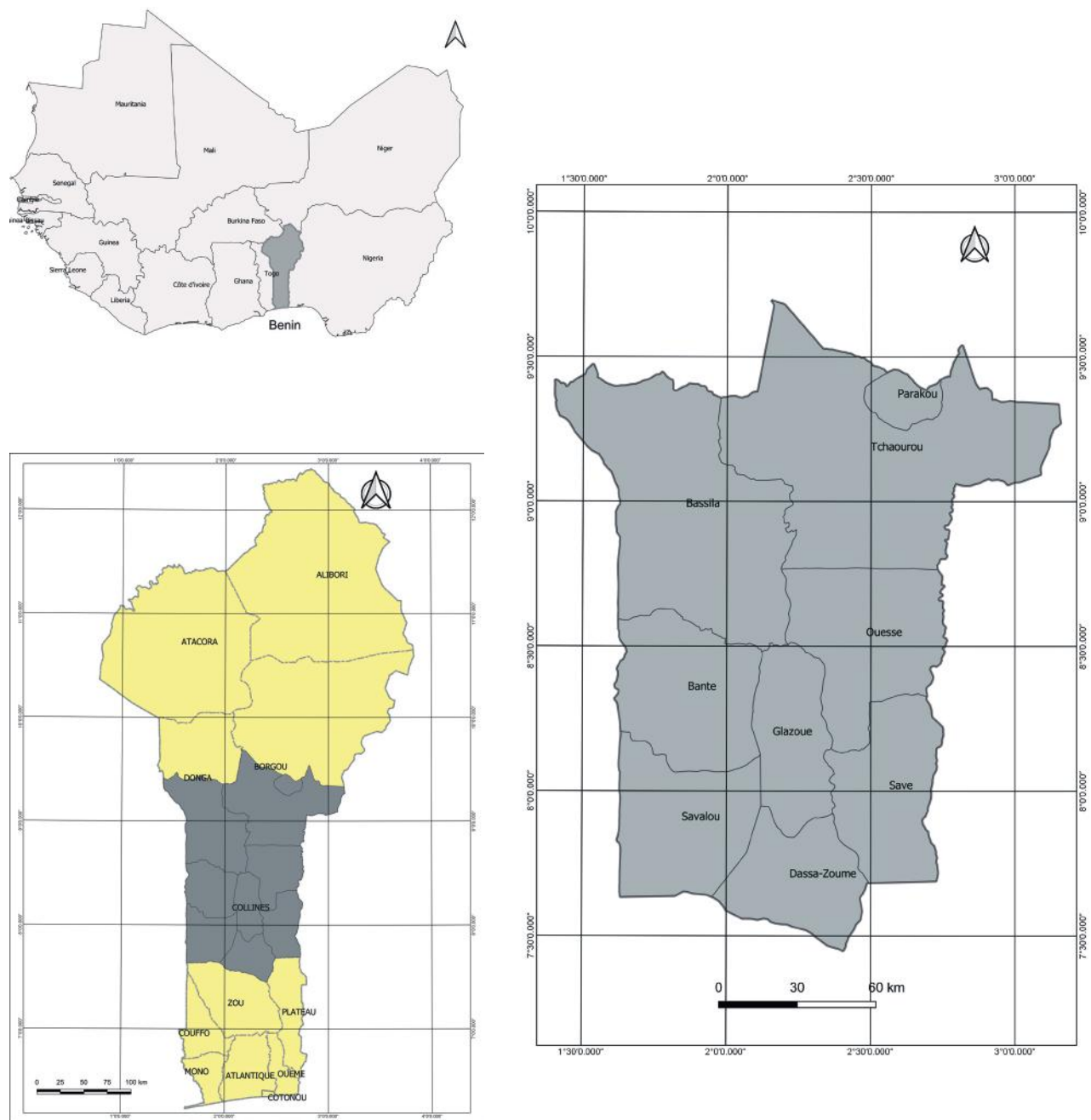


Figure 1. Situations géographique et administrative de la région d'étude – *Geographical and administrative situations of the study area.*

2. APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

L'approche adoptée intègre la collecte, le traitement et l'analyse des données. Elle est faite en plusieurs phases au cours desquelles des approches quantitative et qualitative sont combinées.

2.1. Collecte des données

Documentation. La documentation a constitué une activité transversale de la recherche. Dans ce cadre, plusieurs centres de documentation, laboratoires et sites web ont été visités. Les données collectées ont permis de faire l'état des connaissances sur le champ de l'étude d'une part et de collecter des informations brutes qui ont été soumises aux analyses et traitements.

Phases d'enquêtes de terrain. Pour compléter les données obtenues par la documentation, les investigations en milieu réel ont été nécessaires et ont été menées suivant trois étapes :

Visites préliminaires de terrain. Il s'agit de la pré-enquête au cours de laquelle une étude exploratoire est faite sur le site de l'étude. Ces visites ont permis de prendre contact avec les populations, d'observer l'occupation du sol en général et, en particulier, les champs et les plantations d'anacardiers.

Enquêtes approfondies. Elles ont consisté en la collecte des données quantitative et qualitative relatives aux objectifs retenus. À cet effet, des unités de recherches que sont le village, le ménage et le champ ont été définies.

Le choix des villages dans chaque commune est fait avec l'assistance des agents des Ex-CARDER (Centre Agricole Régional pour le Développement Rural) ou/et des Eaux et Forêts, et des membres des UCP (Union Communale de Producteurs). Par commune, 5 villages ont été ciblés, ce qui donne un total de 45 villages enquêtés (Figure 2). La prédominance de la pratique agroforestière, le souci de couverture de toute l'aire géographique de la commune et la prise en compte des divers groupes sociolinguistiques ont présidé fondamentalement au choix desdits villages.

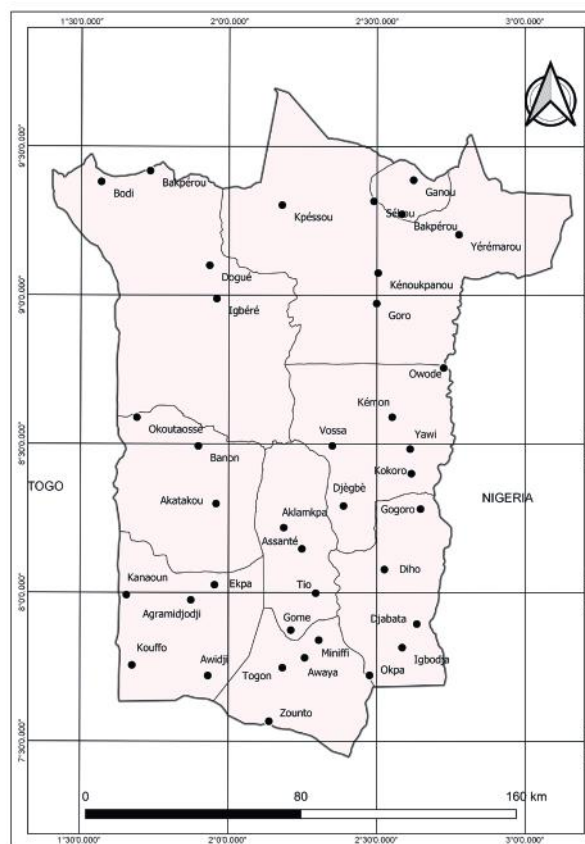


Figure 2. Répartition géographique des localités choisies – *Geographical distribution of selected locations.*

En ce qui concerne les ménages, 5 à 10 sont choisis par village selon les cas. La taille du village, l'équilibre géographique, la disponibilité des paysans sont les principaux critères de choix. Seul le chef de ménage fait l'objet d'investigations. Toutefois, sous son autorisation, ses fils ou parents majeurs (23 % des cas) ou son épouse (17 % des cas) prennent part aux entretiens. Au total, 308 ménages ont été enquêtés.

En plus des ménages agricoles, des personnes ressources (agents de l'INRAB, du CeRPA, de Eaux et Forêts, des UCP et autres structures à vocation agricole et environnementale, les autorités locales, etc.) ont été enquêtées. L'échantillon ainsi constitué a permis de s'entretenir avec tous les acteurs qui interviennent directement ou indirectement dans la culture de l'anacardier au centre du Bénin, en utilisant des techniques appropriées.

Les entretiens individuels directs ont été faits à l'aide d'un questionnaire. En outre, des entretiens par groupe cible (*focus group*) ont été réalisés dans chaque village retenu. Le *focus group* est un moyen plus rapide, plus ouvert de rassembler des informations, et permet d'explorer les croyances, attitudes et opinions des paysans en rapport avec la pratique agroforestière basée sur l'anacardier. Par ailleurs, L'Observation Participante (OP), qui a consisté en une observation directe des réalités de terrain couplée de quelques questions de compréhension, a permis de confronter les pratiques avec les discours, entre le vécu et les déclarations des producteurs interrogés. Les champs visités sont essentiellement ceux appartenant aux ménages enquêtés et dont le chef se rend disponible pour la visite. Au total, 106 champs ont été visités.

Le contrôle-terrain, quant à lui, a consisté à examiner les unités d'occupation du sol par la vérité-terrain. Les unités identifiées sur la carte d'occupation du sol ont été vérifiées en milieu réel. Par exemple, il est observé qu'une savane arbustive identifiée sur la carte est conforme à la réalité du terrain, sinon les corrections nécessaires sont apportées. À cet effet, plusieurs itinéraires et points de sondage sont identifiés et utilisés. Les informations collectées grâce à la recherche documentaire et aux enquêtes de terrain ont subi des traitements adéquats.

2.2. Traitement des données

Ils comprennent le traitement des données brutes et les travaux cartographiques. Ainsi, les fiches d'enquête ont été codifiées et ensuite traitées à l'aide du tableur Excel. Les informations ainsi obtenues sont transformées en tableaux et figures d'illustration. La réalisation des graphiques, le calcul de certaines valeurs statistiques sont faits au moyen d'outils informatiques appropriés. Par ailleurs, le test de concordance de Mann Kendall au seuil de signification de 5 % a été utilisé pour apprécier le niveau de concordance des réponses fournies par les acteurs répondants.

Les traitements cartographiques ont permis l'élaboration des cartes d'occupation du sol de la région de recherche en 1990, 2000 et 2017. Ces cartes ont été établies à partir de la classification des images Landsat ETM+ de 1990 et 2000 puis de Landsat Oli de 2017, ce qui a permis de faire une analyse diachronique de l'occupation du sol. Le sens d'évolution de chaque entité spatiale est déterminé. En plus, une carte de synthèse et la matrice de transition ont été élaborées pour apprécier l'évolution des différentes unités d'occupation du sol dans la région. Un accent particulier a été mis sur les espaces occupés par les plantes d'anacardiers (plantations ou vergers, champs agroforestiers, et jachères).

3. RÉSULTATS

Les principales caractéristiques de la pratique agroforestière, c'est-à-dire les modes d'accès à la terre, les cultures associées, la densité des plantes et la durée d'association culturale, ont été analysées. De même, les incidences de ladite pratique sur la dynamique de l'occupation du sol (gestion des espaces agricoles, évolution des unités d'occupation du sol) ont été étudiées.

3.1. Principales caractéristiques de la pratique agroforestière

Modes d'accès à la terre et superficies des exploitations. Les investigations de terrain ont montré que la terre qui supporte les champs agroforestiers basés sur l'anacardier s'obtient de quatre manières dans la région de recherche (Tableau 1). L'héritage constitue pour 72 % (hommes et femmes) des producteurs le principal mode d'accès à la terre. Il s'agit d'un héritage patrilinéaire c'est-à-dire transmis du père au fils dans la plupart des cas. Le second mode d'accès à la terre agricole dans le centre du Bénin est le don. Il s'agit principalement des donations faites par les époux à leur(s) épouse(s), ou par le chef de famille ou chef de terre à des personnes «étrangères» jugées dignes par ce dernier. Enfin, l'achat de terre constitue aussi une modalité d'accès à la terre dans la région de recherche. Ce mode est plus fréquent dans les communes de Parakou et de Savalou, respectivement 25,4 et 22,8 % en raison de l'influence plus marquée du phénomène d'urbanisation.

Tableau 1. Différents modes d'accès à la terre servant à la plantation d'anacardiers – *Different modes of access to land used for planting cashew tree.*

Mode d'accès Communes	Héritage (%)		Don (%)		Prêt (%)		Achat (%)	
	Homme	Femme	Homme	Femme	Homme	Femme	Homme	Femme
Bantè	60,1	22,1	3,8	7,4	4,7	1,0	0,9	0,0
Bassila	64,2	19,0	3,7	8,5	4,2	0,0	0,3	0,0
Dassa-Zoumè	51,2	16,9	2,6	6,5	9,8	2,0	7,0	0,2
Glazoué	55,2	11,2	3,1	6,1	13,5	1,7	7,0	2,2
Ouèssè	57,2	15,1	2,9	8,3	13,0	1,8	1,5	0,2
Parakou	47,4	11,8	2,8	5,4	6,0	1,2	20,0	5,4
Savalou	50,1	12,1	2,4	5,2	5,0	1,4	19,0	3,8
Savè	55,1	19,1	4,0	9,2	11,0	1,2	0,4	0,0
Tchaourou	58,4	20,8	3,3	7,9	5,8	1,3	2,5	0,0
Moyenne	56,0	16,0	3,2	7,2	8,1	1,3	6,5	1,5

Source : Enquêtes de terrain (2004, 2005, 2007 et 2017) – *Source: Field investigations (2004, 2005, 2007 et 2017).*

En ce qui concerne les superficies des exploitations, elles varient en fonction de deux paramètres, notamment la main-d'œuvre mobilisable par le paysan et surtout la disponibilité de terres cultivables. D'une manière générale, les champs agroforestiers observés sont de petites ou moyennes superficies (Tableau 2). Il convient de préciser que les chiffres du tableau 2 n'incluent pas les jachères à anacardiers.

Tableau 2. Pourcentage des exploitations en fonction de la superficie par commune – *Percentage of holdings by area by district.*

Classes de superficie (%) Communes	P (S ≤ 2 ha)	M (2 ha ≤ S ≤ 4 ha)	G (S > 4 ha)	Superficie moyenne (ha)
Bantè	18,23	55,69	26,08	2,8 (26)
Bassila	23,81	52,38	23,81	2,6 (21)
Dassa-Zoumè	40,00	40,00	20,00	1,7 (20)
Glazoué	38,10	38,10	23,81	1,8 (21)
Ouèssè	37,50	41,67	20,83	2,2 (24)
Parakou	75,00	18,75	6,25	1,2 (16)
Savalou	50,00	41,67	8,33	1,5 (24)
Savè	28,00	48,00	24,00	2,5 (25)
Tchaourou	22,22	51,85	25,93	3,1(27)
Moyenne	35,01	46,11	19,47	2,15 (-)

P = petite taille ; M = taille moyenne ; G = grande taille ; S = superficie ; (26) = Effectif de producteurs répondants – *P = small size ; M = average height ; G = large size ; S = area ; (26) = Number of responding producers.*

Source : Enquêtes de terrain (2004, 2005, 2007 et 2017) – *Source: Field investigations (2004, 2005, 2007 et 2017).*

Le test de variance (ANOVA) ne montre pas de différence significative entre les communes quant aux superficies des exploitations d'anacardiers ($F = 0,12$; $p = 0,998$). Toutefois, les chiffres du tableau 2 montrent une grande fréquence des champs de petites superficies à Parakou (57%), Savalou (49,5%), et Dassa-Zoumè (41,4%). Quant aux localités de Bantè, Bassila et Tchaourou, ce sont des plantations de moyenne taille qui sont plus répandues avec respectivement 55,69%, 54,5% et 53,5%. La disponibilité de terres cultivables justifie cette particularité puisque ces communes sont faiblement peuplées par comparaison aux premières.

Cultures annuelles associées et durées d'association. Les investigations de terrain ont montré que les jeunes plantations pures d'anacardiers n'existent pas. Cela signifie que les plantations s'inscrivent dans un système

agroforestier qui permet aux producteurs de diversifier les cultures. Ainsi, sur la même superficie culturale, les anacardiens sont associés à des cultures saisonnières ou annuelles, notamment dans les premières années. Le semis de l'anacardier intervient juste après le semis des cultures annuelles, ou parfois simultanément.

Plusieurs cultures annuelles sont associées à l'anacardier selon les habitudes culturale et alimentaire des producteurs. Elles concernent aussi bien les cultures de rente (coton, arachide) que les cultures vivrières (Tableau 3).

Il faut préciser que toutes les cultures ne sont pas simultanément associées. Tous les producteurs ne font pas les mêmes associations culturales mais l'igname (*Discorea* spp.) vient en tête des cultures associées. Il s'agit en effet d'une plante exigeante, qui affectionne les terres de friches et constitue avec le manioc et le maïs, la base alimentaire des populations. En conséquence, le paysan emblave chaque année de nouvelles superficies et incinère la plupart des essences ligneuses qui s'y trouvent. L'igname est souvent associée et suivie par d'autres cultures vivrières ou de rente, notamment l'arachide.

Tableau 3. Hiérarchisation des différentes cultures associées à l'anacardier – *Prioritization of different cultures associated with cashew tree.*

Cultures	Rang moyen	Ordre	Test de concordance de Mann Kendall
Igname	3,11	1	N = 207* W de Kendall = 0,241 Probabilité = 0,009
Maïs	3,29	2	
Arachide	4,26	3	
Manioc	5,77	4	
Coton	6,64	5	
Niébé	7,16	6	
Soja	7,29	7	
Coloquinte	9,39	8	
Piment	9,51	9	
Voandzou	10,16	10	
Sorgho	10,43	11	
Patate douce	10,49	12	

Source : Enquêtes de terrain : 2005, 2006 et 2017 ; * Seules les réponses de 207 producteurs sont exploitées – *Source : Field investigations (2004, 2005, 2007 et 2017) ; * Only 207 farmers answers are exploited.*

En ce qui concerne la durée d'association des cultures annuelles, elle varie en fonction de la densité des plantations. Alors que les techniciens (agents des ex-CARDER et des Eaux et Forêts) ont estimé qu'elle peut atteindre 10 ans pour une densité de 70 pieds à l'hectare. Dans la réalité, elle excède difficilement huit ans comme le montre la figure 3.

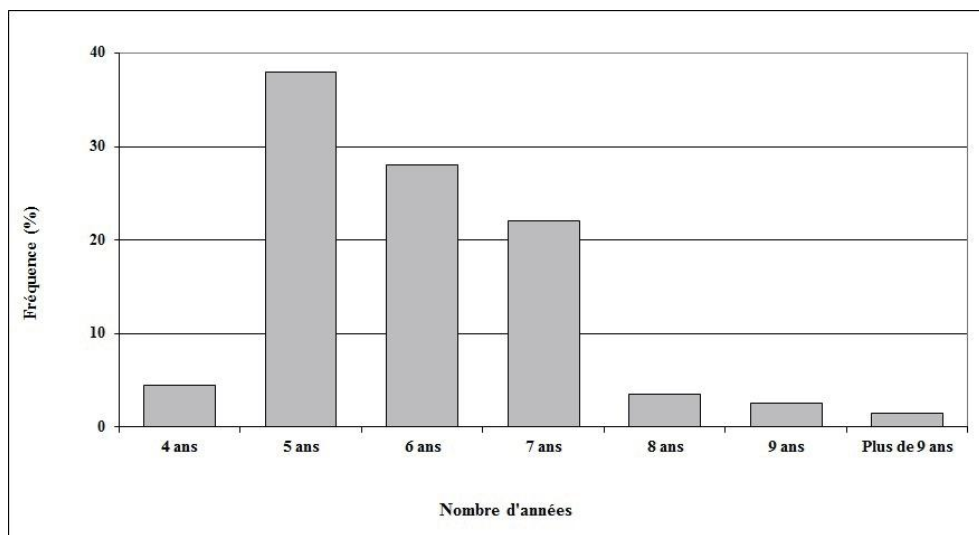


Figure 3. Durée moyenne d'association des cultures annuelles avec l'anacardier – *Average duration of association of annual crops with cashew tree.*

La durée d'association est globalement faible (la classe modale est cinq ans). La courte durée d'association s'explique par la forte densité pratiquée et qui fait que les cimes des arbres se joignent vite, ce qui empêche le développement convenable des cultures annuelles intercalaires. La raison qui justifie le caractère trop élevé des densités des plantations s'explique par le fait que, pendant longtemps, les producteurs ont pensé que la quantité de noix produites est proportionnelle au nombre de pieds d'anacardiers plantés. Ainsi, les enquêtes ont montré que 83,6 % des plantations déjà productives ont une densité supérieure à 100 pieds à l'hectare (Figure 4).

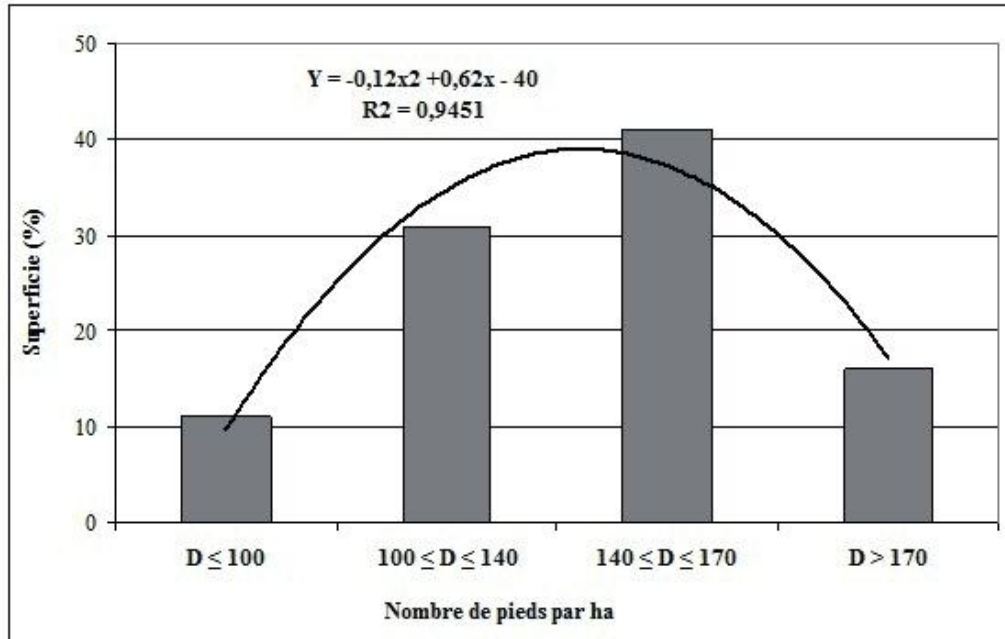


Figure 4. Densité moyenne des plantations d'anacardiers – *Average density of cashew tree plantations.*

La répartition par classe de densité d'arbre montre que les deux classes centrales ($100 \leq D \leq 140$ et $140 \leq D \leq 170$) sont les plus pratiquées. Les producteurs plantent donc autant de pieds d'anacardiers que possible, à tel point que l'écartement des arbres tend à se confondre avec celui du maïs (Planche 1).

Toutefois, au regard des difficultés actuelles (faible durée d'association culturale, faible rendement des plantes) et du travail de sensibilisation des agents techniques, les producteurs comprennent de plus en plus qu'ils ont intérêt à espacer autant que possible les arbres de leur plantation. Ainsi, les jeunes plantes sont assez espacés (Planche 1).



Planche 1. Vue partielle d'une plantation serrée à Bassila [(à gauche) (210 pieds/ha)] et une jeune plantation bien espacée à Savalou [(à droite) (70 pieds/ha)]. Prise de vue de Yabi (2005) – *Partial view of a tightly planted plantation in Bassila [(left) (210 feet / ha)] and a well-spaced young plantation in Savalou [(right) (70 feet / ha)]. Picture from Yabi (2005).*

3.2. Rôle de la culture de l'anacardier dans l'occupation du sol

Gestion plus durable des espaces cultureux. Avant l'avènement de la pratique agroforestière, l'espace cultural était laissé en jachère après quatre à six ans d'exploitation et le paysan ouvrait un autre front agricole. Mais, avec la culture de l'anacardier, le paysan est obligé de rester sur le même espace aussi longtemps que l'association culturale est possible (Planche 2); ce qui freine déjà son itinérance et son incursion dans les formations naturelles à la recherche de nouvelle terre.



Planche 2. Vues d'association des pieds d'anacardiers âgés de 8 ans avec du niébé à Savè (à gauche) et avec du manioc à Tchaourou (à droite). Prise de vues : Edéa (2017) et Yabi (2005) – *Views of association of the tree of cashew 8 years old with cowpea in Savè (left) and with manioc in Tchaourou (right). Pictures from Edéa (2017) and Yabi (2005).*

Quand même l'association culturale n'est plus possible, le producteur laisse derrière des vergers d'anacardiers ou la jachère à anacardiers. La culture de l'anacardier permet ainsi de reboiser les jachères agricoles et de les protéger contre les agents de dégradation notamment l'érosion.

Selon les enquêtes auprès des acteurs du monde rural, jadis, la superficie emblavée était mise en valeur pendant trois ou quatre ans, puis mise en jachère. Ces jachères sont aujourd'hui occupées par des plantations d'anacardiers associées souvent à d'autres cultures (Tableau 4).

Tableau 4. Utilisations des espaces suivant les pratiques culturales – *Uses of spaces according to cultural practices.*

Années	Avant la pratique agroforestière	Avec la pratique agroforestière
1 ^{ère}	Igname/coton/manioc/maïs/niébé, etc.	Anacardier + igname/coton
2 ^{ème}	Maïs + arachide/niébé/coloquinte ou coton	Anacardier + coton/maïs/niébé/etc.
3 ^{ème}	Maïs + arachide/niébé/coloquinte ou coton	Anacardier + coton/maïs/niébé/etc.
4 ^{ème}	Maïs + manioc/arachide/coloquinte ou coton	Anacardier + coton/maïs/niébé/etc.
5 ^{ème}	Jachère	Anacardier + coton/maïs/niébé/etc.
6 ^{ème}	Jachère	Anacardier + manioc

Source : Enquêtes de terrain (2004, 2005, 2006, 2007 et 2017) – *Source: Field investigations (2004, 2005, 2007 et 2017).*

Il ressort de l'examen du tableau 4 que la pratique agroforestière apporte un changement plus ou moins profond dans le système de gestion des terres. En effet, pour assurer l'entretien de sa plantation et la préserver contre les feux de végétation, le paysan préfère – ou est obligé de – rester sur la même superficie aussi longtemps que les cultures en association sont possibles. La figure 5 illustre mieux la gestion des espaces cultureux en rapport avec la pratique agroforestière dans le centre du Bénin.

Le paysan A est celui qui pratique l'agroforesterie tandis que le paysan B ne cultive que des cultures saisonnières. La situation initiale (année de départ) correspond à T1 et T2, la situation après cinq ans. En T1, les deux paysans ont emblavé la même superficie mais en T2, le paysan B a laissé derrière lui des jachères, alors que chez son collègue A ce sont plutôt les vergers d'anacardiers qui ont occupé une partie de son champ. De plus, du fait qu'il stationne sur le même espace pendant plusieurs années pour l'entretien de ses plants d'anacardiers, il a défriché moins d'espace contrairement au paysan B. Ainsi, du point de vue écologique, le paysan A offre l'avantage d'emblaver moins d'espace agricole et donc de détruire moins de ressources naturelles. La situation envisagée au terme de 25 ans

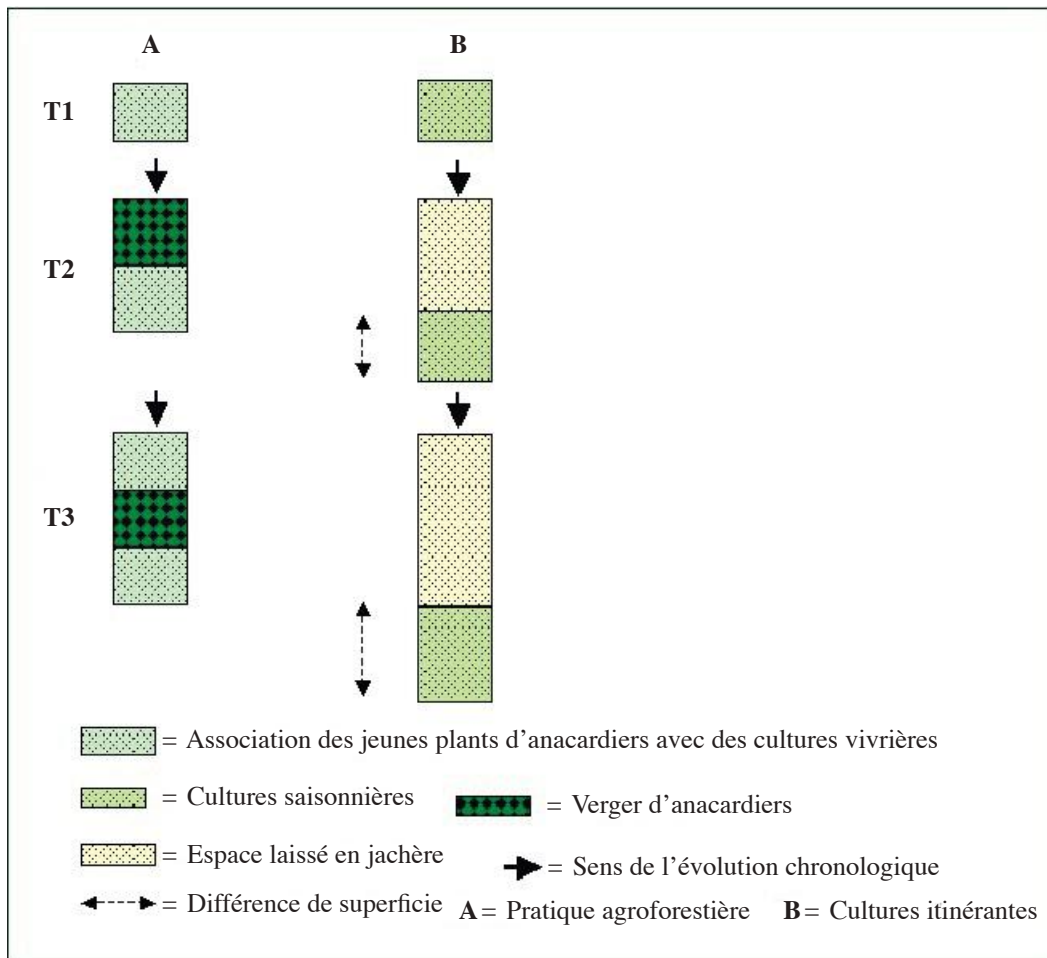


Figure 5. Évolution comparative de l'espace culturel suivant la pratique ou non de l'agroforesterie – *Comparative evolution of the cultural space according to the practice or not of agroforestry.*

d'exploitation est T3. Après 25 ans d'exploitation, l'anacardier devient moins productif et non rentable (PRRF, 2000). Le renouvellement de la plantation est donc préconisé. En supposant que le paysan A se conforme à ce principe, ses premières plantations seront détruites, et l'espace sera occupé de nouveau par des jeunes plants d'anacardier associés à des cultures vivrières et le cycle recommence. L'utilisation de l'espace agricole est ainsi rationalisée.

Importance de l'anacardier dans la dynamique de l'occupation du sol. Afin d'apprécier l'effet de l'agroforesterie basée sur l'anacardier sur la dynamique de l'occupation du sol, les images instantanées de 1990, 2000 et 2017 ont été utilisées. Les figures 6 et 7 illustrent l'évolution des principales unités d'occupation du sol, notamment les unités concernées par l'anacardier.

Dans le milieu, les plantations essentiellement constituées de vergers d'anacardiers ont connu une progression continue. De 57 385 ha en 1990, les superficies occupées par les plantations ont atteint 67 507 ha en 2000 pour atteindre 141 763 ha en 2017, soit un progrès du simple au triple. Il convient de souligner que le progrès le plus notable est observé en 2000 et 2017, période au cours de laquelle les plantations ont plus que doublé leur superficie (une augmentation de 110 %). Ces chiffres confirment l'engouement sans cesse croissant des producteurs pour la culture de cette espèce. Par ailleurs, les observations faites lors du contrôle-terrain ont montré qu'une partie des savanes arborées et arbustives, des mosaïques de cultures et de jachères sont en réalité constituées d'agro-forêts à base d'anacardiers.

En effet, les exploitations agricoles n'ont pas de formes régulières et le traitement brut des images ne permet d'identifier toutes les entités spatiales occupées par les plantes d'anacardiers, surtout lorsqu'ils sont en association avec d'autres cultures ou quand ils sont dans des espaces en jachère. Ainsi, la culture de l'anacardier contribue au reboisement des espaces cultureux jouant par ricochet un effet positif sur la dynamique de l'occupation du sol de la région de recherche.

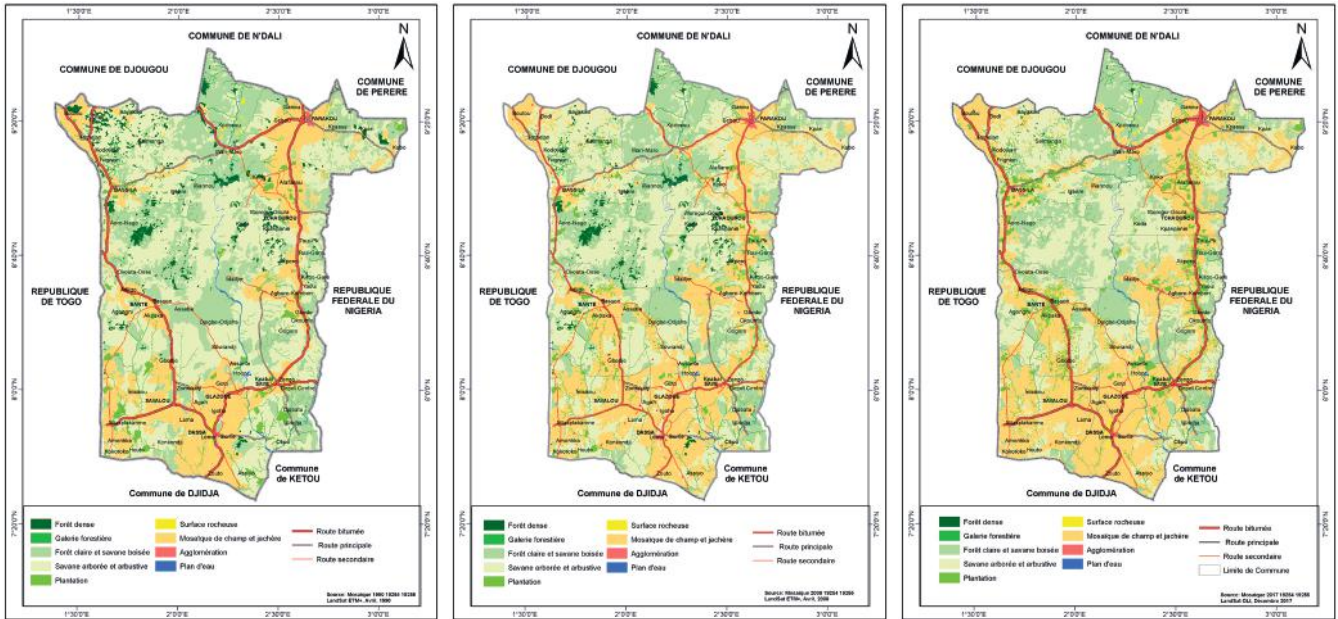


Figure 6. Évolution des unités d'occupation du sol en 1990, 2000 et 2017 – Trends in land-use units in 1990, 2000 and 2017.

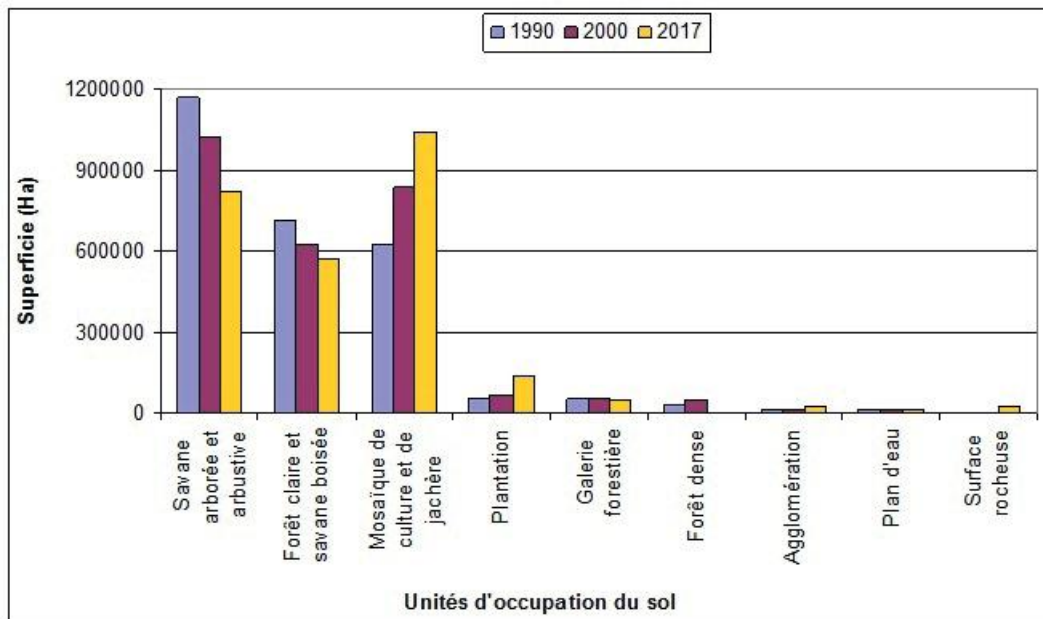


Figure 7. Évolution chiffrée des unités d'occupation du sol en 1990, 2000 et 2017 – Numeral trend of in land use units in 1990, 2000 and 2017.

Source : Traitement d'images (1990, 2000 et 2017) – Source: Image processing (1990, 2000 and 2017).

4. DISCUSSION

Dans le centre du Bénin, l'agroforesterie à base de l'anacardier fait dorénavant partie du système cultural des producteurs. Cette pratique permet aux producteurs d'associer sur le même espace cultural cette espèce pérenne à valeur monétaire avec les cultures saisonnières ou annuelles. D'après Tandjiékpon (2005), Yabi (2008), Adégbola & Zinsou (2010), depuis les années 1990 et avec l'option de la libéralisation économique faite par l'État béninois, la noix d'anacarde a pris de la valeur, ce qui encourage les producteurs à cultiver l'anacardier. Cette espèce a cessé d'être une simple essence de reboisement pour devenir une essence d'intérêt économique. Il s'agit d'une nouvelle opportunité que les producteurs tentent d'exploiter surtout que le coton, principale culture de rente, connaît de temps en temps des soubresauts préjudiciables aux paysans (Adégbola & Zinsou, 2010). Opportunité qui prouve la capacité du monde rural à s'adapter à des mutations économiques.

Dans de cette pratique, l'igname, le manioc et le maïs, qui sont des principales cultures alimentaires, de même que l'arachide et le soja qui sont des cultures de rente, sont associés à l'anacardier. Ce résultat montre que les producteurs du centre du Bénin, tout en visant à accroître leurs revenus monétaires sont également soucieux de leur sécurité alimentaire. Il s'agit alors d'une pratique qui s'inscrit dans la dynamique de la diversification agricole (Cicuzza et al., 2011 ; Simard, 2012).

La pratique agroforestière culture de l'anacardier permet de stabiliser les paysans et de réduire leur mobilité à la recherche de nouvelles terres à défricher. Elle semble donc constituer une alternative à la culture itinérante sur brûlis couramment pratiquée et qui est plus dégradante pour les composantes environnementales. Dans un contexte où la dégradation des terres agricoles, conséquence des pratiques agricoles peu durables, préoccupe toute la communauté internationale (Mama & Houndagba, 1991 ; Cicuzza et al., 2011 ; CNULCD, 2014), cette pratique paraît encourageante. Au-delà de l'itinérance des producteurs qui est freinée, l'agroforesterie à base d'anacardier permet également de reboiser les exploitations agricoles, y compris les jachères, et de les protéger contre les agents de dégradation, notamment l'érosion. Ce résultat est conforme à la conclusion de Dussault (2008) pour qui l'agroforesterie peut être considérée comme un outil de développement durable dans les pays en voie de développement comme le Bénin. Par ailleurs, Yabi et al. (2013) avaient également conclu que l'agroforesterie peut être un outil puissant pour la conservation de la biodiversité végétale, contrairement à la culture itinérante habituellement pratiquée au Bénin. De même, dans le cadre de l'adaptation aux changements climatiques, vitale pour les pays en développement comme le Bénin, la pratique agroforestière figure parmi les solutions retenues par PANA-Bénin (2007). Les travaux de Bello et al. (2017) ont également indiqué que les plantations d'anacardiers stockent le carbone et constituent donc moyen pour atténuer le réchauffement climatique.

Au regard de ses bienfaits socio-économiques et écologiques, cette pratique mérite d'être encouragée. Or, elle est confrontée à plusieurs difficultés, notamment l'insuffisance de l'encadrement technique qui a des répercussions néfastes sur les modes de culture et d'entretien des plantations (Yabi, 2008). En effet, le non-respect des normes techniques (densité, entretien) affecte négativement le rendement de l'espèce et réduit la durée d'association culturale (Yabi et al., 2012). À cela s'ajoute les contraintes foncières qui limitent la possibilité pour les colons agricoles considérés comme étrangers de cultiver les espèces pérennes. Cependant, l'organisation sans cesse croissante des acteurs et la volonté affichée de l'État à accompagner la filière anacarde constituent des opportunités certaines. En effet, depuis 2016 l'Interprofession de la Filière Anacarde au Bénin (IFA-Bénin) est créée pour fédérer les compétences de tous les acteurs et, dans le même contexte, l'anacarde est considérée comme une « filière phare » à accompagner dans la mise en œuvre du Programme d'Action du Gouvernement (PAG 2016-2021).

5. CONCLUSIONS

Cette étude contribue à une meilleure connaissance des caractéristiques de l'agroforesterie à base de l'anacardier et à ses effets sur la dynamique de l'occupation du sol dans le centre du Bénin. Les producteurs qui accèdent majoritairement à la terre par héritage associent de plus en plus l'anacardier avec les cultures saisonnières ou annuelles. Le paysage agraire de cette région est dorénavant marqué par des agro-forêts ou des plantations d'anacardiers.

Cette pratique permet au paysan d'assurer l'entretien de sa plantation maïs, en même temps, il est retenu sur le même champ pendant cinq à sept ans selon l'espacement des plantes. Il s'ensuit donc une atténuation du degré de mobilité du producteur à la recherche de nouvelles terres à défricher. Par ailleurs, elle permet de boiser les espaces agricoles et de protéger les sols contre les intempéries naturelles qui les dégradent.

La pratique agroforestière basée sur l'anacardier semble mieux répondre au souci de gestion durable des ressources naturelles en général et des terres agricoles en particulier. Elle constitue également une mesure

d'adaptation et d'atténuation des changements climatiques. Il reste cependant que les producteurs soient accompagnés techniquement et financièrement pour l'amélioration continue de cette pratique culturale plus durable.

Bibliographie

- Adégbola P.Y. & Zinsou J., 2010. *Analyse des déterminants des exportations béninoises de noix d'anacarde*. Rapport d'étude, Cotonou, République du Bénin, 20 p.
- Afouda A.S. et al., 2016. Contraintes climatiques perçues par les producteurs d'anacarde de la Commune de Bassila. *Notes scientifiques, Homme et Société*, **5**, 95-112.
- Balogoun I. et al., 2014. Caractérisation des systèmes de production à base d'anacardier dans les principales zones de culture au Bénin. *Agronomie africaine*, **26**(1), 9-22.
- Balogoun I. et al., 2015. Diagnostic et axes de recherche pour une exploitation rationnelle de l'anacarderaie au Bénin. *Annales des Sciences Agronomiques*, **19**(2), 29-52.
- Bello O. et al., 2017. Assessment of organic carbon stock in cashew plantations (*Anacardium occidentale* L.) in Benin (West Africa). *International Journal of Agriculture and Environmental Research*, **3**(4), 3601-3625.
- CNULCD (Convention des Nations Unies sur la Lutte contre la Désertification), 2014. *Adaptation et résilience basées sur les terres, une force puisée dans la nature*. Rapport spécial, Born, Allemagne, 20 p.
- Cicuzza et al., 2011. Conservation Value of Cacao Agroforestry Systems for Terrestrial Herbaceous Species in Central Sulawesi. *Indonesia Biotropica*, **43**(6), 755-762.
- DGMDF-RF (Direction Générale de la Mondialisation, du Développement et des Partenariats de la République Française), 2011. *L'action extérieure de la France contre la dégradation des terres et la désertification*. Paris, France, 12 p.
- Dussault C.F., 2008. *L'agroforesterie comme outil de développement durable dans les pays en voie de développement*. Mémoire de maîtrise en écologie internationale : Faculté des Sciences, Université de Sherbrooke, Québec (Canada), 106 p. <http://www.futura-sciences.com> (site consulté le 25/8/2017)
- Mama J.V. & Houndagba J.C., 1991. *Environnement et développement*. Document préparatoire pour l'environnement pour la conférence des Nations Unies, Rapport, Bénin, 118 p.
- PANA-Bénin, 2008. *Rapport du Programme d'Action Nationale d'Adaptation aux Changements Climatiques*. Cotonou, Bénin, 81 p.
- Simard J., 2012. *L'agroforesterie, une avenue de développement durable pour l'agriculture québécoise ?* Mémoire de maîtrise en écologie : Centre universitaire de formation en environnement, université de Sherbrooke, Québec (Canada), 116 p.
- Tandjiékpon A.M. & Shouveller Y., 2008. *Inventaire et caractérisation des plantations d'anacardier dans les départements de l'Atacora et la Donga : Résultats et Analyse. Volumes 1 et 2*. PAMRAD-ProCGRN, Bénin, 190 p.
- Tandjiékpon A.M., 2005. *Caractérisation du système agroforestier à base d'anacardier (Anacardium occidentale L) en zone de savane au Bénin*. Mémoire pour l'obtention du DEA : Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines, Université d'Abomey-Calavi (Bénin), 104 p.
- Yabi I., 2008. *Étude de l'agroforesterie à base de l'anacardier et des contraintes climatiques à son développement dans le centre du Bénin*. Thèse de doctorat Unique : Université d'Abomey-Calavi (Bénin), 240 p.
- Yabi I. et al., 2009. Variabilité pluviométrique et production de l'anacardier dans le centre du Bénin. *Climat et développement*, **7**, 8-48.
- Yabi I., Boko M. & Sinsin B., 2010. Culture de l'anacardier. *État actuel de la diversité végétale au Bénin*, 216-221.
- Yabi I. et al., 2012. Vulnérabilité de l'agroforesterie à base de l'anacardier aux changements climatiques dans le centre du Bénin. *Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé, Série B*, **12**(2), 19-26.
- Yabi I., Yabi, B.F. & Dadegnon S., 2013. Diversité des espèces végétales au sein des agro-forêts à base d'anacardier dans la commune de Savalou au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **7**, 696-706.

Thème 2.

Agronomie

5. Évaluation des effets des bonnes pratiques d'entretien et de gestion des plantations sur la productivité et la qualité des noix brutes de cajou dans le département du Borgou (Bénin)

Mesmes-Juste Amanoudo^{*⁽¹⁾}, Issiakou Moussa⁽²⁾, Joseph Sabi Bira Tokore⁽²⁾, Oscar Assa Kindemin⁽²⁾, Pieter Wauters⁽³⁾, Christian Muenkner⁽³⁾

⁽¹⁾ Union Régionale des Producteurs d'Anacarde du Borgou et de l'Alibori (URPA-BA), BP 988 Parakou-Bénin

⁽²⁾ Fédération Nationale des Producteurs d'Anacarde du Bénin (FENAPAB); BP 49 Parakou-Bénin

⁽³⁾ Programme « Promotion de l'Agriculture » (ProAgri), Antenne de Parakou-Bénin

*E-mail auteur correspondant : amajuste@gmail.com

Description. L'entretien et la gestion des plantations d'anacardier est un travail vulgarisé dans le Borgou pour améliorer le rendement, la qualité des produits et éviter les feux de végétation. Cependant, on observe une faible application de ces techniques.

Objectifs. Il importe donc de montrer aux producteurs la pertinence d'un bon entretien et d'une bonne gestion des plantations d'anacardières.

Méthode. À cet effet, 30 unités de démonstration avec des critères définis ont été installées dans les villages des communes de Nikki, Pèrèrè, Tchaourou, N'dali avec une parcelle de démonstration de 0,25 ha où tout le paquet technologique est mis en place, et une parcelle témoin de 0,25 ha sans opération. Les produits des deux parcelles ont été récupérés, pesés séparément et le Kernel Output Ratio (KOR) a été calculé. Des histogrammes ont été réalisés pour une comparaison des données entre parcelles. Les comparaisons de moyennes multiples ont été réalisées avec le test *t* de student au seuil 5 %.

Résultats. Les résultats indiquent une différence significative ($p < 0,05$) entre les parcelles en ce qui concerne le poids moyen des produits par arbre, le grainage et la qualité des noix. La production moyenne par arbre dans les parcelles de démonstration est supérieure à celle des parcelles témoin. Le grainage (1 kg) dans les parcelles de démonstration est inférieur à celui des parcelles témoin. Le KOR moyen de noix issues des parcelles de démonstration est de 47,80 alors que celui des noix récoltées dans les parcelles témoin est 45,67. Les producteurs associés à ces analyses ont alors compris l'utilité des bonnes pratiques vulgarisées et l'adoptent mieux (72,05 %).

Conclusions. Les résultats montrent que la qualité et le rendement des plantations sont améliorés avec les bonnes pratiques de gestion et d'entretien.

Evaluation of the effects of good practices of maintenance and management of the plantations on the productivity and the quality of cashew nuts in the department of Borgou (Bénin)

Description of the subject. The maintenance and management of cashew plantations is a popular theme in Borgou to improve yield, product quality and avoid wildfires. However, there is a low rate of application.

Objectives. It is therefore important to show to cashew producers the importance of good maintenance and good management of cashew plantations.

Method. To this end, 30 Demonstration Units with defined criteria have been installed in the villages of Nikki, Pèrèrè, Tchaourou and N'dali municipalities, including a demonstration plot of 0.25 ha, where the whole technological package is made and a control plot of 0.25 ha without operation. The products from both plots were recovered and weighed separately with Kernel Output Ratio (KOR) calculation. Histograms were made for a comparison of data between plots. Multiple-averaging comparisons were performed with the student t-test at the 5%.

Results. The results indicate a significant difference ($p < 0.05$) between the plots in terms of average product weight per tree, graining and nut quality. The average production per tree in the demonstration plots is higher than that of the control plots. The graining (1 kg) in the demonstration plots is lower than that of the control plots. The average KOR of walnuts from the demonstration plots is 47.80 while that of the nuts harvested in the control plots is 45.67. Producers associated with these analyze then understood the usefulness of good practice and adopted it better (72.05%).

Conclusions. The results show that the quality and performance of plantations are improved with good management and maintenance practices.

1. INTRODUCTION

L'anacardier est une plante exotique originaire du Brésil. Il est exporté en Afrique de l'Ouest par les navigateurs portugais au 15^e siècle (Russel, 1970) pour fixer les dunes et lutter contre l'érosion. Sa présence sur les côtes béninoises remonte au 27^e siècle, mais son utilisation comme espèce de reboisement n'est intervenue qu'à partir des années 1950 avec les premiers essais sur une dizaine d'hectares en 1958 (SNAFOR, 1970 & 1979, cités par Tandjiékpon, 2005). L'objectif de production fruitière est apparu bien après, surtout que l'humidité relative élevée de la côte ne facilitait guère le processus de fructification. Cultivée essentiellement pour son fruit, la noix de cajou, elle s'est vite adaptée aux conditions du milieu ; ce qui lui a permis de couvrir au Bénin, à partir des 50 dernières années, de grandes surfaces aussi bien en plantations domaniales qu'en exploitations agricoles. L'anacarde fournit plusieurs produits comme les pommes de cajou qui peuvent être transformées en jus ou en éthanol. Les noix de cajou et le liquide de la coque de cajou sont très demandés sur les marchés internationaux (Agboton et al., 2014). Après la fin des années 1990, la noix de cajou est devenue l'un des plus importants produits d'exportation d'Afrique de l'Ouest et la principale culture de rente après le coton. Le Bénin occupe la quatrième place dans les pays exportateurs africains. L'anacarde contribue à 25 % au revenu agricole d'exportation, à 7 % au PIB agricole et participe à l'amélioration des revenus de nombreux producteurs (Tandjiékpon, 2010). Pourtant, Selon Adégbola et al. (2005), les rendements moyens en noix de cajou au Bénin oscillent entre 350 et 600 kg/ha avec quelques rares pics entre 1 000 et 1 500 kg/ha. Les densités de plants pratiquées varient de 50 à 250 plants par hectare (Tandjiékpon, 2005). Particulièrement dans le Borgou, le rendement moyen est de 385 kg/ha avec une densité moyenne de 165 pieds à l'hectare au plan national (PADA, 2016). Cette situation est due à la faible mise en œuvre des bonnes pratiques d'entretien et de gestion des plantations dans les anciennes plantations majoritairement représentées au Bénin. Pour y pallier, les faitières d'organisation paysanne, avec l'appui des partenaires techniques et financiers, ne cessent d'organiser depuis plus d'une décennie des formations en masse des producteurs sur la thématique. Pourtant, il s'observe un faible taux de mise en œuvre des acquis de formation par les producteurs, compte tenu de leurs idées selon lesquelles plus d'arbres équivaut à plus de production. Il faut également préciser que l'anacarde constitue pour eux une activité secondaire dans laquelle ils investissent très peu voire pas du tout en main d'œuvre, ... pour les bonnes pratiques d'entretien et de gestion des plantations. Il importe alors de se poser les questions suivantes : Quels sont les avantages des bonnes pratiques d'entretien et de gestion des plantations ? L'approche de vulgarisation par les unités de démonstration permettra-t-elle de motiver les producteurs à la réplique dans leurs plantations ?

Ainsi, cette étude s'est focalisée sur la question, en vue de connaître les avantages des bonnes pratiques d'entretien et gestion des plantations d'anacardières, puis de susciter chez les producteurs la volonté de faire une réplique dans leurs vergers en observant les unités de démonstration installées.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Matériels

Le matériel d'étude biologique est constitué d'arbres d'anacardier de la région Borgou. En effet, pour les Observations Participantes (OP), les fleurs, feuilles, fruits, écorces et bois sont pris en compte en vue d'identifier les maladies et attaques, le rendement des arbres et la qualité des noix. Les outils comme les fiches d'enquête, les sacs de jutes (stockage des noix), le kit de KOR (test de qualité) et pesons de portée 150 kg (pesée des noix brutes) ont été utilisés.

Par ailleurs, la pluviométrie de la zone d'étude varie entre 900 et 1 200 mm par an (INRAB, 1996) et est caractérisée par un climat du type soudanien. La température moyenne annuelle enregistrée est de 26 °C avec un maximum de 32 °C en mars et un minimum 23 °C en décembre et janvier (INSAE, 2004). L'humidité relative varie entre 30 et 70 %. Les principaux types de sols rencontrés dans ce département sont des sols ferrugineux tropicaux, des sols ferralitiques, des sols sablonneux argileux ou argilo-sableux et des sols granito-gneissiques à caractère très varié selon les séquences topographiques (INSAE, 2004). Il est parcouru par des ruisseaux et rivières d'importances variables (Tandjiékpon, 2005).

2.2. Méthode

Choix d'abritant et installation des Unités de Démonstration. Quatre communes du département du Borgou ont été choisies après échange avec l'Union Régionale des Producteurs d'Anacarde du Borgou et de l'Alibori (URPA/BA). Il s'agit des communes dans lesquelles plusieurs formations ont été régulièrement données pendant plus de cinq ans avec peu de résultats. Les villages possédant des coopératives de producteurs identifiés en 2015 ont été choisis pour les sondages. Le choix des producteurs abritant les Unités de Démonstration et l'installation des UD a été fait en plusieurs étapes :

Pré-sélection des producteurs. Les producteurs abritants ont été choisis selon les critères suivants : le producteur doit être propriétaire membre actif de CVPA; le propriétaire des plantations s'est engagé à bien entretenir les parcelles de démonstration (fauchage, sarclage, labour), à faire suivre et enregistrer les récoltes des parcelles de démonstration au cours des années 2016, 2017 et 2018; la parcelle de production doit être proche du village; les plantations doivent être accessibles; le producteur doit disposer d'une plantation d'au moins 0,75 ha; la plantation doit être âgée de 10 à 15 ans; la plantation doit avoir une densité serrée (40 à 50 arbres pour 0,25 ha).

Prospection et validation des sites. Cette étape est marquée par la visite des parcelles potentiellement éligibles et le choix des meilleures sur base des critères cités ci-avant.

Installation des Unités de Démonstration. Cette installation consiste à : (1) délimiter l'Unité d'expérimentation constituée d'une Parcelle de Démonstration (PD) et d'une Parcelle Témoin (PT); (2) effectuer un sarclage ou fauchage des PD, suivi de l'installation des cultures intercalaires; (3) identifier des arbres peu/pas producteurs, malades ou infestés avec le propriétaire dans la PD; (4) marquer les arbres à couper dans la PD; (5) couper les arbres marqués en présence de quelques producteurs et productrices issus des groupes de contact; (6) écorcer les souches pour éviter les repousses dans les PD et (7) dégager les arbres coupés pour leur valorisation.

À l'issue de ces étapes, six producteurs au moins, dont un abritant par village enquêté, constituent le groupe de contact pour l'étude. Ainsi, 30 Unités de Démonstration ont été installées dans quatre communes en présence de 161 producteurs dont 30 abritants (Tableau 1).

Tableau 1. Villages bénéficiaires d'Unité de Démonstration et producteurs constitutifs du groupe de contact enquêté – *Villages with demonstration plots unit and producer group surveyed.*

Communes	Villages touchés (UD)	Effectifs du groupe de contact		
		H	F	Total
TCHAOUROU	9	51	5	56
NIKKI	6	29	1	30
N'DALI	9	43	2	45
PERERE	6	29	1	30
Total	Total : 30	152	9	161

Collecte de données. La collecte de données a été faite avec les producteurs abritant. En effet, chaque abritant avait reçu en début de saison de récolte six sacs de jutes (3 × 2 parcelles) pour y mettre séparément les noix brutes issues des différentes parcelles. Ainsi, chaque semaine ou deux selon le cas, les noix sont pesées avant que les producteurs n'en disposent à leur guise. Le poids à chaque pesée est consigné sur deux fiches. Le test de Kernel Output Ratio (KOR) et le grainage sont réalisés en début et en fin de campagne de commercialisation pour apprécier la qualité et le nombre de noix au kilogramme (grainage) au niveau des deux parcelles. Ces données sont également consignées sur des fiches doubles. Les séances de réalisation du KOR sont tenues en présence du groupe de contact de chaque village concerné. Les producteurs du groupe de contact sont ensuite enquêtés avec des descentes sur site pour l'évaluation de la mise en œuvre des acquis au cours de l'année suivante.

Traitement et analyse des données. Pour l'analyse des données issues de l'enquête, après codification dans le tableur Microsoft Excel, les données ont été analysées à l'aide du logiciel R version 3.1.2 pour la détermination des statistiques descriptives (pourcentages et moyennes). Les comparaisons de moyennes ont été réalisées avec le test *t* de Student au seuil de 5%. Des histogrammes ont été faits à l'aide du tableur Excel afin de déterminer les moyennes par parcelle pour une meilleure interprétation des observations et pour servir de base à la sensibilisation post récolte

lors des entretiens avec les groupes de contact. Le taux de mise en application des acquis (calcul en pourcentages du rapport entre le nombre d'individus adoptant l'innovation et l'ensemble de la population utilisatrice potentielle) a été calculé par commune, séparément et collectivement.

3. RÉSULTATS

3.1. Rendement par arbre

Dans 30 UD, les données liées aux récoltes en noix dans les différentes parcelles ont été collectées et pesées séparément tout au long de la période de récolte. Étant donné que les nombres d'arbres restant sont différents d'une parcelle à l'autre, le rendement a été rapporté à l'arbre pour une meilleure comparaison. Le tableau 2 nous présente les résultats du test de comparaison de moyennes. Ainsi, le test *t* de Student révèle que les moyennes et les écarts-types des rendements de la parcelle de démonstration sont supérieurs au rendement de la parcelle témoin. La probabilité issue de ce test est supérieure au seuil de signification fixé à 5%. Le rendement moyen des parcelles d'anacarde entretenues est supérieur à celui des parcelles non entretenues (Figure 1). Le constat est que la production moyenne par arbre dans les parcelles de démonstration est supérieure à celle dans les parcelles témoins. Cette différence est relative selon les villages et les communes d'intervention.

Tableau 2. Comparaison du rendement en noix par arbre entre les parcelles – *Comparison of yield per tree between plots.*

Type de Parcelle	Rendement/arbre		
	Moyenne		Écart-type
Témoin	1,07a		0,84
Démonstration	2,42b		1,99
Probabilité	T = 4,986	df = 24	<i>p</i> = 0,000***

Les moyennes dans une même colonne suivie de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%, test *t* de Student – *Mean values in a column followed by the same letters are not significantly different at $p = 0,05$, t Student test.*

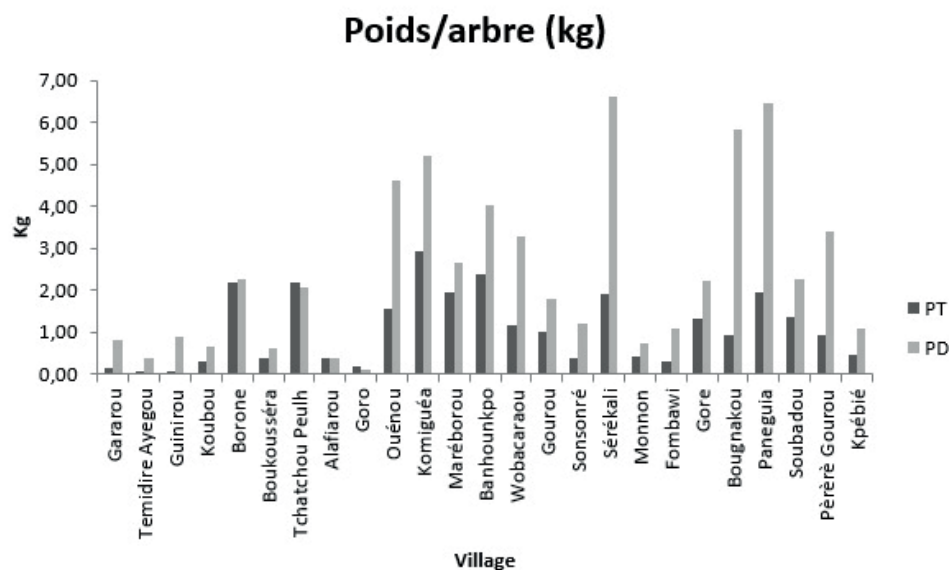


Figure 1. Production moyenne par arbre dans les parcelles de démonstration et parcelles témoin au niveau des villages. PT = Parcelle Témoin ; PD = Parcelle de Démonstration – *Average weight per tree in demonstration and control plots per village.*

3.2. Qualité des noix brutes

La qualité des noix brutes est liée à plusieurs facteurs, dont l'humidité, le taux d'amande blanche, le grainage et le KOR. Seuls le KOR et le grainage ont été considérés pour cette étude.

Kernel Output Ratio (KOR). Il s'agit de la mesure de l'amande utile dans les noix brutes de cajou rapportée à un sac de 80 kg en mesure universelle (Sterling).

Le test *t* de Student réalisé sur le KOR des noix issues des parcelles étudiées (Tableau 3) révèle que la moyenne des KOR de la parcelle de démonstration est supérieure aux KOR de la parcelle témoin. Il existe une différence significative au seuil de 5 % entre le KOR au niveau des deux types de parcelles étudiées. La qualité des noix brutes issues des parcelles entretenues est supérieure à celle des parcelles non-entretenuées. Le KOR moyen des noix issues des parcelles de démonstration est supérieur à celui des parcelles témoin (Figure 2). Ces valeurs moyennes varient en fonction des villages et des communes étudiées.

Tableau 3. Comparaison de moyenne des KOR entre les parcelles – *KOR comparison between plots and control.*

Type de Parcelle	KOR		
	Moyenne		Écart-type
Témoin	46a		3,06
Démonstration	48b		1,90
Probabilité	T = 4,970	df = 24	<i>p</i> = 0,000***

Les moyennes dans une même colonne suivie de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %, test *t* de Student – *Mean values in a column followed by the same letters are not significantly different at $p = 0,05$, t Student test.*

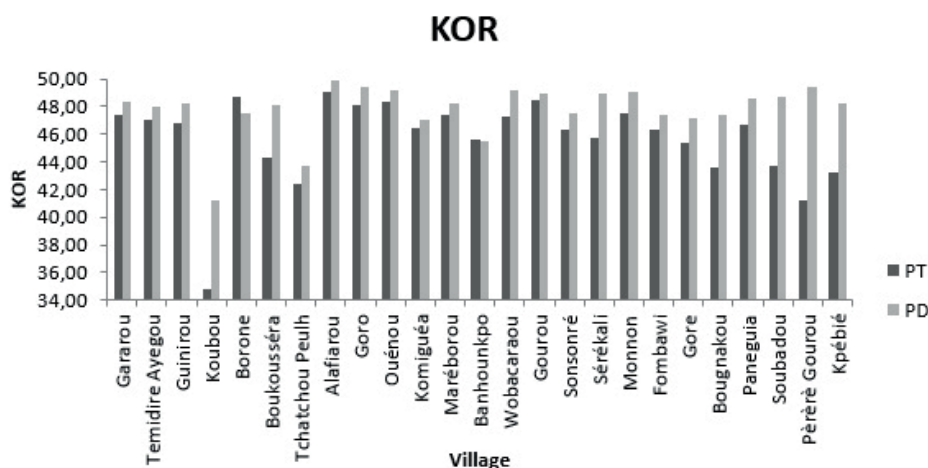


Figure 2. KOR dans les parcelles de démonstration et parcelles témoin au niveau des villages – *KOR from demonstration and control plots per village.*

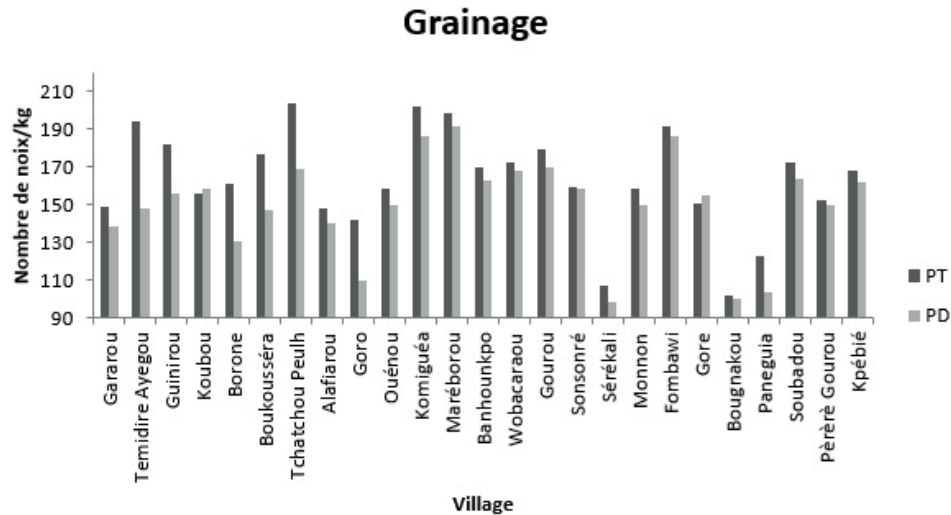
Grainage. Le grainage est le décompte du nombre de noix brutes obtenues sur 1 kg de produit. Cette donnée collectée rapportée à la moyenne par parcelle est soumise à une analyse de comparaison de moyenne (Tableau 4).

Le test *t* de Student révèle que les moyennes et les écarts-types du grainage de la parcelle témoin sont supérieurs au grainage de la parcelle de démonstration. La probabilité issue de ce test est supérieure au seuil de signification fixé à 5 %. Les données collectées par producteurs abritants dans les villages d'études permettent d'observer que le grainage moyen des parcelles d'anacardières entretenues est inférieur à celui des parcelles non-entretenuées (Figure 3). Le nombre de noix brutes par kilo (grainage) dans les parcelles de démonstration est inférieur à celui dans les parcelles témoins. Ainsi donc, les noix issues des parcelles de démonstrations sont plus grosses que celles des parcelles témoins.

Tableau 4. Comparaison du grainage entre les parcelles de démonstration et parcelles témoin – *Seeds comparison between plots and control.*

Type de Parcelle	Grainage		
	Moyenne		Écart-type
Témoin	163a		26,55
Démonstration	150b		25,49
Probabilité	T = 4,986	df = 24	p = 0,000***

Les moyennes, dans une même colonne, suivie de la même lettre ne sont pas significativement différentes $p = 0,05$, *t* Student test – *Mean values in a column followed by the same letters are not significantly different at $p = 0.05$.*

**Figure 3.** Grainage dans les parcelles de démonstration et parcelles témoin dans les villages d'intervention de l'étude – *Average number of seeds/kg according to demonstration and control plots.*

3.3. Mise en application des acquis

Une enquête a été réalisée auprès de 161 producteurs de la zone d'étude sur l'application des bonnes pratiques d'entretien et de gestion des plantations (sarclage/fauchage, labour et association culturale, élagage, éclaircie, pare-feu). À l'issue de cette activité avec le groupe de contact de l'étude, les pourcentages de réplification dans les plantations ont été calculés (Figure 4). Il ressort de cette analyse que les membres du groupe de contact de N'dali arrivent en tête de classement avec 75,6% de mise en œuvre, suivi de Tchaourou avec 73,2%. Nikki et Pèrèrè viennent ensuite avec respectivement 70,0 et 66,7%. La moyenne de l'ensemble des communes s'élève à 72,1%. La majorité des producteurs abritants ont continué les opérations sur fonds propres dans l'aire restante de leurs plantations.

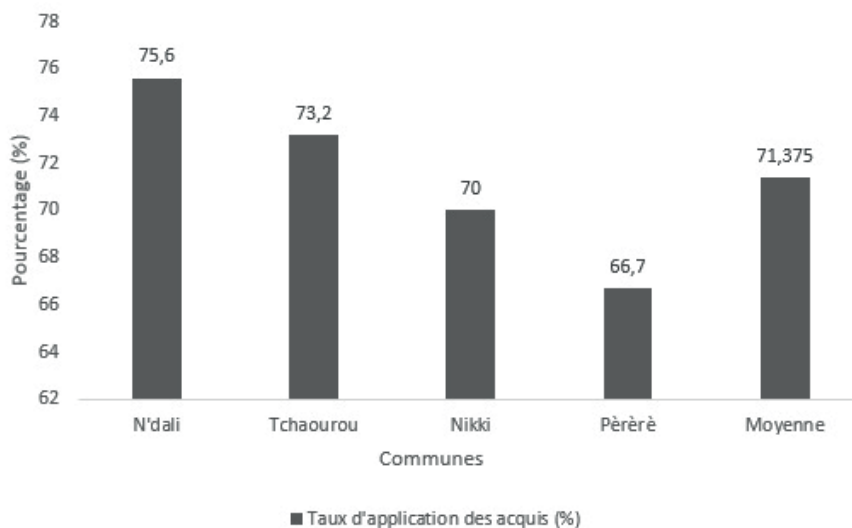


Figure 4. Taux de mise en œuvre des acquis sur l'entretien et la gestion des plantations par les producteurs du groupe de contact par commune et pour la zone d'étude – *Rate of maintenance techniques application by producers per village.*

4. DISCUSSION

Les opérations d'entretiens et de gestion des anciennes plantations comprennent les activités suivantes : le labour ou le fauchage/sarclage, les éclaircies (bonne densité), élagages, pare-feu, associations culturales (soja, arachide), la fumure (organique surtout), le traitement phytosanitaire, le surgreffage, etc.

Les résultats de cette étude ont montré que toutes ces opérations constituent des impératifs pour concrétiser l'objectif de production fruitière des anacardiens dans le Borgou. En effet, le rendement des anciennes plantations réhabilitées (entretenu) et la qualité des produits issus de ces plantations connaissent un accroissement comparativement aux anciennes plantations de même âge et dans les mêmes conditions sans opérations d'entretien, ni de gestion. Dans cet ordre d'idée, Tandjiékpon (2005) indique l'importance du labour comme activité d'entretien qui crée des espaces encaissés pour retenir l'eau et de l'humus exploitable par les plants d'anacardier. Cela concourt par ricochet à l'amélioration du rendement de la plantation.

En effet, l'éclaircie et l'élagage contribuent à la réduction des concurrences en éléments nutritifs et photosynthétiques. Elle augmente par ailleurs la disponibilité suffisante d'éléments nutritifs favorisant ainsi le développement des fruits, dont la noix.

Kodjo & N'djolossè (2013) ont obtenu des résultats plus succincts en trouvant un accroissement moyen en noix de 1,3 kg/arbre en 2010 et 6,1 kg/arbre en 2011 par rapport aux parcelles témoins étudiées. Cette étude est allée plus loin en appréciant les revenus supplémentaires issus de l'association des cultures intercalaires après le labour. Ainsi, le taux marginal de rentabilité de l'arachide est de 56,4 % et celui du maïs est de 47,1 %. Les travaux de Kodjo & N'djolossè (2013) confirment alors une bonne rentabilité des investissements consentis en deux ans.

D'après le support de vulgarisation sur l'entretien et la gestion des plantations de GTZ (2011), les éclaircies sont nécessaires lorsque les branches des arbres se touchent ou s'enchevêtrent, étant donné que les fleurs ne se forment que sur des branches qui ne se touchent pas. Aussi, l'association des cultures annuelles à la plantation d'anacardier permet de valoriser l'espace, d'améliorer la productivité des arbres, de diversifier le revenu d'exploitation et d'entretenir à moindre coût la plantation.

Toutefois, Tchétangni et al. (2016) précisent que les rendements en noix de cajou varient selon les conditions écologiques et les techniques culturales. La dimension écologique permet de comprendre que les données collectées diffèrent d'un village à un autre et d'une commune à une autre.

Tous ces résultats sont des sujets d'encouragement pour la mise en application des bonnes pratiques, mais malheureusement peu de producteurs se donnent la peine d'investir dans ces opérations. En témoigne le rapport de Sédjro & Sanni-Agata (2002) : « l'entretien des plantations est la contrainte majeure de plus de 70 % des planteurs [...] ». De même Téblékou et al. (2001) abondent dans le même sens en disant : « les questions spécifiques relatives aux entretiens (nettoyage des parcelles et des abords de pistes), aux protections (ouverture des pare-feux ou allumage des feux précoces, lutte contre le vol, les ravageurs ou les parasites et les incendies de forêt), aux surveillances et gardiennages demeurent posées. »

Selon cet auteur, toutes les revues scientifiques et techniques, et particulièrement les mémoires disponibles et accessibles, ont décrit dans les moindres détails les mesures à prendre. Mais la difficulté reste la mise en pratique. De ce point de vue, cette étude a permis de lever le doute des producteurs et des membres du groupe de contact. La multiplication de ces Unités de Démonstration couplée à la vulgarisation doit donc être promue pour encourager les planteurs en général et les membres des coopératives à entretenir les plantations. Le taux de sondage sur l'application de ces innovations est de plus de 70%. Toutefois, il faut souligner que cette enquête ne tient pas compte de la mise en œuvre des acquis de formation sur toutes les parcelles des personnes enquêtées et il faut aussi considérer les nombreuses formations données avant cette étude par les Organisations Paysannes et ONG avec l'appui des Partenaires Techniques et Financiers (PTFs).

5. CONCLUSIONS

Les bonnes pratiques d'entretien et de gestion des plantations constituent une thématique à vulgariser pour l'amélioration du rendement et de la qualité des noix brutes de cajou. Par ailleurs, ces activités constituent des préalables à la bonne récolte au niveau des vergers.

Après la formation des producteurs des groupes de contact des communes de Nikki, Pèrèrè, N'dali et Tchaourou dans le Borgou sur les bonnes pratiques, la collecte de données a été réalisée sur les unités de démonstration afin de comparer le rendement et la qualité entre les parcelles témoin et de démonstration.

Les résultats issus des pesées et de la détermination du grainage et KOR, ainsi que les analyses comparatives, constituent des bases scientifiques de gestion et d'entretien des plantations d'anacardières. Ainsi, les résultats montrent que la qualité et le rendement des plantations sont améliorés avec les bonnes pratiques de gestion et d'entretien. L'approche participative de la mise en œuvre a permis aux producteurs participants de se rendre à l'évidence en voyant les résultats et de faire une réplique dans leurs plantations. Il importe de mener dans la suite des activités en vue d'évaluer l'impact des changements climatiques sur la production des plantations et les stratégies d'adaptation.

Bibliographie

- Adégbola P.Y., Oloukoï L. & Sossou H.C., 2005. *Analyse de la compétitivité de la filière anacarde au Bénin*. Rapport technique final, PAPA/INRAB, Bénin.
- Agboton C. et al., 2014. Insect fauna associated with *Anacardium occidentale* (Sapindales: Anacardiaceae) in Benin, West Africa. *Journal of Insect Science*, **14**(1), 229, DOI: 10.1093/jisesa/ieu091.
- GTZ, 2011. *Les bonnes pratiques d'entretien et de gestion des vergers d'anacardières*. Support de Vulgarisation et d'Appui-Conseil, ProCGRN & iCA.
- INRAB, 1996. *Plan directeur de la recherche agricole du Bénin. Vol 2- Première partie*. Plan de développement à long terme, ISNAR, 1996.
- INSAE, 2004. *Annuaire Statistique 2002-2004*. Direction du Traitement de l'Information et des publications.
- Kodjo S. & N'djlossè K., 2013. *Effet des éclaircies de vergers d'anacardières et des associations culturelles sur les rendements en noix au Bénin*. Conférence ACA, Accra, Ghana, 16-19 septembre 2013.
- PADA, 2016. *Recensement des producteurs d'anacarde, des vergers d'anacardières et des unités de transformation de cajou au Bénin*. Rapport technique.
- Russel D.C., 1970. *Traitement des noix d'acajou*. Bulletin des services agricoles n° 6 de la FAO.
- Sèdjro M.A. & Sanni-Agata L., 2002. Analyse du secteur de l'anacarde : Situation actuelle et perspective de développement. Projet No.INT/W3/69. Centre du Commerce International CNUCED/OMC (CCI), Cotonou.
- Tandjiékpon A., 2005. *Caractérisation du système agroforestier à base d'anacardier (Anacardium occidentale) en zone de savane au Bénin*. Thèse de DEA.
- Tandjiékpon A., 2010. *Analyse de la Chaîne de Valeur du Secteur Anacarde du Bénin*. ICA, Bénin.
- Tchétangni Y.A., Assogbadjo A.E. & Houéhanou T., 2016. Perception paysanne des effets du changement climatique sur la production des noix d'anacardier (*Anacardium Occidentale* L.) dans la commune de Savalou au Bénin. *European Scientific Journal*, **12**(14), 1857-7881.
- Téblékou K., Tandjiékpon A. & Dah-Dovonon J.Z., 2001. Techniques de création et de gestion des plantations d'anacardier. Document synthèse URF/PADSE.

6. Effet de la fumure organo-minérale et minérale sur la productivité et la teneur en nutriments des produits d'anacardier au Bénin

Ibouraïman Balogoun^{(1,2)*}, Aliou Saïdou⁽¹⁾, Olaïtan Diane Bernice Biaou⁽¹⁾, Tamègnon Roland Montcho⁽¹⁾, Léonard Essehou Ahoton⁽³⁾, Orou Daouda Bello⁽¹⁾, Guillaume Lucien Amadji⁽¹⁾, Bonaventure Cohovi Ahohuendo⁽³⁾, Sévérin Babatoundé⁽⁴⁾, Daniel Chougourou⁽⁵⁾, Adam Ahanchede⁽³⁾

⁽¹⁾ Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, École des Sciences et Techniques de Production Végétale, Laboratoire des Sciences du Sol, Unité de Recherche Gestion Intégrée des Sols et des Cultures, 03 BP 2819 RP Cotonou, Bénin

⁽²⁾ Université Nationale d'Agriculture, École de Gestion et de Production Végétale et Semencière, BP 43 Kétou, Bénin

⁽³⁾ Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, École des Sciences et Techniques de Production Végétale, Laboratoire de Biologie Végétale, 03 BP 2819 RP Cotonou, Bénin

⁽⁴⁾ Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, École des Sciences et Techniques de Production Animale, Laboratoire de Zootechnie, 03 BP 2819 RP Cotonou, Bénin

⁽⁵⁾ Université d'Abomey-Calavi, École Polytechnique d'Abomey-Calavi, Département de Génie de l'Environnement, Laboratoire de Recherche en Biologie Appliquée, 01 BP 2009 Cotonou, Bénin

*E-mail auteur correspondant : iboualogoun@gmail.com ou iboualogoun@yahoo.fr

Description du sujet. L'anacardier est cultivé au Bénin sans apport d'engrais avec un faible rendement comme conséquence.

Objectifs. La présente étude vise à évaluer l'effet d'une fumure organo-minérale et minérale sur la productivité et la teneur en nutriments des produits.

Méthode. Des arbres de quatre et huit ans d'âge ont été fertilisés au cours de deux campagnes de production (2013-2014 et 2014-2015) dans les plantations paysannes du village d'Adourékoman au centre du Bénin. Les traitements T_0 , T_1 et T_2 ont été appliqués. T_0 est le témoin absolu sans engrais, T_1 est la fumure minérale seule et T_2 est la fumure organique + minérale. Les rendements en noix et pommes ainsi que la teneur des nutriments dans les produits de l'anacardier ont été évalués.

Résultats. Au cours de la campagne 2013-2014, la fumure minérale a induit les rendements en noix significativement ($p < 0,05$) plus élevés ($1,22 \pm 0,12$ et $0,94 \pm 0,21$ kg/arbre respectivement pour les arbres de 4 et 8 ans d'âge) comparativement aux autres traitements. Au cours de la campagne agricole 2014-2015, c'est la fumure organo-minérale qui a induit les rendements en noix significativement ($p < 0,05$) plus élevés ($1,94 \pm 0,15$ et $2,72 \pm 0,22$ kg/arbre respectivement pour les arbres de 4 et 8 ans d'âge) comparativement aux autres traitements. Des teneurs significativement élevées en N, P et K dans les amandes et les pommes ont été obtenues au niveau des arbres fertilisés avec la fumure organo-minérale.

Conclusions. L'utilisation de la fumure minérale et organo-minérale permettra alors de compenser durablement les exportations de nutriments et augmenter le rendement de l'anacardier.

Effect of organo-mineral and mineral fertilizers on productivity and nutrients content of cashew in Benin

Description of the subject. In Benin, cashew is mostly cultivated without fertilizer application. This situation affects the durability of the cropping systems knowing that soils are poor.

Objectives. The present study aims to assess the effect of mineral fertilizer and combined organic and mineral fertilizer on the productivity of cashew trees and nutrients content of the tree products.

Method. Cashew trees of farmers' plantation of four and eight years old were fertilized during two growing seasons (2013-2014 and 2014-2015) in the village of Adourekoman in centre of Benin. Fertilizer treatments considered were: control without fertilizer (T_0), mineral fertilizer (T_1), and combined organic and mineral fertilizer (T_2). Nut and apple yields and nutrients content in the apple, kernel and husk were assessed.

Results. During the period from 2013 to 2014, mineral fertilizer treatment has induced significantly ($p < 0.05$) higher nut yields (1.22 ± 0.12 and 0.94 ± 0.21 kg/tree respectively for cashew trees of 4 and 8 years old) compared with the other treatments. Furthermore, in the period from 2014 to 2015, the combined organic and mineral fertilizer induced significantly ($p < 0.05$) high nut yields (1.94 ± 0.15 and 2.72 ± 0.22 kg/tree respectively for cashew trees of 4 and 8 years old) compared with the other treatments. The highest N, P and K contents in the apple and the kernel were obtained with the combined organic and mineral fertilizer treatment.

Conclusions. The use of mineral and organo-mineral manure could allow to replenish nutrients taken up and increase the yield of cashew.

1. INTRODUCTION

Au Bénin, la production de l'anacardier est strictement minière avec une quasi inexistence d'apport d'intrants spécifiques pour l'amélioration de la fertilité des sols (Balogoun et al., 2014). En conséquence, le niveau de rendement en pommes et en noix dans les plantations paysannes n'excède pas 300 kg/ha (Balogoun et al., 2014). Cette situation affecte considérablement la durabilité de ces systèmes de production agricole en ce sens que les nutriments exportés annuellement par les noix ne sont pas restitués au sol allant contre les lois de la fertilisation des sols. De plus, les sols destinés à la culture de l'anacardier sont ceux réservés à la jachère après de longues années d'exploitation pour les autres spéculations (Balogoun et al., 2015a). Cet état de baisse de fertilité des sols en zone soudano-guinéenne (Saïdou et al., 2012a; Saïdou et al., 2012b) est la cause majeure de la faible productivité des arbres d'anacardier en zone tropicale (Balogoun et al., 2015b). En effet, l'amélioration de la productivité de ces arbres et celle de la quantité de nutriments dans les fruits nécessitent le développement des pratiques de gestion intégrée de la fertilité des sols avec un accent sur l'amélioration du stock de matière organique, source de la dégradation des sols tropicaux (Sanchez & Jama, 2002; Amadji et al., 2009).

En Afrique, des travaux en matière de fertilisation de l'anacardier existent avec des résultats encourageants (O'Farrell et al., 2000; Grundon, 2001; Adéjumon, 2010). Ces études ont démontré que l'anacardier répond positivement à l'application des engrais minéraux bien que les réponses soient significativement affectées par l'âge de la plante, le génotype, les conditions de production (sol et climat) et la gestion de la culture (Bezerra et al., 1999). L'application régulière des éléments nutritifs majeurs (azote, phosphore et potassium) est bénéfique pour l'augmentation du rendement en noix de cajou (Fernandopulle, 2000; Huber & Thompson, 2007). Aussi, l'application des engrais minéraux complexes permet-elle à la plante de résister aux maladies et améliore également le rendement de l'arbre (Huber & Thompson, 2007). O'Farrell et al. (2000) ont montré que l'azote appliqué durant la phase végétative améliore la qualité commerciale des noix et amandes de l'anacardier ainsi que leur rendement. Les recherches effectuées par Grundon (1999) indiquent que l'application de 288 g de phosphore/arbre/an et 176 g de soufre/arbre/an augmente le rendement de noix cajou de 6,8 kg en plus du rendement habituel par arbre.

Au Bénin, en dehors du palmier à huile, très peu d'études existent sur la fertilisation des cultures pérennes, en particulier l'anacardier. La présente étude vise à évaluer l'effet de la fertilisation minérale et organo-minérale sur la productivité en noix et pommes d'anacarde et la teneur en N, P, K, Ca et Mg des produits de l'anacardier. De façon spécifique, il s'agit de : i) évaluer l'effet de la fumure minérale et organo-minérale sur le rendement en noix et en pommes cajou considérant les catégories d'âge des arbres, et ii) tester l'effet de la fumure minérale et organo-minérale sur les teneurs en nutriments (N, P, K, Ca et Mg) dans les pommes, les amandes et les coques en prenant en compte les deux catégories d'âge d'arbre.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 Description du milieu d'étude

La présente étude a été conduite au centre du Bénin dans le village de Adourekoman (Commune de Glazoué) située à $7^{\circ}91'58''$ de latitude Nord, à $2^{\circ}27'30''$ de longitude Est et à 152 m d'altitude. La commune de Glazoué a été choisie suivant l'importance des superficies emblavées pour l'anacardier et la production de noix au Bénin. La zone d'étude est sous l'influence du climat de transition entre le subéquatorial au sud et le soudanien au nord. La pluviométrie moyenne annuelle varie de 960 à 1256 mm et la température moyenne annuelle varie entre 24 et 29°C (Balogoun et al., 2016). Les sols sont majoritairement de types ferrugineux tropicaux lessivés formés sur des roches cristallines du Précambrien (granite et gneiss) classés comme Ferric Lixisol (FAO, 1990). Les caractéristiques chimiques du sol avant l'installation de l'essai sont consignées dans le tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques chimiques (moyenne \pm écart type) du sol du site expérimental avant l'installation de l'essai – *Soil characteristics (mean values \pm standard errors) of experimental site before trial*

Profondeur de sol (cm)	pH(eau)	pH(KCl)	C-Organique (g/kg)	N Total (g/kg)	P assimilable (mg/kg)	K échangeable (cmol/kg)
0-20	6,31 \pm 0,04	5,39 \pm 0,05	11,09 \pm 0,47	1,25 \pm 0,08	39,14 \pm 5,58	0,86 \pm 0,05
20-40	6,35 \pm 0,04	5,44 \pm 0,05	8,27 \pm 0,33	0,93 \pm 0,08	39,24 \pm 5,50	0,82 \pm 0,04
40-60	6,37 \pm 0,05	5,33 \pm 0,05	6,68 \pm 0,33	0,97 \pm 0,08	42,77 \pm 6,07	0,85 \pm 0,04

2.2 Matériels utilisés

Des engrais minéraux simples – KCl (60 % de K_2O), super triple phosphate (46 % P_2O_5) et urée (46 % N) – ont été utilisés pour la fertilisation des arbres d'anacardier. Le fumier constitué de déjections bovines a été utilisé comme fumure organique compte tenu de sa disponibilité en termes de quantité dans la zone d'étude. Une balance électronique de marque Tefa et de portée 3 kg a été utilisée pour peser les engrais minéraux, une balance de marque Weiheng de portée 40 kg pour les noix et les pommes et une balance de poche à ressort de portée 50 kg pour le fumier.

2.3. Choix des plantations et installation des essais

Les arbres étudiés ont été identifiés à la suite d'un inventaire forestier des plantations d'anacardier réalisé de juin à juillet 2013 (Chabi et al., 2015). Ils ont été choisis en tenant compte de l'uniformité de l'âge des arbres, du fait que les doses d'engrais recommandées sont fonction de ce facteur. Ainsi, des arbres de quatre et huit ans ont été sélectionnés au cours de la première saison (2013-2014). Cela voudrait dire que ces arbres sont âgés respectivement de 5 et 9 ans au cours de la deuxième saison (2014-2015). Les informations sur l'âge des plantations d'anacardier ont été fournies par le producteur sur la base de la date de repiquage des plants achetés auprès des pépiniéristes de la région. Douze arbres par catégorie d'âge ont été choisis à titre de répétition pour la collecte des données. Trois traitements présentés ci-dessous ont été considérés :

T0 : Plants témoins sans apport d'engrais ;

T1 : Plants fertilisés avec engrais minéral ;

T2 : Plants fertilisés avec engrais minéral et organique (fertilisation organo-minérale).

Le tableau 2 présente les quantités de fertilisants apportées par arbre selon les âges.

Tableau 2. Doses de fertilisants et quantités d'engrais minéraux apportées par arbre d'anacardier considérant l'âge des plantations pour le traitement T1 – *Mineral fertilizers rate and quantities brought per cashew tree regarding plantation age for treatment T1*

Saison de production	Âge des plantations (années)	Doses de nutriments (g/arbre)*			Quantités (g) d'engrais minéral simple apportées par arbre		
		N	P	K	Urée	TSP	KCl
2013-2014	4	289	217	144	628	1081	290
	8	364	273	364	791	1360	731
2014-2015	5	356	267	178	774	1330	357
	9	364	273	364	791	1360	731

* Source : Tandjiékpon et al. (2005)

L'unité expérimentale était constituée de 2 catégories d'âges \times 3 traitements \times 12 répétitions, soit au total 72 arbres. Les doses de fumure appliquées sont celles recommandées par les services de vulgarisation pour l'anacardier au Bénin (Tandjiékpon et al., 2005). Le calcul de la quantité de fumier apportée a été fait sur base de sa composition chimique. La teneur en nutriments du fumier utilisé se présente comme suit : N-total (3,29 g/kg), C-organique (255,41 g/kg), K (48,24 g/kg) et P (1,22 g/kg). La dose d'engrais organique apportée pour le traitement T2 a été calculée dans l'hypothèse d'un apport équitable des nutriments majeurs sous la forme minérale et organique. À cet effet, les calculs ont été faits considérant la composition en nutriments du fumier, la quantité de nutriments

apportée sous la forme d'engrais minéral au niveau du traitement T1 et du taux moyen de minéralisation annuelle de 2 % en zone tropicale (Pieri, 1989). Le complément de nutriments majeurs (N, P et K) par rapport à l'équivalent du traitement T1 a été fait sous la forme d'engrais minéral. Pour y parvenir, des engrais simples (urée 46 % N; TSP 46 % P₂O₅ et KCl 60 % K₂O) ont été utilisés. Le tableau 3 présente les quantités de fumier bovin apportées par arbre et par catégorie d'âge pour le traitement T2.

Tableau 3. Quantités de fumier de bovin apportées et teneur en fertilisants par arbre considérant l'âge des plantations pour le traitement T2 – *Quantities of cattle manure and fertilizers rate brought per tree regarding plantation age for treatment T2.*

Saison de production	Âge des plantations (années)	Quantité de fumier apportée (kg/arbre)	Complément par les engrais minéraux (g/arbre)			Quantités d'engrais (g) apportées par arbre		
			N	P	K	Urée	TSP	KCl
2013-2014	4	355,5	205,1	194,04	35,93	445	965	71
	8	589,5	222,75	234,92	184,8	484	1170	372
2014-2015	5	355,5	272,1	244,04	69,93	592	1215	140
	9	589,5	222,75	234,92	184,8	484	1170	372

2.4 Conduite des essais

Avant l'apport des engrais, un profil racinaire a été réalisé au niveau de certains arbres pour apprécier la distribution racinaire. La plupart des racines se trouvait dans un rayon de 1,5 m du tronc et distribuée entre 35-40 cm de profondeur. Ainsi, l'application de l'engrais a été faite à la limite de la couronne foliaire des arbres et à une profondeur de 40 cm sur la base des résultats de l'observation du profil racinaire. Puis les trous d'application ont été refermés afin de limiter les pertes par volatilisation et par lessivage.

2.5 Méthodes de collecte des données

Les paramètres de rendement mesurés ont concerné les poids des noix et des pommes cajou par arbre. L'estimation des rendements en noix et en pommes par arbre a été faite pendant toute la période de production de fruits et ceci au cours des saisons de production 2013-2014 et 2014-2015. Ainsi, les noix ont été quotidiennement ramassées puis pesées séparément pour la détermination de la production par arbre. Le ratio poids pommes/poids noix a été calculé à partir de dix fruits choisis au hasard afin de déterminer le poids des pommes à partir du poids total des noix.

2.6 Analyses chimiques des produits d'anacardier

Les échantillons de pommes et de noix récoltées ont été constitués, pré-séchés au soleil sur le terrain puis à l'étuve à 65 °C au laboratoire des Sciences du sol de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi. Compte tenu de leur nature périssable, les pommes ont été dans un premier temps découpées en lamelles avant le pré-séchage au soleil afin de réduire leur teneur en eau. Ensuite, un séchage à l'étuve a été effectué jusqu'à poids constant (96 heures). Les échantillons de noix ont été décortiqués pour la récupération des amandes et des coques. Les amandes et les coques ont été mises séparément dans des enveloppes en papier puis pesées. Chaque partie du fruit a été broyée à l'aide d'un mortier en fer pour les analyses au laboratoire. Au total, 72 échantillons par type de produits (pommes, amandes et coques) ont été constitués. Les analyses ont été effectuées au Laboratoire des Sciences du Sol, Eau et Environnement de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (LSSEE/INRAB) accrédité ISO 17025 et ont porté sur la détermination :

- de l'azote total par la méthode de Kjeldahl, consistant en une digestion humide en présence de H₂SO₄ et du sélénium. Après digestion, le substrat est distillé par entraînement de la vapeur en présence de NaOH 1N suivi d'une titration avec l'acide sulfurique (H₂SO₄) 0,1N;
- du phosphore total par la méthode de Duval consistant à la calcination de l'échantillon à 550 °C pendant une nuit. La cendre est recueillie dans une solution de HNO₃ 1N, l'ensemble est légèrement chauffé puis filtré dans une fiole. Le filtrat est coloré avec le molybdate d'ammonium en présence de l'acide ascorbique et l'intensité de la coloration est déterminée par colorimétrie à la longueur d'onde de 660 nm;
- du potassium, calcium et magnésium total par spectrophotométrie à absorption atomique. Le reste des extraits obtenus à partir de la cendre recueillie dans la solution de HNO₃ 1N a été utilisé pour ces déterminations.

2.7 Analyses statistiques des données

Le logiciel Microsoft Excel (version 10) a été utilisé pour la saisie et le traitement des données. Les analyses de la variance ont été effectuées à partir du modèle linéaire général du logiciel *Statistical Analysis System* (SAS version 9.2). Pour les rendements en noix et pommes, le modèle d'analyse de variance utilisé est un modèle mixte à deux facteurs (saison de production et type d'engrais) par catégorie d'âge des arbres au démarrage de l'essai. Par rapport à la concentration des nutriments dans les pommes, les amandes et les coques de la campagne 2014-2015, le modèle d'analyse de variance utilisé est le modèle fixe à deux facteurs (âge de l'arbre et type d'engrais). Le test de Student Newman-Keuls au seuil de 5 % a été utilisé pour la comparaison des moyennes.

3. RÉSULTATS

3.1 Effet des différents types d'engrais sur le rendement en noix et en pommes cajou

Les résultats de l'analyse de la variance considérant la saison de production et les types d'engrais appliqués (Tableau 4) montrent que la saison de production a eu un effet significatif ($p < 0,05$ et $p < 0,001$) sur les rendements en pommes et en noix de l'anacardier quel que soit l'âge des arbres. L'application d'engrais a également eu un effet significatif ($p < 0,05$ et $p < 0,01$) sur les rendements en pommes et en noix quel que soit l'âge des arbres.

La figure 1 illustre le niveau des rendements en noix et en pommes considérant la saison de production, l'âge des arbres et le type d'engrais appliqué. Il ressort de l'analyse des résultats de cette figure que les rendements en noix et en pommes étaient en général plus élevés au cours de la saison 2014-2015 comparativement à la production des arbres au cours de la saison 2013-2014. Au cours de la saison de production 2013-2014, les rendements en noix et en pommes les plus élevés étaient obtenus avec l'apport de la fumure minérale quel que soit l'âge des arbres (Figure 1) : $1,15 \pm 0,27$ et $0,94 \pm 0,27$ kg de noix/arbre respectivement pour les arbres de quatre et huit ans d'âge. En ce qui concerne la production de pommes, l'apport de la fumure minérale avait également favorisé des rendements plus élevés ($13,11 \pm 2,25$ et $10,66 \pm 1,90$ kg de pommes/arbre respectivement pour les arbres de quatre et huit ans d'âge).

Tableau 4. Résultats de l'analyse de la variance à deux facteurs (valeurs de F) des rendements noix et pommes de l'anacardier considérant la saison de production et les types d'engrais appliqués aux arbres de 4 et 8 ans d'âge – *Results of two way-ANOVA (F values) of nut and apple production regarding the production season and the fertilizer types brought for the 4 and 8 tree age.*

Sources de variation	Degré de liberté	Rendements en noix		Rendements en pommes	
		4 ans	8 ans	4 ans	8 ans
Saison	1	7,51**	27,81***	4,20*	15,14***
Engrais	2	5,10*	9,05**	5,92*	6,79**
Saison x Engrais	2	0,73 ns	3,76 ns	0,07 ns	1,19 ns

ns : non significatif au seuil de 5 % ; * : significatif au seuil de 5 % ; ** : très significatif au seuil de 5 % ; *** : très hautement significatif au seuil de 5 % – ns: not significant at 5% ; *: significant at 5% ; **: very significant at 5% ; ***: very highly significant at 5%.

Par ailleurs, au cours de la saison de production 2014-2015, les rendements en noix et en pommes les plus élevés ont été obtenus avec la fumure organo-minérale quel que soit l'âge des arbres (Figure 1) : $1,95 \pm 0,16$ et $2,72 \pm 0,21$ kg de noix/arbre respectivement pour les arbres ayant quatre et huit ans au démarrage de l'essai. En ce qui concerne la production de pommes, l'apport de la fumure organo-minérale a également favorisé des rendements considérables ($18,55 \pm 1,24$ et $25,37 \pm 2,36$ kg de pomme/arbre respectivement pour les arbres de 4 et 8 ans au démarrage de l'essai).

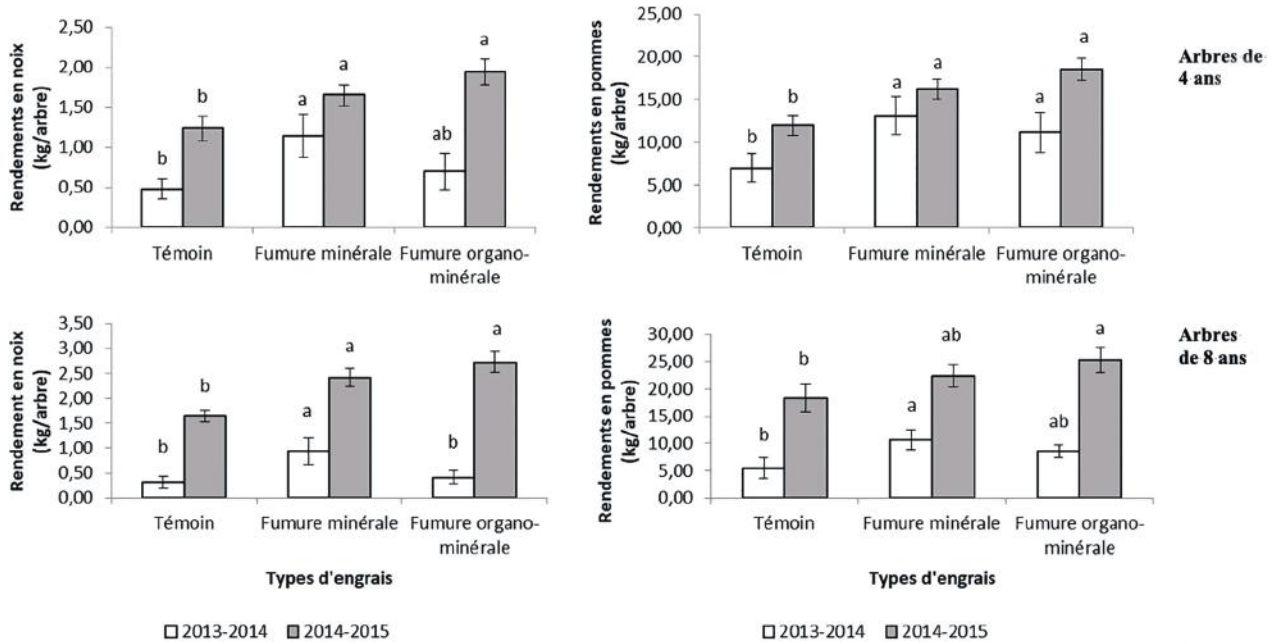


Figure 1. Effet de l’application d’engrais sur les rendements en noix et en pommes de l’anacardier considérant la saison de production des arbres de 4 ans et 8 ans d’âge – *Effect of fertilizers applied on nuts and apples production regarding the production season for 4 and 8 years old of cashew tree.*

Les barres représentent les erreurs standards par type de fumure considérant la saison de production. Les barres portant la même lettre alphabétique ne sont pas significativement différentes ($p > 0,05$) selon le test de Student Newman Keuls – *Vertical bars denote standard errors per fertilizer type regarding the production season. Bars labeled with the same letter are not significantly different ($p > 0,05$) according to Student Newman-Keuls test.*

3.2 Effet des différents types d’engrais sur la teneur en nutriments dans les produits de l’anacardier

Les résultats de l’analyse de la variance considérant l’âge de l’arbre au démarrage de l’essai et l’application d’engrais sur la teneur en nutriments dans les produits de l’anacardier sont présentés dans les tableaux 5 et 6. L’analyse des résultats de ces tableaux montre que l’âge des arbres a eu un effet significatif ($p < 0,05$ à $p < 0,001$) sur la teneur en N, P, K, Ca et Mg dans les pommes. L’application d’engrais n’a eu d’effet significatif ($p < 0,05$) que sur la teneur en P. Par contre, l’interaction âges des plants et application d’engrais a été significative ($p < 0,05$ et $p < 0,01$) pour tous les nutriments à l’exception de la teneur en N et Ca dans les pommes.

De plus, l’âge des arbres affecte de façon hautement significative ($p < 0,001$) la teneur des nutriments dans les amandes à l’exception de N et K. Les types d’engrais ont significativement ($p < 0,05$ et $p < 0,001$) affecté la teneur des nutriments dans les amandes à l’exception de K. Par contre, l’interaction âges des arbres et types d’engrais était très significative ($p < 0,01$ et $p < 0,001$) pour tous les nutriments à l’exception de N et Ca dans les amandes.

L’âge des arbres affecte très significativement ($p < 0,01$ et $p < 0,001$) la concentration du K, Ca et Mg dans la coque. Les résultats montrent également que les types d’engrais n’ont eu d’effet significatif ($p < 0,05$ et $p < 0,001$) que sur les teneurs de N et P. Par ailleurs, l’interaction âge des arbres et types de fumure appliquée a été significative ($p < 0,05$ et $p < 0,001$) uniquement sur les teneurs de N, P et Ca dans la coque.

Le tableau 7 présente la concentration des nutriments dans les produits de l’anacardier considérant l’âge de l’arbre et le type d’engrais appliqué. En général, les fortes concentrations en N, Ca et Mg dans les pommes ont été obtenues avec l’apport de la fumure organo-minérale. À l’exception de la teneur en N, les teneurs moyennes des nutriments étaient plus élevées au niveau des arbres de huit ans avec l’apport de la fumure minérale pour P et K ($0,28 \pm 0,08$ et $2,88 \pm 0,51$ g/kg respectivement) avec l’apport de la fumure organo-minérale pour Ca et Mg ($0,59 \pm 0,04$ et $0,98 \pm 0,15$ g/kg respectivement). Par contre, la plus forte valeur de N ($23,64 \pm 3,11$ g/kg) était obtenue au niveau des arbres de quatre ans avec l’apport de la fumure organo-minérale.

En ce qui concerne les amandes de l’anacardier, les fortes valeurs de N et Ca étaient obtenues au niveau des arbres de huit ans avec l’apport de la fumure organo-minérale ($42,84 \pm 0,57$ et $0,29 \pm 0,06$ g/kg respectivement).

Tableau 5. Résultats de l'analyse de la variance à deux facteurs (valeurs de F) de la concentration de N, P et K dans les produits de l'anacardier considérant l'âge de l'arbre et l'application de l'engrais – *Results of two way-ANOVA (F values) of N, P and K content in cashew products regarding the tree age and the fertilizer types brought*

Source de variation	Degré de liberté	N			P			K		
		Pomme	Amande	Coque	Pomme	Amande	Coque	Pomme	Amande	Coque
Âge de l'arbre	1	10,79**	3,74 ns	4,30 ns	39,38***	112,17***	8,08*	39,20***	0,33 ns	39,67***
Engrais	2	2,70 ns	5,92*	6,22*	4,30*	21,78***	14,17***	3,60 ns	1,59 ns	1,62 ns
Âge x Engrais	2	0,04 ns	1,78 ns	4,59*	9,27 **	23,92***	23,36***	6,75*	10,55**	0,88 ns

ns : non significatif au seuil de 5 % ; * : significatif au seuil de 5 % ; ** : très significatif au seuil de 5 % ; *** : très hautement significatif au seuil de 5 % – ns: not significant at 5% ; * : significant at 5% ; ** : very significant at 5% ; *** : very highly significant at 5%.

Tableau 6. Résultats de l'analyse de la variance à deux facteurs (valeurs de F) de la concentration de Mg et Ca dans les produits de l'anacardier considérant l'âge de l'arbre et l'application de l'engrais – *Results of two way-ANOVA (F values) of Mg and Ca content in cashew products regarding the tree age and the fertilizer types brought*

Source de variation	Degré de liberté	Mg			Ca		
		Pomme	Amande	Coque	Pomme	Amande	Coque
Âge de l'arbre	1	19,44***	79,78***	10,26**	7,30*	69,00***	0,0002***
Engrais	2	2,00 ns	23,45***	1,28 ns	1,80 ns	17,10***	0,7938 ns
Âge x Engrais	2	5,32*	15,79***	1,99 ns	3,11 ns	0,81 ns	0,0120*

ns : non significatif au seuil de 5 % ; * : significatif au seuil de 5 % ; ** : très significatif au seuil de 5 % ; *** : très hautement significatif au seuil de 5 % – ns: not significant at 5% ; * : significant at 5% ; ** : very significant at 5% ; *** : very highly significant at 5%.

Par contre, les fortes valeurs de P et Mg étaient observées au niveau des arbres de huit ans avec l'apport de la fumure minérale ($0,67 \pm 0,09$ et $0,82 \pm 0,07$ g/kg respectivement). La plus forte valeur de K ($1,61 \pm 0,98$ g/kg) était obtenue au niveau des arbres de quatre ans avec l'apport de la fumure minérale. En général, les teneurs moyennes des nutriments dans les amandes étaient plus élevées au niveau des arbres de huit ans comparativement à celles des arbres de quatre ans.

Concernant la coque de la noix cajou, les valeurs élevées de N, P et Ca ont été obtenues au niveau des arbres de huit ans avec l'apport de la fumure organo-minérale ($10,08 \pm 0,75$; $0,18 \pm 0,01$ et $0,68 \pm 0,10$ g/kg respectivement). Par contre, les fortes teneurs de K et Mg étaient obtenues au niveau des arbres de huit ans avec l'apport de la fumure minérale ($2,43 \pm 0,38$ et $0,97 \pm 0,11$ g/kg respectivement). D'une manière générale, les concentrations moyennes des nutriments dans la coque de la noix cajou étaient plus élevées au niveau des arbres de huit ans comparativement à ceux de quatre ans.

Tableau 7. Effet des différents types d'engrais sur la concentration de N, P, K, Mg et Ca (valeurs moyennes \pm erreurs standards) dans les produits de l'anacardier considérant les types d'engrais appliqués et l'âge de l'arbre – *Effect of fertilizers types on N, P, K, Mg and Ca content (mean values \pm standard errors) in cashew products regarding the fertilizer types brought and the tree age.*

Produits de l'arbre	Âge de l'arbre	Types de fumure	Nutriments (g/kg)				
			N	P	K	Mg	Ca
Pommes	4 ans	Témoin	20,34 \pm 0,94a	0,09 \pm 0,03a	1,18 \pm 0,44a	0,71 \pm 0,07a	0,48 \pm 0,01a
		Fumure minérale	19,32 \pm 0,72a	0,06 \pm 0,02a	1,02 \pm 0,41a	0,63 \pm 0,08a	0,42 \pm 0,03a
		Fumure organo-minérale	23,64 \pm 3,11a	0,06 \pm 0,01a	0,84 \pm 0,25a	0,63 \pm 0,05a	0,45 \pm 0,02a
		Moyenne	21,10 \pm 1,15A	0,07 \pm 0,01B	1,01 \pm 0,20B	0,66 \pm 0,04B	0,45 \pm 0,01B
		Témoin	16,00 \pm 1,06a	0,10 \pm 0,01b	1,40 \pm 0,16b	0,71 \pm 0,06a	0,47 \pm 0,01a
	8 ans	Fumure minérale	14,77 \pm 0,76a	0,28 \pm 0,08a	2,88 \pm 0,51a	0,98 \pm 0,15a	0,50 \pm 0,04a
		Fumure organo-minérale	18,38 \pm 3,16a	0,22 \pm 0,03ab	2,63 \pm 0,37a	1,10 \pm 0,10a	0,59 \pm 0,04a
		Moyenne	16,38 \pm 1,13B	0,20 \pm 0,03A	2,30 \pm 0,28A	0,93 \pm 0,07A	0,52 \pm 0,02A
		Témoin	33,78 \pm 1,82b	0,05 \pm 0,02b	0,19 \pm 0,03b	0,07 \pm 0,02b	0,10 \pm 0,01b
		Fumure minérale	38,43 \pm 1,55ab	0,09 \pm 0,01b	1,61 \pm 0,98a	0,11 \pm 0,02b	0,11 \pm 0,01b
Amandes	4 ans	Fumure organo-minérale	42,00 \pm 1,35a	0,35 \pm 0,07a	1,05 \pm 0,16ab	0,55 \pm 0,08a	0,18 \pm 0,02a
		Moyenne	38,07 \pm 1,31A	0,16 \pm 0,05B	0,95 \pm 0,35A	0,25 \pm 0,07B	0,13 \pm 0,01B
		Témoin	39,94 \pm 1,64a	0,31 \pm 0,05b	0,76 \pm 0,13c	0,42 \pm 0,06b	0,18 \pm 0,02b
		Fumure minérale	39,20 \pm 1,30a	0,67 \pm 0,09a	1,39 \pm 0,08a	0,82 \pm 0,07a	0,24 \pm 0,01ab
		Fumure organo-minérale	42,84 \pm 0,57a	0,44 \pm 0,11b	1,03 \pm 0,28b	0,66 \pm 0,18ab	0,29 \pm 0,06a
	8 ans	Moyenne	40,66 \pm 0,81A	0,48 \pm 0,07A	1,06 \pm 0,12A	0,63 \pm 0,08A	0,23 \pm 0,02A
		Témoin	8,82 \pm 0,51a	0,14 \pm 0,02a	1,05 \pm 0,11a	0,64 \pm 0,04a	0,35 \pm 0,03a
		Fumure minérale	7,49 \pm 0,35a	0,06 \pm 0,01b	1,20 \pm 0,11a	0,90 \pm 0,05a	0,44 \pm 0,05a
		Fumure organo-minérale	8,06 \pm 0,47a	0,08 \pm 0,02b	1,28 \pm 0,08a	0,65 \pm 0,08a	0,28 \pm 0,03a
		Moyenne	8,13 \pm 0,29A	0,09 \pm 0,01B	1,18 \pm 0,06B	0,73 \pm 0,05B	0,36 \pm 0,03B
Coques	8 ans	Témoin	8,44 \pm 0,28b	0,09 \pm 0,01b	1,91 \pm 0,24a	0,92 \pm 0,15a	0,55 \pm 0,05a
		Fumure minérale	7,91 \pm 0,43b	0,09 \pm 0,01b	2,43 \pm 0,38a	0,97 \pm 0,11a	0,49 \pm 0,07a
		Fumure organo-minérale	10,08 \pm 0,75a	0,18 \pm 0,01a	2,04 \pm 0,20a	0,93 \pm 0,11a	0,68 \pm 0,10a
		Moyenne	8,81 \pm 0,39A	0,12 \pm 0,01A	2,13 \pm 0,16A	0,94 \pm 0,07A	0,57 \pm 0,05A
		Témoin	8,13 \pm 0,29A	0,09 \pm 0,01B	1,18 \pm 0,06B	0,73 \pm 0,05B	0,36 \pm 0,03B

Les moyennes suivies des mêmes lettres alphabétiques et de même caractère par type de produit ne sont pas significativement différentes ($p > 0,05$) selon le test de Student Newman-Keuls – *Means followed by the same alphabetic letter of same character per product type are not significantly ($p > 0,05$) different according to Student Newman-Keuls test.*

4. DISCUSSION

4.1 Fertilisation et amélioration des rendements en noix et en pommes de l'anacardier

La fumure organo-minérale a amélioré significativement la production des noix et des pommes de l'anacardier quelle que soit la saison de production. Ces résultats pourraient s'expliquer par le fait que les engrais minéraux, à cause de leur caractère soluble, libèrent de façon immédiate les nutriments nécessaires à la croissance et au développement des arbres. Ouattara (2009) a montré l'effet bénéfique de l'apport d'engrais minéral sur la croissance et la production des cultures. Les arbres ayant reçu la fumure minérale ont certainement utilisé les nutriments de manière optimale, ce qui a entraîné un développement et un métabolisme accrus à leur niveau, avec pour corollaire une plus grande production de fruits. En effet, les sols qui reçoivent régulièrement des engrais donnent de bonnes réponses à l'apport de ces derniers et permettent d'obtenir des rendements plus élevés (Morel et al., 1994 ; Bertrand & Gigou, 2000). Il est à remarquer que l'engrais organique a permis une amélioration du stock d'humus, des propriétés physiques du sol et de la CEC avec pour conséquence un stock consistant de nutriments et d'eau, ce qui a probablement permis une meilleure utilisation des engrais minéraux en combinaison avec le fumier. La minéralisation de l'engrais organique a permis la libération progressive des nutriments dans le temps, ce qui a été très bénéfique pour la plante. De plus, en dehors des macronutriments contenus dans l'engrais organique, il est connu qu'il contient également des micronutriments tels que le Ca et Mg dont l'arbre a besoin pour la formation du fruit. Or, les engrais minéraux en dehors des macronutriments n'ont pas pu fournir ces micronutriments en complément de ceux apportés par le sol. Par ailleurs, le niveau de fertilité des sols ferrugineux tropicaux lessivés étant faible, les plantes pérennes qui y poussent profitent alors de la structure de leur système racinaire pour exploiter les nutriments dans les horizons de profondeur, ce qui fait que l'on ne s'aperçoit pas souvent des manifestations des signes de carences nutritionnelles.

En général, les rendements élevés obtenus au niveau des arbres les plus âgés suite à l'apport d'engrais se justifient par la quantité élevée de nutriments recommandée, la taille (grandeur) de l'arbre et le taux des différentes hormones dans la plante. Ainsi, les besoins en nutriments de l'anacardier augmentent en fonction de l'âge de l'arbre (Grundon, 1998 ; Azam-Ali & Judge, 2001 ; Tandjiékpon et al., 2005 ; Mandal, 2006). Toutefois, il est recommandé d'apporter les engrais depuis les jeunes plants – c'est-à-dire dès l'âge d'un an – afin que l'engrais puisse favoriser une bonne croissance et un bon développement de la plante (Mandal, 2006). Mais les arbres concernés par notre étude n'ont jamais été fertilisés avant la mise en place de notre essai.

Les rendements en noix et en pommes étaient en général plus élevés en 2014-2015 comparativement à la saison de production 2013-2014. La faible production de fruits par arbre obtenue durant la première campagne de notre travail pourrait résulter de l'effet des différents facteurs climatiques qui ont beaucoup influencé la production (Balogoun et al., 2016). La raison selon les auteurs est qu'un grand nombre de fleurs hermaphrodites conduisant à la production des fruits ont été affectées par l'harmattan (dessèchement des fleurs) ou les vents violents (chute des fleurs). Il est alors tout à fait évident que le rendement soit également affecté. Au cours de cette saison de production, il a été observé que les fleurs de la plupart des arbres n'ont pas évolué pour donner des fruits. Ainsi, au cours de la période de la floraison durant la première campagne (mi-janvier 2014), deux pluies successives ont été enregistrées sur le site avec quelques jours d'harmattan comme l'ont notifié les travaux de Balogoun et al. (2016). Ces deux jours de pluie ont affecté la floraison et par conséquent la production. Il a aussi été observé qu'au cours de la même campagne la majorité des arbres n'avait pas produit une quantité importante de fleurs. La venue de l'harmattan dans cette même période a provoqué le dessèchement de certaines fleurs et l'avortement d'autres. Par ailleurs, la libération progressive des nutriments contenus dans l'engrais organique a été très bénéfique pour la plante durant la saison de production 2014-2015. L'effet de l'engrais apporté serait donc ressenti à partir de la deuxième saison de production.

Les résultats de ce travail montrent la nécessité d'une gestion intégrée de la fertilité des sols pour ces cultures pérennes afin de soutenir le niveau de production des plantes. Toutefois, les producteurs doivent être sensibilisés afin de commencer la fertilisation des plants depuis le stade plantule pour une meilleure croissance et un développement harmonieux de l'arbre.

4.2 Fertilisation et amélioration de la teneur en nutriments des produits de l'anacardier

Les résultats de ce travail ont montré que la fumure organo-minérale a augmenté la concentration des nutriments dans les produits d'anacardier surtout au niveau des arbres les plus âgés. Ces résultats pourraient s'expliquer par les fortes teneurs en éléments dans les engrais appliqués à ces arbres. Ainsi, plus la quantité d'éléments nutritifs apportée est importante, plus la plante en prélève (Maba, 2007) jusqu'à atteindre le niveau de consommation de

luxe. Mais ici, étant en présence d'une espèce pérenne, l'on ne pourrait dire si ce niveau de consommation de luxe est atteint. La dynamique des éléments prélevés par la plante est assez complexe. L'absorption des minéraux va de pair avec la croissance des plantes, mais les vitesses de mobilisation et d'absorption varient en fonction de l'âge de la plante et elles ne sont pas les mêmes pour tous les éléments (Maba, 2007). L'azote est un des éléments les plus utilisés par les plantes (Bado, 2002). Étant le constituant essentiel des protéines, il intervient dans les principaux processus du développement de la plante et de détermination du niveau du rendement (FAO, 2003). Les concentrations élevées d'azote obtenues dans les amandes (33,46 à 43,68 g/kg de N) sont très proches de celles obtenues par Hammed et al. (2011) qui ont trouvé 46,7 g/kg de N dans les amandes d'anacardier au Nigéria. Les valeurs obtenues sont supérieures à celles trouvées par Richards (1993) et Kernot (1998) qui sont respectivement de 0,65 g/kg de N et 13,80 g/kg de N dans les amandes d'anacardiers âgés de 3 et 5 ans. En ce qui concerne le P et le K, les valeurs trouvées dans le cadre de cette étude dans les amandes (0,06 à 0,80 g P/kg et 0,15 à 1,49 g K/kg) sont inférieures à celles trouvées par Kernot (1998) qui sont de 2,00 g P/kg et 6,50 g K/kg. Les différences observées pourraient s'expliquer d'une part par le type de sol et, d'autre part, par l'âge des plants, le type d'engrais et les doses appliquées aux plants selon l'âge.

Les résultats de nos travaux ont révélé des concentrations de N dans les pommes variant entre 13,89 g/kg et 24,46 g/kg. Ces valeurs sont supérieures à celles trouvées par Mohapatra et al. (1973) et Kernot (1998) qui étaient respectivement de 6,16 g N/kg et 8,50 g N/kg. Les valeurs de P et K dans les pommes (0,03 à 0,24 g P/kg et 0,36 g/kg à 2,87 g K/kg) sont inférieures aux résultats des travaux de Mohapatra et al. (1973) et Kernot (1998) qui sont respectivement 0,85 g P/kg et 3,90 g K/kg contre 1,30 g P/kg et 8,5 g K/kg. Ces variations des valeurs obtenues pourraient s'expliquer par la différence de matériel génétique. Ainsi, les variétés améliorées ont été utilisées par ces différents auteurs dans le cadre de leurs travaux comparativement aux variétés traditionnelles sur lesquelles la présente étude s'est focalisée. Cela voudrait dire que les variétés traditionnelles d'anacardier du Bénin valorisent au mieux l'azote prélevé avec pour conséquence de forte teneur dans le fruit.

Les fortes teneurs de nutriments obtenues dans les pommes avec la fumure organo-minérale montrent que l'apport de ces types d'engrais contribue à l'amélioration de la qualité des sols à travers la richesse en nutriments des pommes et à la durabilité des systèmes de production. Par ailleurs, il est à remarquer que, dans la pratique des producteurs, les pommes ne sont pas valorisées et par conséquent elles sont laissées au champ après que les noix aient été retirées (Balogoun et al., 2014). Ces pommes pourries restituent en partie les nutriments exportés par l'arbre à travers le recyclage de la litière. Seuls les nutriments contenus dans la noix sont exportés du système. Pour le respect des lois de la fertilisation des sols, dans le contexte actuel de gestion des plantations et des produits de l'anacardier dans les plantations paysannes du Bénin, c'est cette quantité de nutriment dans la noix qui doit être restituée au sol à travers les pratiques de fertilisation.

Les présents résultats démontrent la nécessité de fertiliser les plantations d'anacardier du Bénin en vue de parer à une dégradation en nutriments des sols dans les zones de production. Une pratique de gestion intégrée de la fertilité des sols permet, comme nos résultats l'ont bien démontré, non seulement d'améliorer la qualité des produits, mais également une meilleure valorisation de l'engrais minéral appliqué en combinaison à l'engrais organique. Une gestion durable des plantations d'anacardier du Bénin visant des produits de meilleure qualité passe par la promotion de cette forme de technologie de gestion des terres.

En général, les résultats de la présente étude montrent que les producteurs d'anacardier s'adonnent à une agriculture minière, c'est-à-dire sans apport d'un minimum d'engrais. Mais, compte tenu de la nature du sol des zones de culture de l'arbre, une application d'engrais organo-minéral permet de compenser durablement les exportations de nutriments des noix.

5. CONCLUSIONS

La fumure organo-minérale a amélioré significativement la production des noix et des pommes de l'anacardier quelle que soit la saison de production. Les rendements en noix et en pommes sont en général plus élevés la deuxième saison comparativement à la première saison de production de l'arbre suite à l'application des engrais. Par ailleurs, les rendements en noix et en pommes les plus élevés ont été obtenus avec l'apport de la fumure organo-minérale (précisément durant la saison de production 2014-2015) quel que soit l'âge des arbres. La fumure organo-minérale a amélioré significativement la concentration des nutriments dans les produits de l'anacardier surtout au niveau des arbres les plus âgés.

Il est nécessaire de fertiliser les plantations d'anacardier du Bénin avec la fumure organo-minérale non seulement pour améliorer la productivité des arbres et la qualité des produits, mais aussi pour valoriser efficacement l'engrais minéral appliqué en combinaison et contribuer à la durabilité des systèmes de production. Cette forme de

technologie de gestion des terres est alors fondamentale pour une gestion durable des plantations d'anacardier du Bénin afin de compenser durablement les exportations de nutriments des noix.

Remerciements

Les auteurs expriment leurs sincères remerciements au Programme de Fonds Compétitifs de Recherche (PFCR) de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC) qui a financé les présents travaux de recherche à travers le projet «Biodiversité et valorisation agroalimentaire des produits de l'anacardier au Bénin (PROANAC)». Nos sincères remerciements vont également à l'endroit de la Fondation Internationale pour la Science (IFS en anglais) basée en Suède pour les ressources additionnelles à travers la bourse N° D/5767-1 pour la finalisation de cette étude.

Bibliographie

- Adéjumon T.O., 2010. Effect of NPK fertilization on yield and inflorescence blight of cashew (*Anacardium occidentale* L.). *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development*, **2**(5), 66-70.
- Amadji L.G., Saïdou A. & Chitou L., 2009. Recycling of organic residues in compost to improve coastal sandy soil properties and cabbage shoot in Benin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **3**(2), 192-202.
- Azam-Ali S.H., Judge E.C., 2001. Small-scale cashew nut processing. FAO, Rome, 80 p.
- Bado B.V., 2002. Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du Burkina-Faso. Thèse de doctorat : Université de Laval (Québec), 197 p.
- Balogoun I. et al., 2014. Caractérisation des systèmes de production à base d'anacardier dans les principales zones de culture au Bénin. *Agronomie africaine*, **26**(1), 9-22.
- Balogoun I. et al., 2015a. Diagnostic et axes de recherche pour exploitation rationnelle de l'anacarderaie au Bénin. *Annales des Sciences Agronomiques*, volume spécial **19**(2), 29-52.
- Balogoun I. et al., 2015b. Soil fertility and biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with cashew's (*Anacardium occidentale* L.) cultivars characteristics in Benin (West Africa). *International Journal of Plant and Soil Science*, **5**(1), 50-63.
- Balogoun I. et al., 2016. Effect of climatic factors on cashew (*Anacardium occidentale* L.) productivity in Benin (West Africa). *Earth Science and Climatic Change*, **7**(1), 329-338.
- Bertrand R. & Gigou J., 2000. La fertilité des sols Tropicaux. Edition *Maisonneuse & Larose*. Paris, 397 p.
- Bezerra F.C., Fragoso H.A. & Hernandez F.F.F., 1999. Avaliação do estado nutricional de cajueiro anão - precoce, clones CP-76 e CP-09. *Revista Brasileira Fruit*, **21**, 208-211.
- Chabi S.K. et al., 2015. Morphological characterization and agronomic performances of cashew (*Anacardium occidentale* L.) accessions from Benin. *Journal of Agricultural and Crop Research*, **3**(2), 27-40.
- FAO, 1990. FAO-UNESCO Soil Map of the World. Revised Legend. Soils Bulletin No 60, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italie, 199 p.
- FAO, 2003. Les engrais et leur application. Quatrième édition. Food and Agriculture Organization (FAO), Rome, Italie, 81 p.
- Fernandopulle M.N., 2000. Fertilizer use in cashew. *Cashew Bulletin*, **3**(1), 1-6.
- Grundon N.J., 1998. Fertilizing cashews: validation of fertilizer strategies in North Queensland. RIRDC Publication N° 98/122, 42 p.
- Grundon N.J., 1999. Cashew Nuts in North Queensland Respond to Phosphorus and Sulfur fertilizers. *Better Crops International*, **13**, 22-24.
- Grundon N.J., 2001. A destok study to predict fertilizer requirements of cashew trees in Northern Australia. A Technical Report Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) Land and water. *Tropical Forest Research Centre*, 19 p.
- Hammed L.A., Lawal B. & Kolapo K.A., 2011. Growth and nutrient uptake of cashew (*Anacardium occidentale* L.) seedlings as affected by nut-size in nursery. *African Journal of Agricultural Research*, **6**(17), 3962-3971.
- Huber D.M. & Thompson I.A., 2007. Nitrogen and plant disease. In: Datnoff, Elmer & Huber (eds.). *Mineral Nutrition and Plant Disease*. APS. Press, St. Paul, MN, pp. 31-44.
- Kernot I., 1998. Cashew: Information kit. Queensland: Department of Primary Industries. (Agrilink series QAL 9806).
- Maba B., 2007. Identification des éléments nutritifs majeurs et des stratégies appropriées de fertilisation sous culture de maïs dans l'Ogou-Est. Mémoire d'Ingénieur Agronome, Université de Lomé (Togo), 90 p.
- Mandal R.C., 2006. World Fertilizer use manual. *IFA-Publication-Manuel, Cashew*, 3 p.
- Mohapatra A.R., Kumar K.V. & Bhat N.T., 1973. A study on nutrient removal by cashew tree. *Indian Cashew Journal* **7**, 19-20.
- Morel C., Tiessen H., Moir J.O. & Stewart J.W.B., 1994. Phosphorus transformations and availability under cropping and fertilization assessed by isotopic exchange. *Soil Science Society of America Journal*, **58**, 1439-1445.

- O'Farrell P., Armour J. & Reid D., 2000. The effect of nitrogen on cashew in north Queensland. RIRDC Publication, Australia, N° 00/24, 54 p.
- Ouattara N.D., 2009. Étude comparative de l'influence de la fertilisation minérale et organique sur la productivité du cultivar à baies allongées de *Lagenaria siceraria*. Mémoire de Master, Université d'Abobo-Adjamé (Côte d'Ivoire), 80 p.
- Pieri C., 1989. Fertilité des terres de savanes : Bilan de trente ans de recherches et de Développement agricoles au sud du Sahara. Ministère de la Coopération et CIRAD-IRAT, Paris, 444 p.
- Richards N.K., 1993. Cashew tree yield, growth and macronutrient status, as influenced by fertilizer application. Cashew Research in Northern Territory, Australian, 1987-1991. NT. Department of Primary Industry and Fisheries Technical Bulletin, **202**, 1-16.
- Saïdou A. et al., 2012a. Effect of farmers practices of fertilizer application and land use types on subsequent maize yield and nutrients uptake in central Benin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **6**(1), 365-378.
- Saïdou A. et al., 2012b. Effet d'un système agroforestier à karité (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn) sur le sol et le potentiel de production du maïs (*Zea maize*) en zone Soudanienne du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Science*, **6**(5), 2066-2082.
- Sanchez P.A. & Jama B.A., 2002. Soil fertility replenishment takes off in East and Southern Africa. In: Vanlauwe B., Diels J., Sanginga N. & Merckx R. (eds). *Integrated plant nutrient management in Sub-Saharan Africa: from concept to practice*. CAB International. pp. 23-45.
- Tandjiékpon A.M. et al., 2005. Mieux produire l'anacarde au Bénin : Référentiel technico-économique, 2^{ème} édition. Edition INRAB, ISBN 99919-57-28-6, 63 p.

7. Effet des champignons mycorhiziens arbusculaires sur la croissance de l'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) au Bénin

Ibouraïman Balogoun ^{(1,2)*}, Aliou Saïdou ⁽¹⁾, Todègnon Jacques Ghislain Dossou ⁽¹⁾, Léonard Essehou Ahoton ⁽³⁾, Orou Daouda Bello ⁽¹⁾, Guillaume Lucien Amadji ⁽¹⁾, Bonaventure Cohovi Ahohuendo ⁽³⁾, Sévérin Babatoundé ⁽⁴⁾, Daniel Chougourou ⁽⁵⁾, Adam Ahanchede ⁽³⁾

⁽¹⁾ Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, École des Sciences et Techniques de Production Végétale, Laboratoire des Sciences du Sol, Unité de Recherche Gestion Intégrée des Sols et des Cultures, 03 BP 2819 RP Cotonou, Bénin

⁽²⁾ Université Nationale d'Agriculture, École de Gestion et de Production Végétale et Semencière, BP 43 Kétou, Bénin

⁽³⁾ Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, École des Sciences et Techniques de Production Végétale, Laboratoire de Biologie Végétale, 03 BP 2819 RP Cotonou, Bénin

⁽⁴⁾ Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, École des Sciences et Techniques de Production Animale, Laboratoire de Zootechnie, 03 BP 2819 RP Cotonou, Bénin

⁽⁵⁾ Université d'Abomey-Calavi, École Polytechnique d'Abomey-Calavi, Département de Génie de l'Environnement, Laboratoire de Recherche en Biologie Appliquée, 01 BP 2009 Cotonou, Bénin

*E-mail auteur correspondant : iboualogoun@gmail.com ou iboualogoun@yahoo.fr

Description du sujet. L'anacardier est cultivé au Bénin sans apport d'engrais. Le niveau de production de l'arbre varie avec l'âge de l'anacardier.

Objectifs. La présente étude vise à évaluer la contribution des Champignons Mycorhiziens Arbusculaires (CMA) associés à l'anacardier pour la croissance des jeunes plants et des arbres.

Méthode. L'essai a été conduit en deux phases à savoir : une phase d'essai en pots de jeunes plants d'anacardier et une autre phase d'évaluation *in situ*. Le dispositif expérimental mis en œuvre pour l'essai en pots était un bloc aléatoire complet avec six répétitions.

Résultats. Les différents genres de CMA utilisés ont différents effets sur les paramètres de croissance de l'anacardier. L'association de *Glomus* avec *Scutelospora* et *Acaulospora* a induit la plus forte croissance en hauteur des plants à partir de 60 jours après plantation. Le traitement *Glomus* et l'association *Glomus* + *Scutelospora* + *Acaulospora* ont induit la plus forte teneur en azote. La teneur en phosphore la plus élevée a été obtenue avec le genre *Glomus*. Une forte corrélation positive mais non significative ($r = 0,723$; $p > 0,05$) a été observée entre le taux de colonisation des racines et le poids des noix d'anacardier.

Conclusions. *Glomus* et l'association *Glomus* + *Scutelospora* + *Acaulospora* sont efficaces pour l'amélioration de la croissance et le développement des jeunes plants d'anacardier.

Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth of cashew (*Anacardium occidentale* L.) in Benin

Description of the subject. Cashew is mostly cultivated in Benin without fertilizer application. The production level varies with the age of the tree. However, we note a certain cashew production in spite of the tree's perennity.

Objectives. The present study aims to assess the contribution of Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) associated with cashew for seedlings and trees growth.

Method. The trial was conducted in two phases: pot experiment with soil from cashew plantation and an *in situ* assessment. The experimental design of the pot trial was a randomized complete block with six replications.

Results. AMF species had different effects on the growth parameters of the cashew's trees. Association of *Glomus*, *Scutelospora* and *Acaulospora* induced the highest plants height after 60 days after planting. *Glomus* and association of *Glomus* with

Scutelospora and *Acaulospora* produced the highest nitrogen content. The highest phosphorus content was induced by *Glomus* treatment.

Conclusions. *Glomus* and *Glomus* with *Scutelospora* and *Acaulospora* were effective in enhancing growth and development of cashew plantlets.

1. INTRODUCTION

La baisse de la fertilité des sols qui conduit à leur épuisement constitue la contrainte majeure de la production agricole (Adégbola & Arouna, 2004 ; Igue et al., 2013) face à laquelle de bonnes pratiques agricoles sont requises pour des mesures de restauration. La baisse de la fertilité des sols se manifeste par une dégradation chimique des sols notamment l'épuisement en éléments minéraux.

Plusieurs approches sont proposées pour la restauration des sols (Adégbola & Adékambi, 2006 ; Roose, 2007), mettant l'accent sur la préservation des micro-organismes qui vivent dans le sol. Les champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) font partie de la population des microorganismes de la rhizosphère. Ce sont des organismes qui vivent en symbiose avec les racines d'une plante et sont capables de mobiliser grâce à leur connexion hyphale avec le sol, de l'azote, du phosphore et d'autres substances minérales au profit de la plante hôte (Béreau et al., 2003). Les mycorhizes apparaissent comme des sites privilégiés d'absorption, d'accumulation et de recyclage du phosphore immobilisé dans le sol (Mousain et al., 1997).

Au Bénin, sept espèces de CMA appartenant à quatre genres (*Acaulospora*, *Scutelospora*, *Entrophosphora* et *Glomus*) ont été identifiées dans des sols sous plantation d'anacarde (Balogoun et al., 2015a). Ces champignons ont montré un rôle important dans le maintien ou l'amélioration des rendements cultureux (Saïdou et al., 2009).

Selon Diop et al. (2013), l'inoculation avec les champignons endomycorhiziens améliore la croissance des plants de niébé (*Vigna unguiculata*). Les mycorhizes stimulent généralement la croissance des plantes hôtes, en particulier dans les sols où la disponibilité en éléments minéraux est faible (Mousain et al., 1997) et améliore la résistance des plantes au stress hydrique (Laminou Manzo et al., 2009). De plus, l'utilisation des genres de champignons mycorhiziens arbusculaires identifiés sous plantation d'anacarde sur le maïs montre une certaine amélioration de sa croissance (Balogoun et al., 2015b).

L'étude a pour finalité d'identifier les genres de CMA qui améliorent les performances agronomiques de l'anacardier en vue de les valoriser dans le cadre de la production d'inoculum pour la culture d'anacarde. Plus spécifiquement, elle vise à évaluer la contribution des champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) associés à l'anacardier pour la nutrition minérale et la croissance des jeunes plants d'anacardier.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Milieu d'étude

L'étude a été conduite en deux phases. Une évaluation *in situ* a porté sur les racines de jeunes plants d'anacardier dans des plantations paysannes situées au Centre-Bénin, notamment dans la commune de Glazoué et plus précisément dans le village Adourékoman. La commune est située à environ 234 km de Cotonou et localisée entre 7°91'58" N et 2°27'30"E. Les sols sont de types ferrugineux tropicaux.

La seconde phase a été la conduite d'un essai en pots. Les plants sont mis en pots sur des échantillons de sol prélevés sous plantation d'anacardier située à Adourékoman. Les échantillons de sol ont été collectés suivant la dominance de chaque genre de CMA identifié après le dénombrement réalisé par Balogoun et al. (2015a).

2.2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans le cadre de la présente étude est constitué de plants d'anacardier. Pour l'essai en pots, des plants en pots de deux mois ont été achetés au Centre de Recherches Agricoles de Savè pour la conduite des expérimentations. Pour l'évaluation *in situ*, de jeunes plants d'anacardier âgés de 6 à 10 ans et ayant reçu de la fumure organo-minérale ont été sélectionnés dans les plantations paysannes suivant leurs caractéristiques agro-morphologiques à savoir : le diamètre à hauteur de poitrine d'homme (DBH), la couleur des pommes (jaune ou rouge) produites par l'arbre ainsi que la taille des noix et des pommes.

2.3. Prélèvement d'échantillons de sol

Le prélèvement d'échantillons de sol a été fait sous chaque anacardier sélectionné du point de vue des caractéristiques agro-morphologiques, à une profondeur de 0-20 cm, suivant les directions nord-sud et est-ouest et ont été mélangés afin d'obtenir un échantillon composite représentatif par arbre. Environ 15 kg de sol ont été collectés par prélèvement.

Les échantillons de sol prélevés ont servi à faire des analyses chimiques au laboratoire et la seconde partie a été utilisée pour l'essai en pot. Le but de l'essai en pots avec de jeunes plants d'anacardier est l'appréciation de l'effet des microorganismes directement sur la nutrition minérale en ce qui concerne la mobilisation de l'azote total, du phosphore total et du potassium, la croissance en hauteur, la circonférence du collet, le nombre de feuilles apparues et la biomasse aérienne de feuilles et tiges, ainsi que la proportion du nombre de racines colonisées par les CMA selon la méthode de Brundrett et al. (1996).

2.4. Analyses chimiques du sol

Les échantillons de sols prélevés sont conditionnés pour les analyses au laboratoire des Sciences du sol de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi (FSA/UAC). Les paramètres chimiques du sol analysés sont :

- le pH Eau par la méthode potentiométrique dans un rapport sol/eau distillée de 1/2,5 ;
- le pH KCl par la méthode potentiométrique dans un rapport sol/solution de KCl 1 N de 1/2,5 ;
- le phosphore assimilable suivant la méthode de Bray 1 ;
- l'azote total par la méthode de Kjeldahl.

2.5. Conduite de l'essai en pots

Les échantillons de sol collectés sont tamisés à travers un tamis de maille 2 mm. La capacité au champ a été déterminée au laboratoire de Biologie végétale et a consisté à verser à quatre reprises 100 ml d'eau sur 100 g de sol en utilisant un entonnoir et du papier filtre Whatman N° 14. La capacité au champ est obtenue par la différence entre les 100 ml d'eau ajoutée et la quantité moyenne d'eau qui a traversé le sol.

Ensuite, des fractions de 10 kg de sol sec sont pesées dans les pots. Le sol de chaque pot est arrosé et homogénéisé à 2/9 de la capacité au champ et les pots ne sont pas perforés afin d'éviter des pertes de spores de CMA par percolation. Pour chaque plant d'anacardier étudié, les quatre genres ou combinaisons de genres de CMA identifiés dans les échantillons de sol (Balogoun et al., 2015a) ont été utilisés comme traitement pour l'expérimentation en pot comme suit :

- ✓ *Glomus*
- ✓ *Glomus* + *Scutelospora*
- ✓ *Glomus* + *Scutelospora* + *Acaulospora*
- ✓ *Glomus* + *Scutelospora* + *Acaulospora* + *Entrophospora*

Le dispositif expérimental mis en place est un bloc aléatoire complet. Les traitements ont été répétés six fois avec un total de 24 pots.

2.6. Principales variables mesurées

La hauteur des plants, la circonférence du collet et le nombre de feuilles apparues ont été mesurés à partir de 30 jours après plantation. Ces paramètres ont été mesurés tous les 15 jours, c'est-à-dire au 30^{ème}, 45^{ème}, 60^{ème}, 75^{ème} et 90^{ème} jour après plantation. La mesure de la hauteur et de la circonférence au collet a été faite à l'aide d'un mètre ruban tandis que le nombre de feuilles apparues a été obtenu par comptage manuel.

Les plants d'anacardier de l'essai en pots ont été récoltés après 102 jours de culture. La récolte a consisté à prélever la biomasse aérienne constituée des tiges et des feuilles. Le poids frais de la biomasse a été mesuré à l'aide d'une balance électronique de précision 0,001. Ensuite, la biomasse a été mise à l'étuve à 65 °C pendant 72 heures au laboratoire. Ces échantillons ont été conservés pour la détermination des teneurs en nutriments.

Les racines des plants d'anacardier ont ensuite été collectées. Une partie des racines a été conservée au froid à 4 °C environ pour estimer le taux de colonisation. Le reste a été pesé et mis à l'étuve à 65 °C pendant 72 heures en vue de déterminer la teneur en éléments nutritifs.

2.7. Analyse du matériel végétal

Les échantillons de plants d'anacardier séchés comprenant la biomasse aérienne et la biomasse racinaire ont été broyés pour la détermination des teneurs en éléments nutritifs au Laboratoire des Sciences du Sol, Eau et Environnement (LSSEE) de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB). Les analyses ont consisté en la détermination de :

- l'azote total par la méthode de Kjeldahl ;
- le phosphore total par la méthode de Duval consistant en la calcination de l'échantillon à 550 °C pendant une nuit ;
- le potassium par la méthode de Metson.

2.8. Évaluation de la colonisation des racines par les CMA

Les racines fines (ayant un diamètre inférieur ou égal à 2 mm) de jeunes plants et d'arbres d'anacardier ont été prélevées. Pour les jeunes plants, les pots ont été vidés et les racines fines ont été prélevées. Pour les arbres, des trous de profondeur d'environ 20 cm ont été creusés de part et d'autre de l'arbre et les racines fines y ont été prélevées. Les racines ont été conservées dans des sachets en polyéthylène à une température de 4 °C. Ensuite, les racines échantillonnées ont été colorées selon la méthode décrite par Brundrett et al. (1996). Environ 1 g de racines d'anacardier ont été prélevées dans des flacons blanc et transparent, à couvercle. Dix millilitres de KOH à 10 % ont été ajoutés aux racines de manière à ce que toutes les racines soient immergées dans la solution. Les flacons ont été refermés et mis au bain-marie préalablement réglé à 90 °C pendant 15 min. Le contenu des flacons a été ensuite abondamment rincé à l'eau du robinet, puis 10 ml de H₂O₂ à 10 % ont été additionnés avant de laisser agir 10 min. Les racines ont été ensuite rincées avec l'eau du robinet. Enfin, 10 ml de la solution de Stain, constitué de 1 g de bleu de trypan dans un rapport 1 : 1 : 1 de glycérol, d'acide lactique et d'eau distillée, y ont été ajoutées. Après sept jours de conservation dans la solution, les racines ont été complètement colorées, ce qui a permis l'observation du contenu des racines. Le comptage a été fait avec un microscope de marque Optika et les résultats ont été exprimés en pourcentage de racines colonisées par les CMA. La proportion du nombre de racines colonisées par les CMA de chaque échantillon a été déterminée par la méthode décrite par Brundrett et al. (1996).

2.9. Évaluation de la productivité

La récolte des noix a été faite au niveau des arbres identifiés suivant les caractéristiques agro-morphologiques de l'anacardier au Bénin. Pour chaque arbre sélectionné, le nombre de noix tombées a été compté et pesé.

2.10. Analyses statistiques

Le logiciel Statistical Analysis System 9.2 (SAS v. 9.2) a été utilisé pour les analyses statistiques. Ces analyses ont essentiellement consisté en des analyses de variance à un facteur, qui est la combinaison des genres de CMA pour les données relatives aux paramètres de croissance et le taux de colonisation des racines. Pour obtenir des distributions normales, les valeurs du nombre de feuilles ont été transformées en log₁₀ (Dagnelie, 1998), et la valeur relativisée qu'est le taux de colonisation des racines par les CMA ont été transformées avec $2\text{Arcsin}\sqrt{n}$ (Dagnelie, 1998).

Le test de Student-Newman-Keuls au seuil de 5 % a été utilisé pour la séparation des moyennes. Le coefficient de corrélation de Pearson entre les taux de colonisation racinaire et le poids des noix d'anacardier a été déterminé avec le logiciel MINITAB 14.

3. RÉSULTATS

3.1. Caractéristiques du sol de l'essai en pot

Le tableau 1 présente les caractéristiques chimiques des sols prélevés et contenant les différentes espèces de CMA. Le pH Eau varie de 5,21 à 5,67 et le pH KCl varie de 4,22 à 5,02. Les sols dominés par les associations de *Glomus* avec *Scutelospora* et de *Glomus* avec *Scutelospora* et *Acaulospora* sont fortement acides et les sols dominés par *Glomus* et *Glomus* associé à *Scutelospora*, *Acaulospora* et *Entrophospora* sont moyennement acides. Concernant la teneur en nutriments, les sols dominés par *Glomus* associé à *Scutelospora* et *Acaulospora* et *Glomus* avec

Scutelospora, *Acaulospora* et *Enthrophospora* sont pauvres en azote, avec des valeurs comprises entre 0,5 et 1 g/kg. Les sols contenant *Glomus* et l'association de *Glomus* avec *Scutelospora* sont moyennement riches en azote avec des valeurs comprises entre 1 et 1,5 g/kg. Les quatre traitements ont une teneur en phosphore assimilable élevée, supérieure à 20 mg/kg. Ainsi, les sols contenant les espèces de CMA sont riches en phosphore.

Tableau 1. Caractéristiques chimiques du sol à 0-20 cm avant l'essai en pots – *Soil chemical properties at 0-20 cm depth before pot experiment.*

Traitements	pH Eau	pH KCl	P assimilable (mg/kg)	N total (g/kg)
<i>Glomus</i>	5,67	4,80	37,18	1,04
<i>Glomus</i> + <i>Scutelospora</i>	5,25	4,22	32,32	1,34
<i>Glomus</i> + <i>Scutelospora</i> + <i>Acaulospora</i>	5,21	4,36	36,62	0,78
<i>Glomus</i> + <i>Scutelospora</i> + <i>Acaulospora</i> + <i>Enthrophospora</i>	5,65	5,02	43,70	0,67

3.2. Effet des genres de CMA sur les paramètres de croissance

D'après les résultats de l'analyse de la variance, l'effet des genres de CMA sur la hauteur des plants à tous les stades de développement n'est pas significatif ($p > 0,05$). La figure 1 présente l'effet des différents genres de champignons mycorhiziens à arbuscules sur la croissance en hauteur à différentes périodes de développement

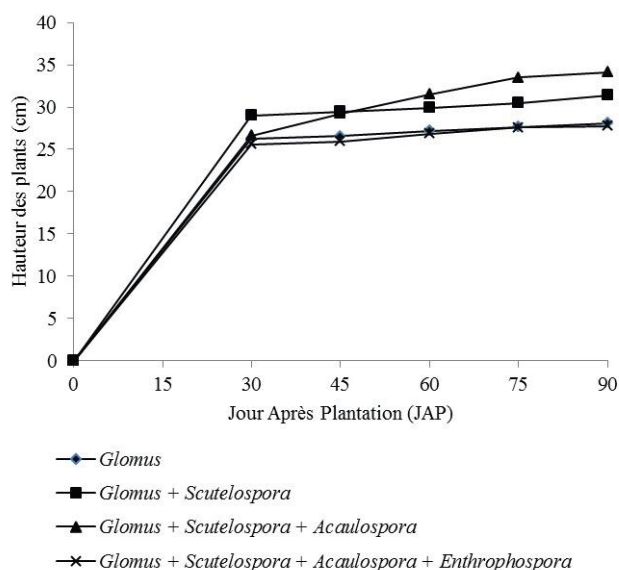


Figure 1. Effet des genres de CMA sur la hauteur des plants d'anacardier à différentes périodes de développement – *Effect of the AMF genus on cashew plant height in pot at different development periods.*

des résultats de cette figure met en évidence que l'association de *Glomus* avec *Scutelospora* a induit les plants les moins vigoureux aux différentes périodes de développement. À 45 JAP, le genre *Glomus* a induit les plants les plus vigoureux. Par contre, du 60^{ème} au 90^{ème} JAP, l'association *Glomus*, *Scutelospora*, *Acaulospora* et *Enthrophospora* a induit les plants plus vigoureux.

La figure 3 présente l'effet des différents genres de CMA sur la production de feuilles des plants d'anacardier

des plants d'anacardier. L'analyse de cette figure met en évidence que les plants les plus courts sont induits par l'association *Glomus*, *Scutelospora*, *Acaulospora* et *Enthrophospora* tout au long des différents stades de développement. Du 30^{ème} jour après plantation (JAP) au 45^{ème} JAP, les plants les plus hauts sont induits par *Glomus* associé à *Scutelospora*. Du 60^{ème} JAP au 90^{ème} JAP, les plants les plus hauts sont induits par *Glomus* associé à *Scutelospora* et à *Acaulospora*.

L'effet des différents genres de champignons mycorhiziens à arbuscules sur la circonférence au collet à différentes périodes de développement des plants d'anacardier est présenté à la figure 2. L'analyse

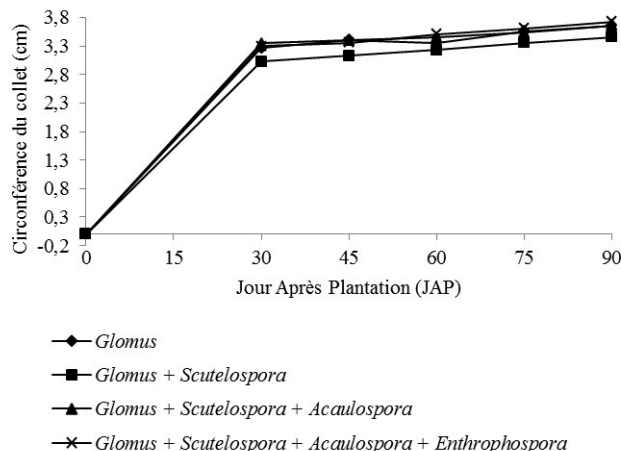


Figure 2. Effet des genres de CMA sur la circonférence au collet des plants d'anacardier à différentes périodes de développement – *Effect of the AMF genus on circumference at collar of cashew plant in pot at different development periods.*

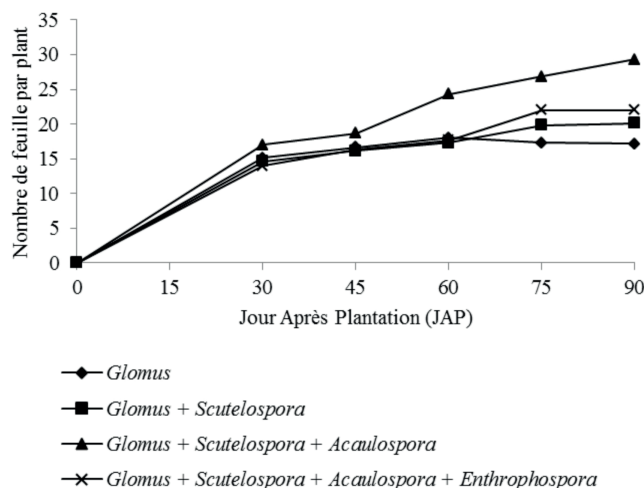


Figure 3. Effet des genres de CMA sur le nombre de feuilles des plants d'anacardier à différentes périodes de développement – *Effect of the AMF genus on leaves number of cashew plant in pot at different development periods.*

en pot. L'analyse de cette figure a permis de mettre en évidence que l'association *Glomus*, *Scutelospora* et *Acaulospora* a induit le nombre de feuilles le plus élevé à tous les stades de développement. À 30 JAP, l'association *Glomus*, *Scutelospora*, *Acaulospora* et *Enthrophospora* produit le nombre de feuilles le plus faible alors que c'est plutôt l'association *Glomus* et *Scutelospora* qui a induit le nombre de feuilles le plus faible du 45^{ème} JAP au 60^{ème} JAP. La différence entre les moyennes de nombre de feuilles aux différents stades de développement des plants est significative ($p < 0,05$) au 90^{ème} JAP.

3.3. Effet des genres de CMA sur la production de biomasse des plants d'anacardier en pot

Les résultats de l'analyse de variance ont montré que l'effet des différents genres de CMA sur la biomasse aérienne est significatif ($p < 0,05$). La figure 4 présente l'effet des différents genres de champignons mycorhiziens à arbuscules sur la production des

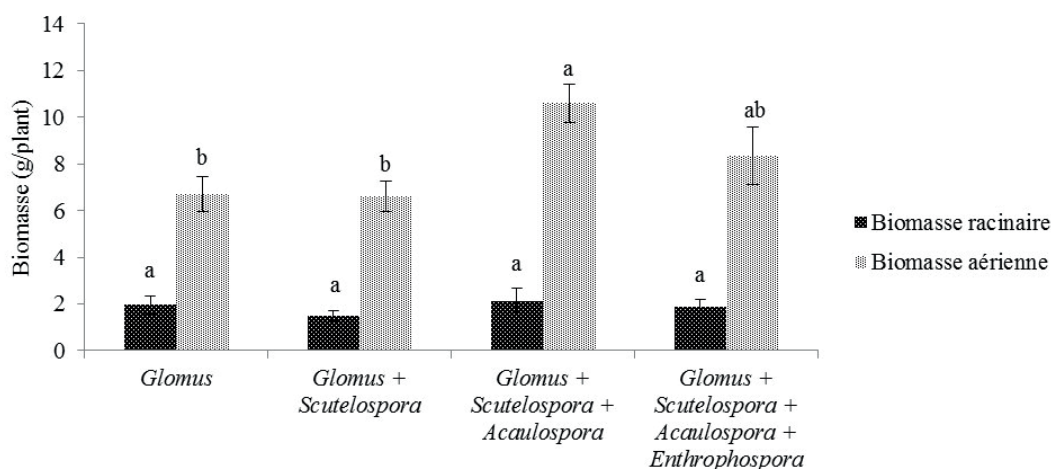


Figure 4. Biomasses racinaire et aérienne (g/plant) des plants d'anacardier en pots suivant les genres de CMA – *Root and aerial biomasses (g/plant) of cashew plant in pot regarding AMF genus identified under the cashew trees.*

biomasses aérienne et racinaire. Les résultats de cette figure montrent que l'association *Glomus*, *Scutelospora* et *Acaulospora* a induit la production de biomasses aérienne et racinaire les plus élevées, respectivement de $10,61 \pm 0,82$ g de MS/plant et de $2,13 \pm 0,52$ g MS/plant. Les valeurs moyennes de biomasses aérienne et racinaire les plus faibles, qui sont respectivement de $6,61 \pm 0,63$ g MS/plant et de $1,50 \pm 0,21$ g MS/plant, sont induites par l'association de *Glomus* avec *Scutelospora*.

3.4. Colonisation des racines des plants d'anacardier en pot par les champignons mycorhiziens à arbuscules

Les résultats de l'analyse de variance à un facteur considérant les genres de CMA montrent que ceux-ci n'ont pas d'effet significatif ($p > 0,05$) sur le taux de colonisation des racines des jeunes plants d'anacardier. Le tableau 2 présente les valeurs moyennes des taux de colonisation des racines. L'analyse de ce tableau révèle qu'il n'y a pas de différence significative ($p > 0,05$) entre les genres de CMA, mais le taux de colonisation le plus élevé, de $0,54 \pm 0,24$, est obtenu avec l'association *Glomus*, *Scutelospora*, *Acaulospora* et *Enthrophospora* et le taux le plus faible, de $0,21 \pm 0,13$, est obtenu avec l'association *Glomus* et *Scutelospora*.

Tableau 2. Taux moyens \pm écarts-types de colonisation des racines de jeunes plants d'anacardier en pots par les CMA identifiés dans les sols sous anacardier – *Root colonization average rates \pm standard errors of cashew plant by AMF identified in the soil under cashew trees.*

Traitements	Taux de colonisation des racines
<i>Glomus</i>	0,32 \pm 0,14a (0,05)
<i>Glomus</i> + <i>Scutelospora</i>	0,21 \pm 0,13a (0,03)
<i>Glomus</i> + <i>Scutelospora</i> + <i>Acaulospora</i>	0,32 \pm 0,14a (0,05)
<i>Glomus</i> + <i>Scutelospora</i> + <i>Acaulospora</i> + <i>Enthrophospora</i>	0,54 \pm 0,24a (0,13)

Les moyennes suivies de la même lettre alphabétique ne sont pas significativement différentes ($p > 0,05$) d'après le test de Student Newman-Keuls – *Means followed by the same alphabetic letter are not significantly ($p > 0.05$) different according to Student Newman-Keuls test.*

Les valeurs réelles entre parenthèses ont subi une transformation $2\text{Arcsin}\sqrt{n}$ avant l'ANOVA, n étant les valeurs réelles – *The real values in parenthesis were transformed by $2\text{Arcsin}\sqrt{n}$ before analysis of variance, n was the real values.*

3.5. Mobilisation des éléments nutritifs N, P et K par les CMA pour les plants d'anacardier

Les résultats de l'analyse de variance révèlent que l'effet des genres de champignons mycorhiziens sur la teneur en azote, phosphore et potassium dans la biomasse racinaire n'est pas significatif ($p > 0,05$). Par contre, cet effet est très hautement significatif ($p < 0,001$) sur la teneur en potassium des plants d'anacardier. Le tableau 3 présente les valeurs moyennes des teneurs en azote, phosphore et potassium des biomasses racinaire et aérienne des plants en pots suivant les différents genres de CMA. Le genre *Glomus* et l'association *Glomus*, *Scutelospora* et *Acaulospora* ont induit, respectivement pour la biomasse racinaire et la biomasse aérienne, la teneur en azote la plus élevée. La teneur en phosphore la plus élevée a été induite par le genre *Glomus*, aussi bien pour la biomasse racinaire que pour la biomasse aérienne. Enfin, la teneur en potassium la plus élevée a été induite par l'association *Glomus*, *Scutelospora*, *Acaulospora* et *Enthrophospora*, aussi bien pour la biomasse racinaire que pour la biomasse aérienne.

Tableau 3. Quantités moyennes \pm écarts-types de N, P et K mobilisées dans les biomasses racinaire et aérienne des plants d'anacardier en pot sous l'effet des CMA identifiés dans les sols sous anacardières – *Mean quantities \pm standard error of N, P and K uptaken in root and aerial biomasses by the cashew plant under the influence of AMF identified in the soil under cashew trees.*

Traitements	Biomasse racinaire			Biomasse aérienne		
	N (g/kg)	P (g/kg)	K (g/kg)	N (g/kg)	P (g/kg)	K (g/kg)
<i>Glomus</i>	14,04 \pm 1,83a	5,37 \pm 0,90a	5,34 \pm 0,58a	23,12 \pm 0,82a	3,12 \pm 0,56a	7,92 \pm 1b
<i>Glomus</i> + <i>Scutelospora</i>	12,50 \pm 1a	3,91 \pm 0,45a	5,84 \pm 0,68a	22,22 \pm 1,18a	1,73 \pm 0,32a	8,40 \pm 0,77b
<i>Glomus</i> + <i>Scutelospora</i> + <i>Acaulospora</i>	13,04 \pm 1,47a	4,80 \pm 0,80a	4,75 \pm 0,47a	25,18 \pm 1,09a	2,65 \pm 0,10a	9,42 \pm 0,73b
<i>Glomus</i> + <i>Scutelospora</i> + <i>Acaulospora</i> + <i>Enthrophospora</i>	11,58 \pm 0,65a	4,36 \pm 0,68a	5,93 \pm 0,51a	24,57 \pm 0,77a	2,55 \pm 0,20a	19,70 \pm 3,47a

Les moyennes suivies de la même lettre alphabétique ne sont pas significativement différentes ($p > 0,05$) d'après le test de Student Newman-Keuls – *Means followed by the same alphabetic letter are not significantly ($p > 0.05$) different according to Student Newman-Keuls test.*

3.6. Relations entre le taux de colonisation des racines et le poids des noix d'anacardier

Le tableau 4 présente les coefficients de corrélation de Pearson entre le taux de colonisation des racines et le poids des noix d'anacardier suivant l'âge des arbres et les différents traitements.

L'analyse des données de ce tableau permet de mettre en évidence, pour les arbres de six ans, une corrélation non significative ($p > 0,05$) entre le taux de colonisation des racines et le poids des noix pour les traitements témoin et fumure minérale. Pour la fumure organo-minérale, une forte corrélation négative mais non significative ($p > 0,05$) a été obtenue entre le taux de colonisation des racines et le poids des noix.

Tableau 4. Coefficient de corrélation de Pearson entre le taux de colonisation des racines et le poids des noix de l'anacardier – *Pearson's correlation coefficients between fractional plant of root colonization with cashew nut production.*

Âge des arbres	Traitements	Coefficient de corrélation
6 ans	Témoin	0,338ns
	Fumure minérale	0,420ns
	Fumure organo-minérale	-0,810ns
10 ans	Témoin	-0,281ns
	Fumure minérale	-0,097ns
	Fumure organo-minérale	0,723ns

ns : non significatif au seuil de 5% – ns: not significant at 5% level.

Pour les arbres de dix ans, de faibles corrélations négatives non significatives ont été observées pour les traitements témoin et fumure minérale ($p > 0,05$). Une forte corrélation positive, mais non significative ($r = 0,72$; $p > 0,05$) a été observée entre le taux de colonisation des racines et le poids des noix pour le traitement fumure organo-minérale.

4. DISCUSSION

4.1. Caractéristiques du sol de l'essai en pots

L'analyse du sol avant l'essai a révélé que le sol abritant les CMA était acide. Cette acidité du sol pourrait inhiber le bon fonctionnement de la symbiose entre les CMA et les racines des jeunes plants d'anacardier. El-kherbawy et al. (1989) ont observé qu'un pH élevé, de 6 à 7,2, augmentait le taux de colonisation des racines par les CMA et qu'une baisse du pH réduisait le taux de colonisation des racines. Dans le cas de la présente étude, les sols prélevés n'étaient pas riches en azote et présentaient des teneurs élevées en phosphore assimilable. Ce résultat est comparable à celui de Balogoun et al. (2015a) relatif à la même profondeur d'horizon de 0 à 20 cm. Les valeurs de phosphore assimilable obtenues étaient supérieures à celles obtenues par Ibiremo (2010), qui étaient comprises entre 8,87 et 9,81 mg/kg sous anacardier au Nigéria.

4.2 Effet des CMA sur les paramètres de croissance

La croissance des plants d'anacardier n'a pas connu une amélioration significative de façon générale. Une différence significative a été observée après 90 JAP au niveau du nombre de feuilles produites. Ces résultats sont similaires à ceux de Balogoun et al. (2015b) qui ont montré que les CMA amélioraient, d'une certaine manière, la croissance des plants de maïs en pot. Parmi les quatre traitements de composé de genres de CMA, c'est l'association *Glomus*, *Scutelospora* et *Acaulospora* qui a le mieux amélioré la croissance des jeunes plants d'anacardier. Les *Glomus* étant les plus abondants dans les sols sous système de culture à base d'anacardier (Balogoun et al., 2015a), l'association des autres genres au *Glomus* a probablement rendu plus efficace ce dernier. Boussemame et al. (2002) ont montré l'efficacité de deux souches de *Glomus* dans la stimulation de la croissance en hauteur des plants d'arganier. Leye et al. (2009) ont obtenu un effet significatif sur le diamètre au collet du *Jatropha* suite à l'inoculation avec des CMA du genre *Glomus*. Dans le cadre de la présente étude, l'inoculation étant naturelle, la courte durée de l'expérimentation n'a pas suffi pour observer une infection considérable des racines pouvant influencer significativement la croissance des plants. Ainsi, l'inoculation à base d'inoculum commercial pourrait améliorer significativement la croissance des plants d'anacardier.

4.3. Effet des CMA sur la production de biomasse

Les quatre traitements composés de genres de CMA ont influencé significativement la biomasse aérienne sèche. Ce résultat est similaire à celui de Leye et al. (2009) qui ont trouvé que la mycorhization à base de CMA a un effet très significatif sur la biomasse aérienne de *Jatropha* sp. La production de biomasse racinaire n'est pas influencée significativement par les CMA. Cependant, c'est l'association *Glomus*, *Scutelospora* et *Acaulospora* qui a le plus amélioré la production de biomasse aérienne et racinaire. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que

la production de feuilles a été la plus importante avec cette association. Aussi, est-il possible que cette association stimule le plus le développement racinaire des plants d'anacardier. Ces résultats sont contraires à ceux obtenus par Balogoun et al. (2015b) qui ont rapporté que la biomasse racinaire la plus élevée était obtenue avec les *Glomus* et la biomasse aérienne la plus élevée était obtenue avec l'association *Glomus* et *Scutelospora*.

4.4. Effet des CMA sur la mobilisation des éléments nutritifs N, P et K

Le genre *Glomus* a induit des teneurs les plus élevées en azote et phosphore pour la biomasse racinaire et la teneur la plus élevée en phosphore pour la biomasse aérienne. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par Balogoun et al. (2015b) qui ont rapporté que le genre *Glomus* a induit des teneurs élevées en azote et en phosphore. L'effet des traitements sur la teneur en potassium a été très hautement significatif ($p < 0,001$) pour la biomasse aérienne. Ce résultat est similaire à celui de Zougari-Elwedi et al. (2012) qui ont observé que l'inoculation de CMA avait un effet significatif sur la teneur en potassium des parties aériennes des plants de palmier dattier. L'association *Glomus*, *Scutelospora*, *Acaulospora* et *Enthrophosphora* a engendré la teneur la plus élevée en potassium, ce qui montre que les *Glomus* ne sont pas les seuls en mesure d'améliorer les teneurs en potassium dans le sol pour assurer sa meilleure disponibilité et, par ricochet, sa bonne assimilation par les jeunes plants d'anacardier.

4.5. Colonisation des racines par les CMA

Le taux de colonisation des racines a varié de $0,21 \pm 0,13$ à $0,54 \pm 0,24$. Le taux le plus élevé était obtenu avec l'association *Glomus*, *Scutelospora*, *Acaulospora* et *Enthrophosphora*. Ce résultat est contraire à celui de Balogoun et al. (2015b) qui ont observé que le taux le plus élevé a été induit par les *Glomus* sur le maïs. Cette différence montre que les *Glomus* seuls ne peuvent pas coloniser efficacement les racines de l'anacardier mais qu'il faut une association d'espèces de CMA. Par ailleurs, les résultats de la présente étude sont contraires à ceux de Hounngandan et al. (2009) qui ont obtenu un taux de colonisation relativement élevé, compris entre 53,58 % et 63,15 % en culture de maïs en pot.

4.6. Relation entre la mycorhization et la productivité des arbres d'anacardier

Globalement, aucune corrélation significative n'a été observée entre la mycorhization et la productivité des arbres d'anacardier. Cependant, une forte corrélation positive mais non significative ($p > 0,05$) a été observée entre le taux de colonisation des racines et le poids des noix. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par Gangan (2016) où une corrélation non significative ($p > 0,05$) a été observée sur l'ananas. L'inoculation naturelle à elle seule ne peut pas influencer la productivité des plants. Par contre, les souches introduites de *Glomus* se sont avérées efficaces sur la production de l'oignon (Sow et al., 2008).

5. CONCLUSIONS

L'association *Glomus*, *Scutelospora* et *Acaulospora* s'est révélée meilleure pour l'amélioration de la croissance en hauteur, l'augmentation du nombre de feuilles et la production de biomasses aérienne et racinaire. Le taux de colonisation des racines le plus élevé est obtenu avec l'association *Glomus*, *Scutelospora*, *Acaulospora* et *Enthrophosphora*. Le genre *Glomus* et l'association *Glomus*, *Scutelospora*, et *Acaulospora* ont induit, respectivement pour la biomasse racinaire et la biomasse aérienne, la teneur en azote la plus élevée. La teneur en phosphore la plus élevée a été induite avec le genre *Glomus*, aussi bien pour la biomasse racinaire que pour la biomasse aérienne. La teneur en potassium la plus élevée est engendrée par le genre *Glomus*, *Scutelospora*, *Acaulospora* et *Enthrophosphora*, aussi bien pour la biomasse racinaire que pour la biomasse aérienne. Par ailleurs, la corrélation entre le poids des noix des arbres d'anacardier et le taux de colonisation des racines montre une forte corrélation positive mais non significative chez les arbres âgés de dix ans.

Remerciements

Les auteurs remercient la Fondation Internationale pour la Science (IFS) à travers la bourse N° D/5767-1 qui a servi à financer les présents travaux de recherche.

Bibliographie

- Adégbola Y.P. & Adékambi A.S., 2006. Impact socio-économique de l'adoption des technologies nouvelles de gestion de la fertilité des sols au Bénin : cas des jachères *Mucuna*, *Acacia*, *Aeschynomene* et *Glyricidia*. PAPA/INRAB, 71 p.
- Adégbola Y.P. & Arouna A., 2004. Détermination socio-économique de l'adoption des technologies de gestion de la fertilité des sols au Sud-Bénin : une analyse avec un modèle logit multinominal. PAPA/INRAB, 16 p.
- Balogoun I. et al., 2015a. Soil Fertility and Biodiversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Associated with Cashew's (*Anacardium occidentale* L.) Cultivars Characteristics in Benin (West Africa). *International Journal of Plant & Soil Science*, **5**(1), 50-63.
- Balogoun I. et al., 2015b. Efficiency of different genera of arbuscular mycorrhiza fungi associated with cashew cultivars on maize growth and nutrient uptake. *African Journal of Agricultural Science and Technology*, **3**, 364-371.
- Béreau M., Louisanna E., De Grandcourt A. & Garbaye J., 2003. Symbiose mycorhizienne et nutrition minérale. Description et dynamique des milieux forestiers. *Revue Forestière Française. LV – numéro spécial*, 10 p.
- Bousselmame F., Kenny L. & Achouri M., 2002. Effet des mycorhizes à vésicules et arbuscules sur la croissance et la nutrition de l'arganier (*Argania spinosa* L.). *Actes Institut Agronomique et Vétérinaire*, **22**(4), 193-198.
- Brundrett M. et al., 1996. *Working with mycorrhizas in forestry and agriculture*. Australian Centre for International Agricultural Research, Monograph 32, Canberra, Australia, 374 p.
- Dagnelie P., 1998. *Statistique théorique et appliquée. Tome 2 : Inférences statistique à une et à deux dimensions*. De Boeck et Larcier, Paris-Bruxelles, 659 p.
- Diop I. et al., 2013. Impacts des conditions pédoclimatiques et du mode cultural sur la réponse du niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp.) à l'inoculation endomycorhizienne avec *Rhizophagus irregularis*. *Journal of Applied Biosciences*, **69**, 5465-5474.
- El-kherbawy M., Angle J.S., Heggo A. & Chaney R.L., 1989. Soil pH, rhizobia and vesicular-arbuscular mycorrhizae inoculation effect on growth and heavy metal up take of alfalfa (*Medicago sativa*). *Biology fertility of Soils*, **8**, 61-65.
- Gangan E., 2016. *Effets des doses d'engrais minéraux sur la biodiversité des champignons mycorhiziens à arbuscule associés à la culture de l'ananas (Ananas comosus (L.) Merrill) au sud du Bénin*. Mémoire de Master : Université d'Abomey-Calavi, FSA/UAC, Bénin, 128 p.
- Houngnandan P. et al., 2009. Les glomales indigènes de la forêt claire à *Isobertia doka* (Craib et Stapf) à Wari-Marou au centre Bénin. *Tropicicultura*, **27**(2), 83-87.
- Ibiremo O.S., 2010. Effect of Organic Fertilizer Fortified with Phosphate Fertilizers and Arbuscular Mycorrhizal Fungi Inoculation on the Growth of Cashew in Two Ecologies in Nigeria. *Journal of Agricultural Science*, **1**(2), 101-107.
- Igue M.A. et al., 2013. Évaluation de la fertilité des sols au sud et centre du Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB)*, Numéro spécial *Fertilité du maïs*.
- Laminou Manzo O., Ibrahim D., Campanella B. & Paul R., 2009. Effets de l'inoculation mycorhizienne du substrat sur la croissance et la résistance au stress hydrique de cinq espèces fixatrices de dunes : *Acacia raddiana* Savi ; *Acacia nilotica* (L.) Willd. Ex Del. var. *adansonii* ; *Acacia senegal* (L.) Willd ; *Prosopis chilensis* Stunz. et *Bauhinia rufescens*. *Lam. Geo-Eco-Trop*, **33**, 115-124.
- Leye E.H.M. et al., 2009. Effet de la mycorhization sur la croissance et le développement de *Jatropha curcas* L. *Revue des Énergies Renouvelables*, **12**(2), 269-278.
- Mousain D., Matumoto-Pintro P., Quiquampoix H., 1997. Le rôle des mycorhizes dans la nutrition phosphatée des arbres forestiers. *Revue Forestière Française XLIX - n° sp.*, 15 p.
- Roose E., 2007. Restauration de la productivité des sols tropicaux. *Actes des JSIRAUF*, 6 p.
- Saïdou A., Kossou D., Azontondé A. & Hogni D-G.J.M., 2009. Effet de la nature de la jachère sur la colonisation de la culture subséquente par les champignons endomycorhiziens : cas du système 'jachère' manioc sur sols ferrugineux tropicaux du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **3**(3), 587-597.
- Sow H.A. et al., 2008. Influence de la mycorhization arbusculaire sur la culture intensive de l'oignon (*Allium cepa* L.) au Sénégal. *Journal des sciences*, **8**(1), 1-6.
- Zougari-Elwedi B., Sanaa M., Labidi S. & Sahraoui A.L-H., 2012. Évaluation de l'impact de la mycorhization arbusculaire sur la nutrition minérale des plantules de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L. var. Deglet Nour). *Étude et gestion des sols*, **19**(3-4), 193-202.

8. Performance of the potential adaptation strategies of cashew (*Anacardium occidentale* L.) plantation to climate change in Benin

Orou Daouda Bello^{(1,2,3)*}, Aliou Saïdou⁽²⁾, Léonard Essehou Ahoton⁽¹⁾, Ibouaïman Balogoun⁽²⁾, Vincent Awé Ezin⁽¹⁾, Pierre B. Irénikatché Akponikpè⁽³⁾, Nestor Aho⁽¹⁾

⁽¹⁾University of Abomey-Calavi, Faculty of Agronomic Sciences, School of Science and Technic of Crop Production, Laboratory of Plant Biology, 03 BP 2819 RP Cotonou, Benin

⁽²⁾University of Abomey-Calavi, Faculty of Agronomic Sciences, School of Science and Technic of Crop Production, Laboratory of Soil Sciences, Integrated Soil and Crop Management Research Unit, 03 BP 2819 RP Cotonou, Benin

⁽³⁾University of Parakou, Faculty of Agronomy, Hydraulics and Environmental Modeling Laboratory (HydroModE Lab), BP 123 Parakou, Benin

*E-mail corresponding author: bello.daouda@yahoo.fr

Description of the subject. The cashew tree is a rainfed crop, and the yield and quality of nuts depend to a large extent on climatic and meteorological conditions that are undergoing a real change today and necessitating an adaptation.

Objectives. This study tested the efficacy of mulching and manure supply for cashew productivity as adaptation strategy to climate change in Benin.

Method. Twelve year-old cashew trees were received mulching and organic amendment during the 2016-2017 season in peasant plantations of Adourékoman in the Centre and Founa in North-West of Benin. The treatments considered per tree were: T0 (control), T1 (500 kg of mulch) and T2 (700 kg of bovine manure + 300 kg of mulch). Plant phenology, apples and nuts production data were subjected to analysis of variance using Statistical Analysis System (SAS v 9.2).

Results. The results indicate that the T1 and T2 treatments induced the highest numbers ($p < 0.05$) of hermaphrodite flowers (0.93 ± 0.03), the longest apples (9.55 ± 0.52 cm) and the best nut (1.58 ± 0.54 kg) and apples (19.81 ± 5.61 kg) yields in the Centre area. In the North-Western zone, the results indicate that T2 treatment induced the largest and longest nuts as well as the long apples and the best yields (5.22 ± 0.25 kg/tree) of the trees whatever the cultivar. The different treatments generally induced better yields ($p < 0.05$) in the North-Western area compared to Centre.

Conclusions. Mulching and manure supplied can be considered as adaptation strategies for cashew productivity.

Performance des potentielles stratégies d'adaptation aux changements climatiques sur la productivité de l'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) au Bénin

Description du sujet. L'anacardier est une culture pluviale dont le rendement et la qualité des noix dépendent du climat. Du fait du changement climatique, la culture nécessite une adaptation.

Objectifs. Tester l'efficacité du paillage et du fumier comme stratégie d'adaptation au changement climatique sur la productivité de l'anacardier au Bénin.

Méthode. Des arbres de 12 ans d'âge ont reçu du paillage et un amendement organique au cours de la campagne 2016-2017 dans des plantations paysannes de Glazoué (Centre Bénin) et de Djougou (Nord-Ouest Bénin). Les traitements considérés par arbre étaient : T0 (témoin), T1 (apport de 500 kg de paille) et T2 (700 kg de fumier de bovins + 300 kg de paille) en quatre répétitions. Les dates d'apparition et le nombre des différents organes ainsi que les rendements étaient les variables collectées et soumises à une analyse de variance à l'aide du logiciel SAS v9.2.

Résultats. Dans le centre, les traitements ont significativement ($p < 0,05$) induit les nombres les plus élevés de fleurs hermaphrodites ($0,93 \pm 0,03$), des pommes plus longues ($9,55 \pm 0,52$ cm) et des rendements en noix ($1,58 \pm 0,54$ kg/arbre) et en pommes ($19,81 \pm 5,61$ kg/arbre) plus importants. En ce qui concerne la zone nord, les résultats indiquent que le traitement T2 a significativement ($p < 0,05$) induit les meilleures performances des arbres ($5,22 \pm 0,25$ kg/arbre) comparativement au centre ($p < 0,05$).

Conclusions. Le paillage et l'amendement organique ont constitué donc une bonne stratégie d'adaptation au changement climatique au Bénin.

1. INTRODUCTION

The impacts of climate change on agriculture are highly uncertain (Hahn et al., 2009). In Benin, agro-climatic parameters present constraining peculiarities for agriculture and forestry, especially in the South-West and extreme North, which are sometimes severely impinged by drought (Bello et al., 2016). This event hampers the development of rainfed agriculture and thus makes agricultural producers, particularly cashew producers, vulnerable in terms of food security.

Indeed, in Benin, cashew nuts represent the second most important export crop after cotton (Balogoun et al., 2016). This crop is among the value chain to be developed by Benin's government (PAG, 2016-2021). However, according to Balogoun et al. (2016) and Bello et al. (2016), the low trees' productivity recorded during the past years could be justified by some constraints, especially climate change and soil fertility decline. Climatic change is characterized by the scarcity and poor distribution of rainfall, harmattan through dry and violent winds and temperature. Moreover, according to our previous research (Balogoun et al., 2016; Bello et al., 2017), temperature, rainfall and potential evapotranspiration (PET) are the main climatic factors that determine the productivity of cashew in the different production zones in Benin. From these studies, prolonged rainfall during flushing and flowering and especially the insufficiency of the rains during the vegetative stage of the tree drastically affect the yield and quality of nuts. Unseasonal rains during the nut development stage may lead to the drop of immature fruit and poor nut quality. It was shown that nut size and kernel weight of cashew were much influenced by maximum temperature during the nut development stage (Prasada Rao et al., 2010; Bello et al., 2016). According to Ricau (2013), cashew is mainly a rainfed crop, and the yield and quality of nuts depend to a large extent on climatic and meteorological conditions. Any change in climate has a direct impact on the breeding phases of the cashew tree. But, despite the economic importance of cashew in Benin, few studies have sought to understand adaptation measures to sustain cashew's trees productivity. The study conducted by Balogoun et al. (2016) shown that Central area of Benin, which had been consider as high production area due to favorable climatic and geomorphologic conditions, lost more and more this notoriety regarding the poor yields recorded over the last past years. However, this study also indicated an enhancement of cashew nut production in the North-Western area of Benin. The main reason is related to variability in the climate parameters. The challenge now is how to sustain and enhance cashew trees' yield in the Centre as this crop is part of the strategies developed by farmers to improve their livelihood?

The development of adaptation strategies could be an option in the farmers' environment to mitigate the effects of these deviations of the climate parameters (Tidjani & Akponikpè, 2012). In India, Rupa et al. (2013) already suggested that adaptation strategies could be developed to reduce the vulnerability of cashew trees to climate change. These include measures to conserve water in the soil, mulching, irrigation, fertigation and carbon sequestration to improve soil organic matter. Moreover, according to these authors, in arid environments, mulching, irrigation and organic manures have beneficial effects on moisture conservation, soil temperature and cashew productivity during a long period. According to Nawale et al. (1985), the basin area of cashew plants can be mulched to conserve soil moisture, either with green leaves, dry leaves or weeds and black polythene mulch soon after planting. Thus, given the geomorphological conditions of the cashew production areas in Benin, which does not allow easy access to the water table and taking into account the limited adaptive capacities of the rural communities, such technology could contribute to sustain trees' productivity in this context of climate change. Through the present study we aim to test the performance of mulching and organic manure as adaptation strategies to sustain productivity of cashew cultivars in Benin. Specifically, this involves: i) assessing the effect of mulching and organic manure on the phenology of cashew cultivars in the Centre and North-West Benin, and ii) evaluating the effect of mulching and organic manure on yield parameters of cashew cultivars in the Centre and North-West Benin.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Description of the study area

This study was carried out in the Centre and North-West of Benin in the village of Adourékoman (district of Glazoué) located at 7°91'58"N and 2°27'30"E and at 152 m asl and at Founa (district of Djougou) located at 09°40'50.0"N and 01°35'42.5"E. These two districts (Figure 1) were chosen according to the size of the importance of area allocated for cashew and the quantity of cashew nut produce yearly. The District of Glazoué is influenced by the transitional climate between the subequatorial in the South and the sudanian in the North. The mean annual rainfall varies from 960 to 1,256 mm and the average annual temperature varies between 24 and 29°C (Balogoun et al., 2016). The soils are predominantly leached tropical ferruginous types formed on Precambrian

crystalline rocks (granite and gneiss) classified as Ferric Lixisol (FAO, 1990). The most dominant wind is generally south or southwest with a maximum mean speed of 2 m/s (MEPN, 2011). The highest recorded speeds are 13 to 15 m/s between May and June. The annual mean of insolation calculated is 1,939 hours. The highest averages are recorded during the dry season, the minimum during the rainy season (Balogoun, 2016). The district of Djougou is characterized by a sudano-guinean climate ($9^{\circ}45' - 12^{\circ}25'N$) characterized by an average rainfall more than 1,000 mm and the average relative humidity from 1960 to 2015 is 54.9%. The mean temperature is $27.5^{\circ}C$ (Bello et al., 2016). This zone benefits essentially from a mountain climate with slight variations (Balogoun et al., 2014). The district of Djougou is characterized by two seasons including a rainy season from mid-April to mid-October and a dry season from mid-October to mid-April. In the area there is harmattan, which is a dry and cool wind from December to February (MEPN, 2011) that blows from the Sahara to the West on West Africa. Soil chemical analyses were performed in the Laboratory of Soil Sciences and Environment of Benin National Research Institute (LSSE/INRAB) following procedures developed by Page et al. (1982). Soil analyses were carried out on pH (water) and pH KCl (using a glass electrode in 1:2.5 v/v soil solution), total N (Kjeldahl digestion in a mixture of H_2SO_4 -Selenium followed by distillation and titration), available P (Bray 1 method), exchangeable potassium (1 N ammonium acetate at pH 7) and organic carbon (Walkley & Black, 1934). The chemical characteristics of the soil of Adourékoman and Founga sites before the trial are presented in Table 1.

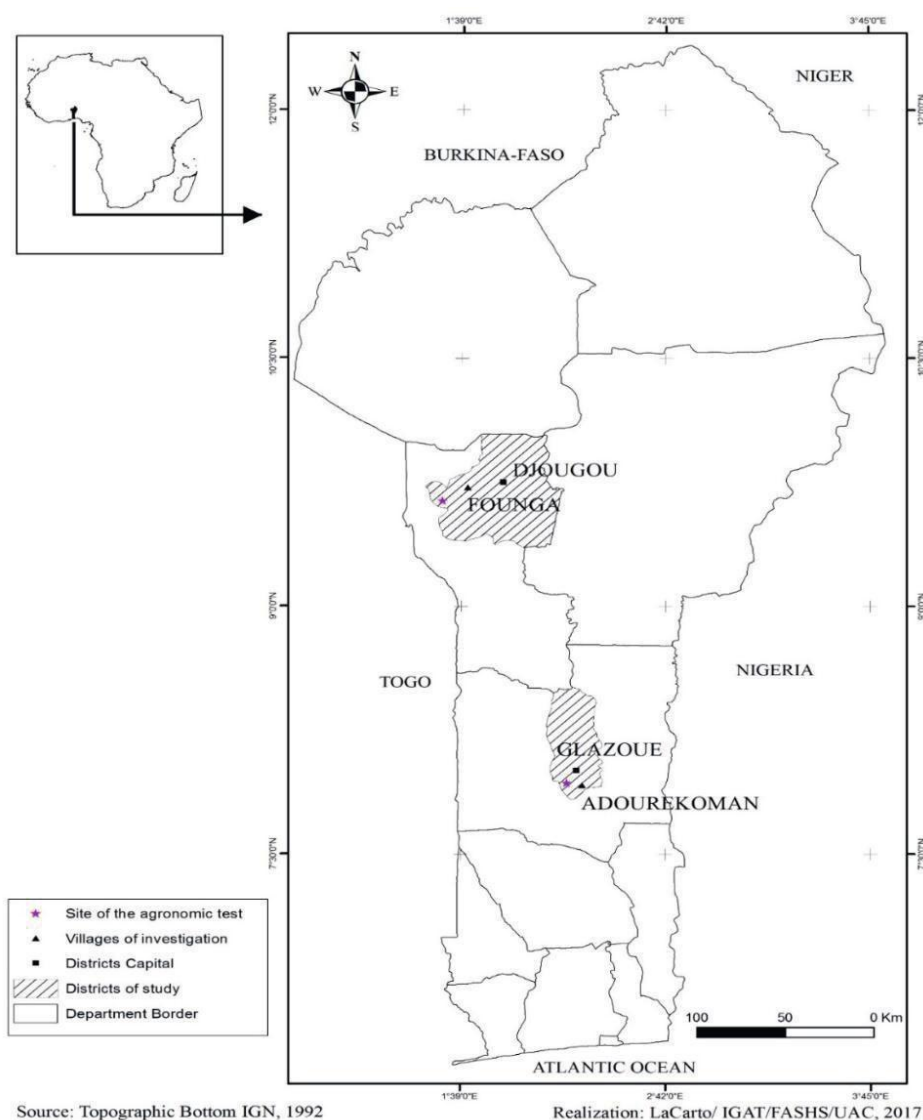
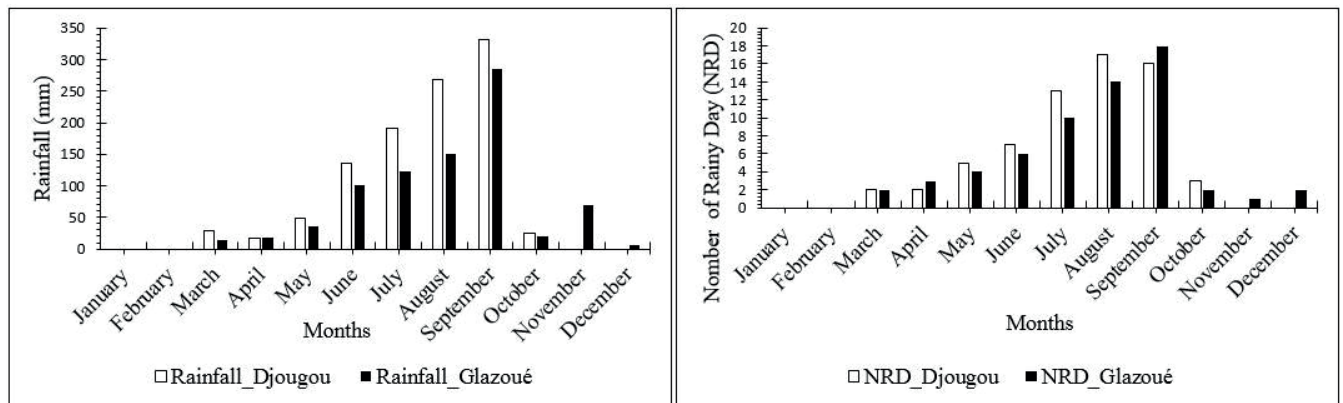


Figure 1. Map of Benin presenting the study areas – *Carte du Bénin montrant la situation des communes étudiées.*

Table 1. Chemical characteristics (mean \pm standard errors) of the soil of Adourékoman and Founnga sites – *Caractéristiques chimiques (\pm erreurs standards) du sol des sites expérimentaux avant l'installation des essais.*

	Soil horizon (cm)	pH(water)	pH(KCl)	C-Organic (g/kg)	N Total (g/kg)	P Bray1 (mg/kg)	K exch (cmol/kg)
Adourékoman site	0-20	6.31 \pm 0.04	5.39 \pm 0.05	11.09 \pm 0.47	1.25 \pm 0.08	39.14 \pm 5.58	0.86 \pm 0.05
	20-40	6.35 \pm 0.04	5.44 \pm 0.05	8.27 \pm 0.33	0.93 \pm 0.08	39.24 \pm 5.50	0.82 \pm 0.04
	40-60	6.37 \pm 0.05	5.33 \pm 0.05	6.68 \pm 0.33	0.97 \pm 0.08	42.77 \pm 6.07	0.85 \pm 0.04
Founnga site	0-20	6.24 \pm 0.03	5.33 \pm 0.04	7.79 \pm 0.77	1.15 \pm 0.05	42.14 \pm 6.02	0.66 \pm 0.05
	20-40	6.37 \pm 0.04	5.37 \pm 0.05	3.73 \pm 0.74	1.00 \pm 0.07	35.24 \pm 5.55	0.45 \pm 0.02
	40-60	6.19 \pm 0.04	5.37 \pm 0.05	3.22 \pm 0.42	0.88 \pm 0.02	45.27 \pm 7.05	0.35 \pm 0.01

Figure 2 shows the rainfall and the number of rainy days recorded during 2016-2017 seasons. The months from July to September recorded the maximum rainfall during the year. In addition, there are two rainy days in December 2016 in Adourékoman (Glazoué) while the last rain was recorded in October in the district of Djougou.

**Figure 2.** Rainfall and number of rainy days recorded during 2016-2017 season – *Pluviométrie et nombre de jours de pluie (NRD) enregistrés au cours de la campagne 2016-2017 sur les sites de deux localités.*

2.2. Material

The 12-year-old cashew (*Anacardium occidentale* L.) trees were identified following a forest inventory conducted from June to July 2013 (PROANAC, 2013). These cashew trees were selected regarding the two cultivars characterized by the size of nuts and apples (Table 2) identified from a study on the agro-morphological characterization of the cultivars of cashew trees in Benin (Chabi Sika et al., 2015). Manure from cattle was used as an organic fertilizer because of its availability in quantity in the study area. A weighing scale of 40 kg maximum was used for weighing the nuts and apples and a 50 kg pocket scale for weighing the manure and the residues (mulch). The residues consist mainly of plant debris, cotton stems, cashew leaves and other crop residues.

Table 2. Characteristics of the two cultivars of cashew tree identified – *Caractéristiques des deux morphotypes d'anacardier identifiés.*

	Cashew nuts and apples shape	
	Apples	Nuts
Cultivar 1	Very large and long apples with round base and round apex	Very large nuts with oblong shape and round apex
Cultivar 2	Small apples	Small nuts having kidney form with round base

2.3. Choice of plantations and experimental design

The trees studied were chosen taking into account the uniformity of the tree age because the strategies to be tested depend on the age of the trees. Thus, 12-year-old trees were selected in 2016-2017 season. The information on the age of the cashew plantations was provided by the producers on the basis of the date of plantation of the plants purchased from the nurserymen of the region. Three treatments presented below were considered:

- T0: trees without application of organic manure or mulch (control);
- T1: trees that received 500 kg of residues (mulch);
- T2: trees that received 700 kg of organic manure + 300 kg of mulch.

Four cashew trees' were considered as replication. In total, the experimental unit consisted of two cashew's cultivar characteristics \times 3 treatments \times 4 replications = 24 trees per locality. The nut and apple sizes were assessed based on visual observation, therefore no measurement were carried out. The different quantity of organic manure and mulch retained are based on recommendation by Rupa et al. (2013).

2.4. Experimental setup

Before the implementation of the trial, a root profile was carried out in 2013 at the level of certain trees to assess root distribution (Balogoun, 2016). Most roots were within 1.5 m distant to the trunk and distributed between 35 and 40 cm depth. Thus, the application of manure and mulch was applied in the basin area of cashew plants around the trees on a diameter of 3 m, based on the recommendation of Rupa et al. (2013). The nutrient content in the manure was: N-total (3.29 g/kg), C-organic (255.41 g/kg), K (48.24 g/kg) and P (22 g/kg) for the site of Adourékoman (Balogoun, 2016), and N-total (3.30 g/kg), C-organic (253.85 g/kg), K (48.25 g/kg) and P (22.55 g/kg) for the site of Founnga. The trial was set up in May 2016 in order to allow the trees to conserve the maximum possible water in the soil.

2.5. Methods of data collection

The plant phenology parameters measured concerned: number of day to the set of the first leaf, number of day to the first floral buds, number of day to the first flower, number of day to the first apple, number of day to the onset of the first nut, number of day to the set of complete nuts, duration of flowering and fruiting periods, the number of hermaphrodite flowers per panicle and the number of abnormal flowers per panicle. For that, daily observations were done on the selected cashew trees. Five panicles were chosen at random regarding the north, south, east and west given a total of 20 panicles per plant. The average rate of the different type of flower was determined per tree.

Yield parameters measured were: number of apples and nuts per tree, weight of the apples and nuts per tree, length and width of the apples and nuts per tree. The yield per tree was determined by weighing the nut collected until the end of production period and the total weight was then calculated per tree. The apple weight / nut weight ratio per tree was calculated from 10 fruits selected at random to determine the apples weight from the nuts weight as farmers do not harvest the apple. This ratio was used to estimate amount of apple produced (Balogoun et al., 2016).

2.6. Statistical analysis of data

Microsoft Excel software (version 2013) was used for data entry and processing. Concerning plant phenology and apple and nut production, data of the agronomic trial were subjected to three ways analysis of variance (ANOVA) considering the zone, cultivar characteristics and treatments using Statistical Analysis System (SAS v 9.2). The Student-Newman Keuls test was done for the separation of mean with 5% level of probability. To obtain normal distributions (ANOVA hypothesis), the counted data (number of day to the setting of plant organs) were transformed by $\log_{10}(n)$ (Dagnelie, 1998), where n was the real value.

3. RESULTS

3.1. Effect of the different treatments on the number of day to the setting of the various organs of the cashew tree

Results of analysis of variance (Table 3) showed significant effects of the geographical zone of production on the number of day to the flower set ($p < 0.05$). There is a significant difference between the zones regarding the

number of day flower bud and nut set. Results of the analysis of variance showed also significant ($p < 0.05$) effects of the cultivar on the number of day to the flower and fruit set. However, it is also observed that the number of day to the complete flower set, flower buds and apples were not significant ($p > 0.05$) between geographical zone, plant cultivars, treatments or the interactions of the three factors. Moreover, for the duration of complete nut set, complete apple set and complete fruit maturity, significant ($p < 0.05$ and $p < 0.001$) interactions were found between the cultivar characteristics and the treatment respectively (Table 3).

Table 3. F-values and level of significance from three-ways analysis of variance (ANOVA) of the cashew plant phenology regarding geographical area, cultivar characteristics and treatments – *Tableau d'analyse de variance à trois facteurs (valeurs de F) des périodes d'apparition des organes considérant l'année, la zone et le morphotype.*

Source of variation	Degree of freedom	Fisher's value								
		Number of day to organ set								
		First flowers	Completed setting of flowers	Cashew nut	Completed Cashew nut	Cashew apple	Completed Cashew apple	Completed Cashew fruits	Cashew flower buds	Completed Cashew flower buds
Zone	1	1.34ns	1.69ns	1.38ns	13.10**	1.31ns	4.15ns	2.96ns	0.64ns	4.98*
Cultivars	1	6.81*	1.69ns	0.04ns	4.30ns	0.01ns	3.20ns	7.65**	3.55ns	1.11ns
Treatments	2	3.81*	0.46ns	4.81*	3.38ns	4.22*	1.58ns	2.10ns	0.57ns	0.46ns
Replication	3	0.89ns	0.24ns	0.06ns	1.79ns	0.12ns	2.28ns	3.08ns	1.38ns	0.31ns
Zone* Cultivars	1	0.38ns	0.39ns	0.00ns	1.03ns	0.01ns	0.00ns	0.07ns	3.28ns	0.17ns
Zone* Treatments	2	3.15ns	0.47ns	0.70ns	0.64ns	1.00ns	1.96ns	1.60ns	1.60ns	0.66ns
Cultivars* Treatments	2	2.57ns	1.94ns	0.15ns	5.95**	0.07ns	6.14**	11.58***	0.38ns	0.91ns
Zone* Cultivars* Treatments	2	3.26ns	4.81*	4.12*	0.19ns	4.23*	0.19ns	0.47ns	2.24ns	3.39*

ns: not significant at 5%; *: significant at 5%; **: very significant at 5%; ***: very highly significant at 5% – ns : non significatif au seuil de 5% ; * : significatif au seuil de 5% ; ** : très significatif au seuil de 5% ; *** : très hautement significatif au seuil de 5%.

The effects of the geographical zone, the cultivar characteristics and treatments on the cashew plants' phenology are presented in Table 4. According to the Student Newman-Keuls test in the Centre, mulching induced significant ($p < 0.05$) early onset of the flower buds for the trees producing small fruits. In the Northern zone, mulching combined with organic manure induced the early flower bud set, all flowers and apples for trees producing the big fruits. However, in general, it was observed that all the plant organs emerged earlier in the Centre compared with the North-West. The first floral buds emerged from 10th October to 14th November 2016 while the first nuts appeared between 27th November 2016 and 2nd January 2017. The complete fruit maturity occurred between 3rd March and 5th May 2017, with an average of 185 days after the first leaves emerged on the trees. However, Student Newman-Keuls test revealed that in the Central zone, the trees with small fruits (cultivar 2) significantly reached ($p < 0.05$) early maturity compared to trees with big fruits (cultivar 1) (Table 4). The duration of the complete fruit maturity was not significantly different ($p > 0.05$) considering the two zones.

3.2. Effect of the different treatments on the numbers of flowers on cashew tree

The results of analysis of variance (Table 5) showed significant (from $p < 0.05$ to $p < 0.001$) effects of the geographical zone of production and cultivar characteristics on the number of abnormal flowers. Highly significant ($p < 0.001$) effects of the treatments on the number of male flowers and hermaphrodites flowers regarding the geographical zones were observed. However, the results of analysis of variance showed that the interaction between the treatments and cultivars characteristics and the interaction between the tree factors did not significantly ($p > 0.05$) affect the number of the flowers.

Table 4. Effect of geographical area, cultivar characteristics and treatment on the cashew plant phenology (means \pm standard errors) – Effet des traitements sur la durée d'apparition des différents organes de l'anacardier (valeur moyenne \pm erreur standard) suivant l'année, la zone et le morphotype.

Zones	Cultivars	Treatments	Number of day to organ set								
			First flowers	Completed appearance of flowers	Cashew nut	Completed Cashew nut	Cashew apple	Completed Cashew nut	Completed Cashew fruits	Cashew flower buds	Completed Cashew flower buds
CENTRE	Big apples and big cashew nuts	Control	1.80 \pm 0.02 (63.25) a	2.18 \pm 0.01 (150.25) a	1.93 \pm 0.02 (84.50) a	2.21 \pm 0.004 (163.75) a	2.09 \pm 0.002 (122.25) a	2.26 \pm 0.006 (180.50) a	2.80 \pm 0.009 (191.25) a	1.61 \pm 0.03 (40.75) a	2.12 \pm 0.04 (133.25) a
		Mulching	1.78 \pm 0.02 (60.25) a	2.17 \pm 0.02 (147.25) a	1.91 \pm 0.02 (81.50) a	2.21 \pm 0.02 (161.75) a	2.09 \pm 0.01 (123) a	2.22 \pm 0.04 (167.50) a	2.28 \pm 0.02 (187.50) a	1.63 \pm 0.02 (42.50) a	2.12 \pm 0.02 (132.25) a
		Mulching + Manure	1.80 \pm 0.01 (64.00) a	2.19 \pm 0.02 (155.00) a	1.93 \pm 0.02 (85.75) a	2.24 \pm 0.01 (171.25) a	2.10 \pm 0.01 (124.00) a	2.28 \pm 0.02 (188.75) a	2.31 \pm 0.01 (202.75) a	1.64 \pm 0.02 (43.75) a	2.14 \pm 0.02 (139.25) a
		Mean	1.79 \pm 0.01 (62.50) A	2.18 \pm 0.01 (150.83) A	1.92 \pm 0.01 (83.92) A	2.22 \pm 0.01 (165.58) A	2.09 \pm 0.01 (123.08) A	2.25 \pm 0.02 (178.92) A	2.29 \pm 0.01 (193.03) A	1.62 \pm 0.01 (42.33) A	2.13 \pm 0.01 (134.91) A
		Control	1.76 \pm 0.03 (56.75) a	2.16 \pm 0.02 (143.50) a	1.98 \pm 0.05 (97.50) a	2.21 \pm 0.01 (161.25) a	2.13 \pm 0.03 (135.75) a	2.25 \pm 0.01 (178.25) a	2.27 \pm 0.01 (187.50) a	1.59 \pm 0.01 (39.00) a	2.11 \pm 0.02 (130.00) a
NORTH-WEST	Small apples and small cashew nuts	Mulching	1.72 \pm 0.02 (52.50) b	2.17 \pm 0.01 (147.75) a	1.86 \pm 0.02 (73.00) a	2.21 \pm 0.02 (162.25) a	2.06 \pm 0.02 (113.25) a	2.24 \pm 0.02 (175.00) a	2.28 \pm 0.01 (190.00) a	1.57 \pm 0.02 (37.50) a	2.13 \pm 0.03 (134.50) a
		Mulching + Manure	1.76 \pm 0.02 (57.00) a	2.13 \pm 0.03 (133.75) a	1.99 \pm 0.03 (81.75) a	2.15 \pm 0.04 (141.75) a	2.08 \pm 0.02 (119.75) a	2.20 \pm 0.02 (161.25) b	2.24 \pm 0.03 (173.50) a	1.58 \pm 0.03 (38.25) a	2.07 \pm 0.04 (118.50) a
		Mean	1.74 \pm 0.01 (55.41) B	2.15 \pm 0.01 (141.67) A	1.92 \pm 0.02 (84.08) A	2.19 \pm 0.02 (155.08) A	2.09 \pm 0.02 (122.91) A	2.23 \pm 0.01 (171.50) A	2.26 \pm 0.01 (183.83) B	1.58 \pm 0.01 (38.25) B	2.10 \pm 0.02 (127.66) A
		GENERAL MEAN	1.77 \pm 0.01 (58.96) X	2.16 \pm 0.01 (146.25) X	1.92 \pm 0.01 (84.00) X	2.20 \pm 0.01 (160.33) X	2.09 \pm 0.01 (123.00) X	2.24 \pm 0.01 (175.21) X	2.28 \pm 0.01 (188.33) X	1.60 \pm 0.01 (40.29) X	2.12 \pm 0.01 (131.29) X
		Control	1.91 \pm 0.05 (82.00) a	2.21 \pm 0.04 (165.25) a	1.99 \pm 0.04 (98.50) a	2.16 \pm 0.01 (145.75) a	2.14 \pm 0.03 (138.25) a	2.23 \pm 0.01 (169.75) a	2.26 \pm 0.02 (181.25) a	1.65 \pm 0.004 (45.00) a	2.14 \pm 0.05 (142.00) a
Small apples and small cashew nuts	Big apples and big cashew nuts	Mulching	1.76 \pm 0.02 (57.50) a	2.13 \pm 0.02 (135.75) ab	1.86 \pm 0.02 (72.25) a	2.18 \pm 0.01 (153.00) a	2.05 \pm 0.02 (111.75) b	2.23 \pm 0.02 (171.50) a	2.27 \pm 0.02 (188.50) a	1.59 \pm 0.02 (39.25) b	2.06 \pm 0.03 (116.25) a
		Mulching + Manure	1.74 \pm 0.03 (55.25) a	2.10 \pm 0.02 (126.75) b	1.85 \pm 0.02 (70.75) a	2.17 \pm 0.01 (147.25) a	2.04 \pm 0.01 (108.50) b	2.23 \pm 0.01 (170.25) a	2.29 \pm 0.01 (193.50) a	1.59 \pm 0.02 (39.00) b	2.05 \pm 0.03 (110.75) a
		Mean	1.80 \pm 0.03 (64.92) A	2.15 \pm 0.02 (142.58) A	1.90 \pm 0.02 (80.50) A	2.17 \pm 0.01 (148.66) A	2.07 \pm 0.02 (119.50) A	2.23 \pm 0.01 (170.50) A	2.27 \pm 0.01 (187.75) A	1.61 \pm 0.01 (41.08) A	2.08 \pm 0.02 (123.00) A
		Control	1.77 \pm 0.03 (59.00) a	2.11 \pm 0.02 (130.25) a	1.90 \pm 0.04 (80.25) a	2.18 \pm 0.01 (148.75) a	2.07 \pm 0.03 (120.00) a	2.23 \pm 0.01 (167.50) a	2.27 \pm 0.01 (185.50) a	1.61 \pm 0.02 (41.00) a	2.05 \pm 0.01 (112.25) a
		Mulching	1.79 \pm 0.03 (62.25) a	2.13 \pm 0.03 (135.00) a	1.91 \pm 0.03 (80.79) a	2.19 \pm 0.02 (155.75) a	2.09 \pm 0.02 (123.50) a	2.24 \pm 0.01 (173.25) a	2.29 \pm 0.01 (194.00) a	1.63 \pm 0.02 (43.00) a	2.06 \pm 0.03 (115.25) a
GENERAL MEAN	Big apples and big cashew nuts	Mulching + Manure	1.75 \pm 0.02 (56.50) a	2.18 \pm 0.02 (150.25) a	1.89 \pm 0.04 (77.75) a	2.12 \pm 0.02 (129.75) a	2.06 \pm 0.03 (114.75) a	2.17 \pm 0.01 (147.00) b	2.20 \pm 0.02 (159.00) b	1.59 \pm 0.02 (39.00) a	2.10 \pm 0.03 (127.25) a
		Mean	1.77 \pm 0.01 (59.25) A	2.14 \pm 0.02 (138.50) A	1.90 \pm 0.02 (79.58) A	2.16 \pm 0.01 (144.75) A	2.07 \pm 0.02 (119.42) A	2.21 \pm 0.01 (162.58) A	2.25 \pm 0.01 (179.50) A	1.61 \pm 0.01 (41.00) A	2.07 \pm 0.15 (118.25) A
		Control	1.79 \pm 0.02 (62.08) X	2.14 \pm 0.01 (140.54) X	1.90 \pm 0.02 (80.04) X	2.17 \pm 0.01 (146.71) Y	2.07 \pm 0.01 (119.46) X	2.22 \pm 0.01 (166.54) Y	2.26 \pm 0.01 (183.63) X	1.61 \pm 0.01 (41.04) X	2.08 \pm 0.01 (120.63) Y

Within column, means followed by letters of same letter case are not significantly different ($p > 0.05$) according to Student Newman-Keuls test. The real values in brackets have been transformed by $\log_{10}(n)$ for periods of plant organ set – Les moyennes suivies de la même lettre alphabétique de même casse et pour le même facteur ne sont pas significativement différentes ($p > 0.05$) d'après le test de Student Newman-Keuls. Les valeurs réelles (entre parenthèses) ont subi une transformation $\log_{10}(n)$ (Dagnelie, 1998).

Table 5. F-values and level of significance from the three-way Analysis of Variance (ANOVA) of the number of flowers regarding the geographical area, cultivar characteristics and treatments – *Tableau d'analyse de la variance à trois facteurs (valeurs de F) des nombres de fleurs considérant la zone de production, le morphotype et les traitements.*

Source of variation	Degree of freedom	Fisher's value		
		Number of		
		Male flowers	Abnormal flowers	Hermaphrodite flowers
Zone	1	0.38ns	75.93***	0.96ns
Cultivars	1	0.14ns	5.22*	0.20ns
Treatments	2	20.19***	0.19ns	12.11***
Replication	3	0.92ns	0.83ns	0.96ns
Zone*Cultivars	1	0.05ns	4.75*	0.73ns
Zone*Treatments	2	3.99*	0.09ns	0.68ns
Cultivars* Treatments	2	2.69ns	0.09ns	0.45ns
Zone* Cultivars * Treatments	2	2.53ns	0.96ns	0.32ns

ns: not significant at 5%; *: significant at 5%; ***: very highly significant at 5% – ns : non significatif au seuil de 5% ; * : significatif au seuil de 5% ; *** : très hautement significatif au seuil de 5%.

The effects of the geographical zones, the cultivar characteristics and treatments on the number of flowers are presented in Table 6. From this table, and according to the Student Newman-Keuls test, in the Centre, mulching + manure (T2) induced significant ($p < 0.05$) numbers of hermaphrodite flowers compared to the control whereas in the Northern zone, this treatment induced the highest numbers of male flowers regardless of the cultivar characteristics. Moreover, the Student Newman-Keuls test revealed that in the Centre, the trees with small fruits induced significant ($p < 0.05$) number of flowers irrespective of the treatments. In general, the number of abnormal flowers was greater in the Centre (17.05 ± 1.71) than the North-West (4.66 ± 0.55). The number of male and hermaphrodite flowers did not change ($p > 0.05$) from the Centre to the North-Western area (Table 6).

Table 6. Effect of the geographical area, cultivar characteristics and treatments on the number of cashew plant flowers (means \pm standard errors) – *Effet des traitements sur le nombre des différentes fleurs de l'anacardier (valeur moyenne \pm erreur standard) suivant la zone de production, le morphotype et le traitement.*

Zones	Cultivars	Treatments	Number of			
			Male flowers	Abnormal flowers	Hermaphrodite flowers	
CENTRE	Big apples and big cashew nuts	Control	1.76 \pm 0.06 (59.25)a	1.06 \pm 0.05 (11.65)a	0.62 \pm 0.10 (4.35)b	
		Mulching	1.86 \pm 0.05 (74.90)a	1.26 \pm 0.09 (19.60)a	0.90 \pm 0.02 (8.05)a	
		Mulching + Manure	1.87 \pm 0.02 (73.35)a	1.25 \pm 0.06 (18.45)a	0.93 \pm 0.03 (8.60)a	
		Moyenne	1.83 \pm 0.03 (69.17)A	1.20 \pm 0.05 (16.57)A	0.82 \pm 0.05 (7.00)A	
	Small apples and small cashew nuts	Control	1.76 \pm 0.04 (58.50)a	1.24 \pm 0.16 (21.30)a	0.61 \pm 0.08 (4.30)b	
		Mulching	1.80 \pm 0.01 (63.30)a	1.18 \pm 0.04 (15.15)a	0.68 \pm 0.07 (4.90)b	
		Mulching + Manure	1.88 \pm 0.02 (76.90)a	1.18 \pm 0.08 (16.15)a	0.91 \pm 0.04 (8.20)a	
		Mean	1.81 \pm 0.02 (66.23)A	1.20 \pm 0.06 (17.53)A	0.73 \pm 0.05 (5.80)A	
	GENERAL MEAN			1.82 \pm 0.02 (67.70)X	1.20 \pm 0.04 (17.05)X	0.77 \pm 0.04 (6.40)X

NORTH-WEST	Big apples and big cashew nuts	Control	1.77±0.04 (59.75)b	0.46±0.16 (3.44)a	0.62±0.20 (3.68)a
		Mulching	1.76±0.03 (57.13)b	0.36±0.09 (2.44)a	0.81±0.10 (8.69)a
	Mulching + Manure	1.90±0.04 (80.56)a	0.44±0.21 (3.81)a	1.04±0.19 (14.13)a	
	Mean	1.80±0.03 (65.81)A	0.42±0.09 (3.23)B	0.82±0.10 (8.83)A	
	Small apples and small cashew nuts	Control	1.64±0.02 (43.13)b	0.67±0.17 (5.19)a	0.60±0.12 (4.44)a
		Mulching	1.77±0.08 (62.19)b	0.77±0.07 (6.00)a	0.82±0.14 (7.63)a
	Mulching + Manure	2.01±0.01 (101.81)a	0.76±0.14 (6.56)a	1.14±0.12 (15.06)a	
	Mean	1.81±0.05 (69.04)A	0.74±0.07 (6.08)A	0.85±0.09 (9.04)A	
GENERAL MEAN			1.80±0.03 (67.43)X	0.58±0.06 (4.66)Y	0.84±0.07 (8.94)X

Within column, means followed by letters of same letter case are not significantly different ($p > 0.05$) according to Student Newman-Keuls test. The real values in brackets have been transformed by $\log_{10}(n)$ for the count data (number of the different flowers) (Dagnelie, 1998) – *Les moyennes suivies de la même lettre alphabétique de même casse et pour le même facteur ne sont pas significativement différentes ($p > 0.05$) d'après le test de Student Newman-Keuls. Les valeurs réelles (entre parenthèses) ont subi une transformation $\log_{10}(n)$ (Dagnelie, 1998).*

3.3. Effect of the different treatments on the size of cashew apples and nuts

The results of analysis of variance (Table 7) showed that, apart from nut circumference, the geographical area of production significantly affected cashew's apple and nut sizes ($p < 0.05$). Furthermore, apart from the nut length, it was observed that cashew nuts and apples' length and circumference were significantly affected by the treatments ($p < 0.01$). However, it was observed that the nuts and apples' length, circumference and their weight were not significantly affected by cashew cultivars ($p > 0.05$). The results of analysis of variance showed that the interaction between the tree factors did not significantly ($p > 0.05$) affected cashew fruits size (Table 7).

Table 7. F-values and level of significance from three-way analysis of variance (ANOVA) of the cashew nut and apple size regarding the geographical area, cultivar characteristics and treatments – *Tableau d'analyse de la variance à trois facteurs (valeurs de F) des dimensions des pommes et des noix considérant l'année, la zone de production et le morphotype.*

Source of variation	Degree of freedom	Fisher's value			
		Cashew Nuts		Cashew apples	
		Length	Circumference	Length	Circumference
Zone	1	53.76***	7.92**	86.07***	0.01ns
Cultivars	1	1.51ns	1.12ns	0.57ns	0.36ns
Treatments	2	17.44***	7.91**	3.25*	8.28**
Replication	3	3.99ns	3.39ns	0.81ns	1.60ns
Zone*Cultivars	1	0.21ns	1.81ns	0.63ns	1.71ns
Zone*Treatments	2	2.35ns	0.58ns	2.21ns	2.08ns
Cultivars* Treatments	2	2.42ns	3.34*	3.91*	0.17ns
Zone* Cultivars * Treatments	2	2.32ns	1.14ns	0.75ns	0.89ns

ns: not significant at 5%; *: significant at 5%; **: very significant at 5%; ***: very highly significant at 5% – ns : non significatif au seuil de 5% ; * : significatif au seuil de 5% ; ** : très significatif au seuil de 5% ; *** : très hautement significatif au seuil de 5%.

Table 8 presents the effect of the geographical area of production, cashew cultivars and treatments on the nuts and apples' length and circumference. As for the treatments, the mulching combined with organic manure (treatment T2) induced the biggest apple for cultivar 2 compared to the control. In the North-Western area, treatment T2 induced the biggest cashew nut and apple for cultivar 2 compared to the control. In general, the student Newman-Keuls test revealed that the biggest nuts and apples were found in the North-Western area ($p < 0.05$) compared to those of the Centre.

Table 8. Effect of the geographical area, cultivar characteristics and treatments on the size of cashew apples and nuts (means \pm standard errors) – *Effet des traitements sur les dimensions des fruits de l'anacardier (valeur moyenne \pm erreur standard) suivant l'année, la zone de production et le morphotype.*

Zones	Cultivars	Treatments	Cashew apple		Cashew nut		
			Length	Circumference	Length	Circumference	
CENTRE	Big apples and big cashew nuts	Control	7.62 \pm 0.48 a	14.76 \pm 0.64 a	3.65 \pm 0.28 a	6.77 \pm 0.11 a	
		Mulching	8.84 \pm 0.46 a	14.72 \pm 0.23 a	3.90 \pm 0.16 a	6.60 \pm 0.07 a	
		Mulching + Manure	9.83 \pm 0.66 a	15.92 \pm 0.77 a	3.73 \pm 0.16 a	6.94 \pm 0.22 a	
		Moyenne	8.76 \pm 0.39 A	15.37 \pm 0.35 A	3.76 \pm 0.11 A	6.77 \pm 0.09 A	
	Small apples and small cashew nuts	Control	6.99 \pm 0.14 b	13.74 \pm 0.13 a	3.34 \pm 0.15 a	6.45 \pm 0.13 a	
		Mulching	8.32 \pm 0.94 ab	15.55 \pm 1.51 a	3.74 \pm 0.16 a	6.58 \pm 0.14 a	
		Mulching + Manure	9.55 \pm 0.52 a	16.43 \pm 0.66 a	3.79 \pm 0.11 a	6.73 \pm 0.08 a	
		Mean	8.29 \pm 0.45 A	15.24 \pm 0.60 A	3.62 \pm 0.09 A	6.58 \pm 0.07 A	
	GENERAL MEAN			8.52 \pm 0.30 Y	15.19 \pm 0.34 Y	3.69 \pm 0.07 Y	6.68 \pm 0.06 X
	NORTH-WEST	Big apples and big cashew nuts	Control	9.21 \pm 0.67 b	15.11 \pm 1.20 b	4.67 \pm 0.15 a	6.32 \pm 0.31 a
Mulching			10.90 \pm 0.35 ab	16.67 \pm 0.05 ab	4.30 \pm 0.07 a	6.69 \pm 0.07 a	
Mulching + Manure			12.03 \pm 0.76 a	18.50 \pm 0.91 a	4.54 \pm 0.16 a	6.94 \pm 0.25 a	
Mean			10.70 \pm 0.47 A	16.76 \pm 0.62 A	4.50 \pm 0.08 A	6.65 \pm 0.15 A	
Small apples and small cashew nuts		Control	9.41 \pm 0.03 b	14.85 \pm 0.03 a	4.19 \pm 0.07 b	6.41 \pm 0.12 b	
		Mulching	10.65 \pm 0.56 a	16.20 \pm 0.46 a	4.44 \pm 0.15 b	6.56 \pm 0.18 b	
		Mulching + Manure	11.42 \pm 0.31 a	16.41 \pm 0.58 a	4.89 \pm 0.08 a	7.19 \pm 0.10 a	
		Mean	10.49 \pm 0.32 A	15.82 \pm 0.31 A	4.51 \pm 0.10 A	6.72 \pm 0.12 A	
GENERAL MEAN			10.60 \pm 0.28 X	16.29 \pm 0.35 X	4.50 \pm 0.06 X	6.68 \pm 0.10 X	

Within column, means followed by same letters and letter case are not significantly different ($p > 0.05$) according to Student Newman-Keuls test – *Les moyennes suivies de la même lettre alphabétique de même casse et pour le même facteur ne sont pas significativement différentes ($p > 0,05$) d'après le test de Student Newman-Keuls. Les valeurs réelles (entre parenthèses) ont subi une transformation $\log_{10}(n)$ (Dagnelie, 1998).*

3.4. Effect of the different treatments on the cashew's yield

The results of analysis of variance (Table 9) show that the geographical area of production and the treatments as well as the interaction between geographical area and treatment significantly affected cashew's production ($p < 0.001$). However, apart from the number of nuts, the quantity of nuts and apples produced did not significantly vary regarding the cultivar characteristics ($p > 0.05$).

Table 10 presents the effect of the geographical area of production, cashew cultivars and treatments on the yield of cashew nuts and apples. Considering the treatments, high production level and number of nuts and apples were recorded in the Centre with mulching treatment and mulching combined with manure treatment, while only mulching combined with manure induced high production in the North. In general, the student Newman Keuls test revealed that cashew trees produced more in the North-West ($p < 0.05$) compared with the Centre. Moreover, the mulching combined with organic manure, significantly ($p < 0.05$) induced an increase in the number of cashew nuts by 300 % and 100 % for trees producing small apples and small cashew nuts and trees producing big apples and big cashew nuts, respectively, compared to trees receiving only mulching in the North. The same result is recorded with the nut weight. In general, the different treatments produced higher yields in the North compared to

the Centre. In general, the results show a greater decline of cashew nut production in the Centre than in the North. A total quantity of 1.41 ± 0.05 kg of nut/tree and 1.75 ± 0.21 nut/tree were recorded respectively with mulching alone and mulching combined with manure in the Centre, while 1.58 ± 0.12 kg of nut/tree and 5.22 ± 0.25 kg of nut/tree were recorded in the North-West with mulching and mulching combined with manure, respectively.

Table 9. Three-ways analysis of variance (F-values) of apple and nut weights regarding the zones, cultivar and the treatments – *Tableau de l'analyse de la variance à trois facteurs (valeurs de F) des poids des pommes et des noix considérant l'année, la zone de production et le morphotype.*

Source of variation	Degree of freedom	Fisher's value		
		Number of Nut	Weight of apples	Weight of Nut
Zone	1	20.89***	26.69***	35.16***
Cultivars	1	9.68**	0.37ns	1.95ns
Treatments	2	69.23***	40.83***	67.21***
Replication	3	1.37ns	0.08ns	0.50ns
Zone*Cultivars	1	0.01ns	0.26ns	0.19ns
Zone*Treatments	2	4.12*	6.26*	24.55***
Cultivars* Treatments	2	6.17**	0.46ns	0.43ns
Zone* Cultivars * Treatments	2	1.03ns	0.31ns	0.00ns

ns: not significant at 5%; *: significant at 5%; **: very significant at 5%; ***: very highly significant at 5% – ns : non significatif au seuil de 5% ; * : significatif au seuil de 5% ; ** : très significatif au seuil de 5% ; *** : très hautement significatif au seuil de 5%.

Table 10. Effect of geographical area, cultivar characteristics and treatments on the number of nuts and cashew apples and nut weight (means \pm standard errors) – *Effet des traitements sur les rendements des anacardiens (valeur moyenne \pm erreur standard) suivant l'année, la zone de production et le morphotype.*

Zones	Cultivars	Treatments	Number of Nuts	Weight of Apples (kg/tree)	Weight of Nut (kg/tree)
CENTRE	Big apples and big cashew nuts	Control	1.61 ± 0.15 b (47.00)	2.82 ± 0.84 b	0.48 ± 0.14 b
		Mulching	2.17 ± 0.10 a (158.75)	7.35 ± 2.26 ab	1.36 ± 0.70 a
		Mulching + Manure	2.37 ± 0.15 a (278.25)	19.81 ± 5.61 a	1.92 ± 0.37 a
		Moyenne	2.05 ± 0.12 A (161.33)	9.99 ± 2.84 A	1.25 ± 0.30 A
	Small apples and small cashew nuts	Control	0.80 ± 0.26 b (11.25)	1.10 ± 0.67 a	0.09 ± 0.05 b
		Mulching	2.25 ± 0.12 a (201.00)	7.55 ± 1.16 b	1.46 ± 0.32 a
		Mulching + Manure	2.33 ± 0.09 a (229.50)	20.47 ± 8.43 a	1.58 ± 0.54 a
		Mean	1.79 ± 0.23 A (147.25)	9.71 ± 3.54 A	1.04 ± 0.28 A
GENERAL MEAN			1.92 ± 0.13 Y (154.29)	9.85 ± 2.22 Y	1.15 ± 0.20 Y

Table 10 (continue). Effect of geographical area, cultivar characteristics and treatments on the number of nuts and cashew apples and nut weight (means \pm standard errors) – *Effet des traitements sur les rendements des anacardiens (valeur moyenne \pm erreur standard) suivant l'année, la zone de production et le morphotype.*

Zones	Cultivars	Treatments	Number of Nuts	Weight of Apples (kg/tree)	Weight of Nut (kg/tree)
NORTH- WEST	Big apples and big cashew nuts	Control	1.98 \pm 0.02 c (96.00)	8.15 \pm 0.79 c	0.82 \pm 0.04 c
		Mulching	2.27 \pm 0.11 b (202.00)	23.25 \pm 3.19 b	1.64 \pm 0.22 b
		Mulching + Manure	2.97 \pm 0.05 a (945.25)	45.69 \pm 8.30 a	5.49 \pm 0.23 a
		Moyenne	2.41 \pm 0.13 A (414.42)	25.69 \pm 5.37 A	2.65 \pm 0.62 A
	Small apples and small cashew nuts	Control	1.51 \pm 0.20 c (41.00)	3.02 \pm 1.17 c	0.29 \pm 0.10 b
		Mulching	2.22 \pm 0.19 b (224.25)	15.64 \pm 6.31 b	1.51 \pm 0.49 b
		Mulching + Manure	2.76 \pm 0.05 a (584.75)	49.16 \pm 4.85 a	4.94 \pm 0.51 a
		Mean	2.17 \pm 0.18 B (283.33)	22.60 \pm 6.35 A	2.25 \pm 0.63 A
GENERAL MEAN			2.29 \pm 0.11 X (348.88)	24.15 \pm 4.08 X	2.45 \pm 0.44 X

Within column, means followed by same letters and letter case are not significantly different ($p > 0.05$) according to Student Newman-Keuls test. The real values in brackets have been transformed by $\log_{10}(n)$ for number of nuts – *Les moyennes suivies de la même lettre alphabétique de même casse et pour le même facteur ne sont pas significativement différentes ($p > 0,05$) d'après le test de Student Newman-Keuls. Les valeurs réelles (entre parenthèses) ont subi une transformation $\log_{10}(n)$ (Dagnelie, 1998).*

4. DISCUSSION

4.1. Influence of mulching and manure on tree phenology

The evaluation of the effect of the different treatments on the phenology of cashew cultivar characteristics revealed in the Centre that mulching induced early setting of flower buds, while in the Northern zone, the mulching combined with the manure resulted in an early setting of the flower buds, all the flowers and apples. Similarly, these results show that the setting of all buds, nuts, and apples were earlier in the Centre compared to the North. Research conducted by Patil Shirish et al. (2013) reported similar results on mango and guava trees in India. According to these authors, in the context of climate change, an increase in CO₂ and changes in the climate variables (temperature, radiation, precipitation) will affect the growth and development of all plant species, especially fruit trees. Indeed, the photosynthetic activity of plant, which allows the production of biomass, depends on the absorbed radiation, temperature, CO₂ rate, water availability and a major element, nitrogen (Bambara et al., 2013). Thus, mulching and organic amendments are valuable elements in reducing water loss through evaporation (Patil Shirish et al., 2013). However, the decomposition of organic matter by microorganisms is controlled by climatic factors, especially temperature and rainfall. According to Rupa et al. (2013) and Ricau (2013), temperature is the driving force behind cashew development. It also regulates most of the chemical and biochemical processes of living organisms. As such, it plays a major role in the quantity of biomass produced, the number and period of organs emergency and the composition and quality of the products harvested. This will have implications on the phenology cycle of the cashew tree. The significant effect of manure and mulching on the phenology in the both zones could be explained by the decomposition of organic matter, temperature and amount of rain received during the vegetative stage (from June to October). Indeed, according to Saïdou et al. (2012), the rise in temperature favors an increase of the decomposition and mineralization rate of the organic matter present or brought to the soil, as the heat stimulates microbial activity. During this process, an increase in the release of carbon dioxide and methane into the atmosphere is noticed, this can also stimulate plant growth and thus carbon and nitrogen in the soil through mineralization process.

The results show that manure and mulching induced the highest numbers of male and hermaphrodite flowers irrespective of the cultivar characteristics in the North, while the number of abnormal flowers is high in the Centre (17.05 ± 1.71). Balogoun et al. (2016) obtained similar results. Indeed, the difference in the numbers of flowers could be explained by the fact that in the North-West zone, the rainfall is more or less well distributed. According to Badjana et al. (2014) and Balogoun et al. (2016), as mentioned in the previous section, the area is crossed by the chain of Atacora (600 m). The hills that cross the zone stop the south-western maritime trade winds called monsoon which blows south-west to north-east and favors the formation of clouds and therefore heavy rainfall in the area. Thus, the higher the soil moisture content, the higher the rate of the decomposition process of organic residues, and vice versa. Combined with temperature fluctuations, changes in precipitation will have an impact on the structure and soil organic matter and consequently on their ability to conserve water and feed the trees for better flowering.

4.2. Influence of mulching and manure on the cashew nut and apple yield

In both production areas, mulching combined with the manure induced the best fruit size and quantity compared to the control trees. Moreover, the different treatments produced higher yields in the North compared to the Centre. In general, 1.41 ± 0.05 kg of nut/tree and 1.75 ± 0.21 nut/tree respectively for mulching and mulching combined with manure were recorded in the Centre, while 1.58 ± 0.12 kg of nut/tree and 5.22 ± 0.25 kg of nut/tree were recorded in the North-West for mulching and mulching combined with manure treatments, respectively. These yields are higher than those recorded by Balogoun (2016) in Central Benin (0.55 ± 0.02 kg/tree in the first season with organo-mineral fertilizer application). Our results corroborate those obtained by Mane et al. (2009) who find an increase by 350% in the cashew raw nut yield in India with mulch of green manure consisted of *Gliricidia*. The difference observed between these levels of yield could be explained by the amount of mulch and manure applied and their role in the soil water conservation. Indeed, soils receiving regularly fertilizer give almost good response and lead to high yields (Bertrand & Gigou, 2000; Balogoun, 2016). The organic manure has improved the stock of humus, the physico-chemical properties of the soil and the CEC. As a consequence, it probably improved nutrient stock and soil water content. This could explain the performance recorded by the manure combined with mulching treatment. In fact, during mineralization process of the organic manure nutrients release gradually in soil solution, which is beneficial for the trees. Moreover, according to Balogoun (2016), apart from the macronutrients contained in the organic manure, it also contains micronutrients useful for tree fruiting.

Our results corroborate those of Rupa et al. (2013), which showed that mulching and manure have beneficial effects on soil moisture and temperature, as well as growth and yield of cashew trees. Indeed, according to Saidou et al. (2012) and Dugue (2012), mulch with crop residues or organic manure is a renewable resource of soil organic carbon (SOC). The high quantity of mulch and manure applied constitutes, on the one hand, a large reservoir of organic carbon and on the other hand a strategy that reduce evapotranspiration. This could explain the availability of water in the soil during the fruiting periods. In India, Rupa et al. (2013) obtained moisture levels up to 19% in the dry season (cashew fruiting stage) when green manures of *Gliricidia* and *Sesbania* are applied.

Our results also showed that mulching combined with manure produced higher yields in the Northern zone compared to the Centre, which is recognized as high cashew production area in Benin. The increase of the cashew nut and apple yields in this zone can be explained on the one hand by the level of rainfall and a mean temperature favorable for the development of the tree. Our results showed that in 2016, the district of Glazoué recorded 825.35 mm of water against 1,045.10 mm for Djougou. Furthermore, the low nut and apple yields obtained in the Centre zone compared to the North could be due to the effect of the various climatic factors that have greatly influenced production in the Centre (Balogoun et al., 2016) and amount of abnormal flowers (17.05 ± 1.71) recorded. In fact, as indicated also by these authors, in this area a large number of hermaphroditic flowers leading to fruit production have been affected while the high amount of abnormal flowers recorded did not lead to fruit formation. It is then quite obvious that the yield is also affected. Also, it is observed that the flowers of several trees in the Central zone have not evolved to fruits, compared to the North. During the flowering period (December, 2016), two successive rains were recorded on the site, as reported by Balogoun et al. (2016), while the last rain occurred at the end of October 2016 in Djougou district (Figure 2). These two days of rain affected the flowering process and hence fruit production. The results of this research show the importance to include mulching and organic manure as adaptation strategy to climate change for cashew plantation management. Based on our findings and on those of Balogoun (2016), mulching combined with organic manure constitutes an opportunity for climate adaptation for farmers' cashew plantations in Benin. Nevertheless, resistant cultivars to drought and climate variability remain a key concern for the scientific community.

5. CONCLUSIONS

The present study showed that mulching combined with organic manure resulted in high cashew nut and apple yields and early onset of tree organs in the Northern zone (Djougou), while in the Centre there was no significant difference between treatment that received only mulching and the combined mulching and organic manure. Moreover, cashew nut and apple yields recorded in the North are clearly higher than that registered in the district of Glazoué due to the favorable climatic conditions. The beneficial effect of mulching combined with organic manure on the productivity of the cashew trees was clearly highlighted in the present study. Sufficient quantity of mulch combined with manure is suggested therefore as climate change adaptation opportunity for local farmers' plantation in Benin. In prospect, it is suggested that long-term experiments on this strategy being carried out in order to assess its sustainability over time. Nevertheless, resistant cultivars to drought and climate variability must remain a key concern for the scientific community.

Acknowledgments

The authors wish to sincerely thank the International Development Research Center (IDRC) and START (SysTEM Analysis for Research and Training) department through the ACCFP (African Climate Changes Fellowship Programme) for funding this research.

Bibliography

- Badjana H.M. et al., 2014. Analyse de la variabilité temporelle et spatiale des séries climatiques du nord du Togo entre 1960 et 2010. *European Scientific Journal*, **10**, No.11 ISSN: 1857-7881.
- Balogoun I. et al., 2014. Caractérisation des systèmes de production à base d'anacardier dans les principales zones de culture au Bénin. *Agronomie africaine*, **26**(1), 9-22.
- Balogoun I. et al., 2016. Effect of climatic factors on cashew (*Anacardium occidentale* L.) productivity in Benin. *Journal of Earth Science & Climate Change*, **7**(2), 329-338. DOI:10.4172/2157-7617.1000329
- Balogoun I., 2016. *Caractérisation des facteurs édaphiques et climatiques pour l'amélioration de la productivité de l'anacardier au Bénin*. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 157 p.
- Bambara D. et al., 2013. Perceptions paysannes des changements climatiques et leurs conséquences socio environnementales à Tougou et Donsin. Climat sahélien et sahélo-soudanien du Burkina Faso. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB)*, **74**, 1025-2355.
- Bello O.D. et al., 2016. Trend Analysis of Climate Change and Its Impacts on Cashew Nut Production (*Anacardium Occidentale* L.) In Benin. *Oct. Jour. Env. Res.*, **4**(3), 181-197.
- Bello O.D. et al., 2017. Climate change and cashew (*Anacardium occidentale* L.) productivity in Benin (West Africa): perceptions and endogenous measures of adaptation. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **11**(3), 924-946.
- Bertrand R. & Gigou J., 2000. *La fertilité des sols Tropicaux*. Édition Maisonneuse & Larose. Paris, 397 p.
- Chabi Sika K. et al., 2015. Morphological characterization and agronomic performances of cashew (*Anacardium occidentale* L.) accessions from Benin. *Journal of Agricultural and Crop Research*, **3**(2), 27-40.
- Dagnelie P., 1998. Statistique théorique et appliquée. Tome 2 : Inférences statistiques à une et deux dimensions. De Boeck et Larcier. Paris-Bruxelles. France Belgique. 659 p.
- FAO, 1990. FAO-UNESCO Soil Map of the World. Revised Legend. *Soils Bulletin*, **60**, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italie, 199 p.
- Hahn M.N., Reiderer A.M. & Foster S.C., 2009. The Livelihood vulnerability Index: A pragmatic approach to assessing risks from climate variability and change. A case study in Mozambique. *Global Environmental change*, **19**(1), 74-88.
- Mane M.S., Mahadkar U.V., Ayare B.L. & Thorat T.N., 2009. Performance of mechanical soil conservation measures in cashew plantation grown on steep slopes of Konkan. *Indian J Soil Conserv.* **37**(3), 181-184.
- MEPN, 2011. *Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. Programme d'Action National d'Adaptation aux changements climatiques du Bénin (PANA- Bénin)*. République du Bénin, 98 p.
- Nawale R.N., Sawke D.P. & Salvi M.J., 1985. Effect of black polyethylene mulch and supplemental irrigation on fruit retention in cashew nut. *Cashew Causeerie*, **7**(3), 8-9.
- PAG, 2016-2021. Programme d'Action du Gouvernement du Bénin, 75 p.
- Page A.L., Miller R.H. & Keeney D.R., 1982. Methods of soil analysis part 2: chemical and microbiological properties, second edition. American Society of Agronomy Inc, Soil Science Society of America Inc publisher, Madison, Wisconsin US, 1 159 p.

- Patil Shirish S., Kelkar Tushar S. & Bhalerao Satish A., 2013. Mulching: A Soil and Water Conservation Practice, *Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences*, **1**(3), 26-29.
- Prasada Rao G.S.L.H.V., Alexander D., Krishnakumar K.N. & Gopakumar C.S., 2010. Climate change and agriculture over Kerala. In: Prasada Rao GSLHV, Rao GGSN, Rao VUM (eds). Climate change and agriculture over India. *PHI Learning, New Delhi*, p. 43-66.
- PROANAC, 2013. *Projet « Biodiversité et valorisation agroalimentaire des produits de l'anacardier au Bénin »*. Rapport annuel d'activités du projet. Laboratoire de Biologie Végétale, FSA/UAC, Bénin. 90 p.
- Ricau P., 2013. *To know and to understand the cashew international market*. Publication of RONGEAD.
- Rupa T.R., Rejani R. & Bhat G.M., 2013. Impact of Climate Change on Cashew and Adaptation Strategies. Climate-Resilient Horticulture: Adaptation and Mitigation Strategies. 978-81-322-0974-4-17, pp. 189-198, *Springer India*.
- Saidou A. et al., 2012. Effet d'un système agroforestier à karité (*Vitellaria paradoxa* c.f. gaertn) sur le sol et le potentiel de production du maïs (*Zea maize*) en zone Soudanienne du Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **6**(5), 2066-2082.
- Tidjani M.A. & Akponikpe P.B.I., 2012. Évaluation des stratégies paysannes d'adaptation aux changements climatiques : cas de la production du maïs au Nord-Bénin. *African Crop Science Journal*, **20**(2), 425-441. DOI: 10.5897/2012.10275
- Walkley A. & Black I.A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.*, **37**, 29-38.

9. Analyse du niveau de fertilité chimique des sols sous anacarderaies (*Anacardium occidentale* L.) dans le département de Korhogo au nord de la Côte d'Ivoire

Loua Barthélémy Diomandé, Sibirina Soro, Dofoungo Koné, Kouakou Dongo Paul Adingra

Université Peleforo GON COULIBALY, Institut de Gestion Agropastorale, Filière Agriculture, Korhogo (Côte d'Ivoire), BP 1328 Korhogo

*E-mail auteur correspondant : barthelemy.diomande@upgc.edu.ci

Description du sujet. La Côte d'Ivoire est le premier pays exportateur de noix brutes de cajou. Cependant, le rendement en noix des vergers d'anacardiens (*Anacardium occidentale* L.) reste encore faible dans la plupart des zones de production, avec 350 kg.ha⁻¹ contre 1 000 kg.ha⁻¹ en Inde et 2 000 kg.ha⁻¹ au Vietnam.

Objectifs. Cette étude a été conduite dans le but de déterminer le pH et les teneurs en éléments nutritifs importants des vergers d'anacardiens en vue de gérer durablement la fertilité des sols pour l'obtention de meilleurs rendements dans le département de Korhogo au nord de la Côte d'Ivoire.

Méthode. Vingt-et-un vergers, dont l'âge est supérieur à 15 ans, ont été choisis de façon aléatoire. Sous ces vergers, le sol a été échantillonné dans l'horizon 0-30 cm de profondeur. Dans chaque verger, 21 échantillons composites issus chacun de 32 échantillons élémentaires ont été prélevés. Ces échantillons ont été analysés pour le pH et les teneurs en azote, phosphore, potassium, calcium, magnésium, fer, zinc, cuivre et manganèse. Ces valeurs obtenues ont été comparées aux seuils critiques de chaque élément.

Résultats. Les résultats ont révélé que les sols ont en général un pH acide et des teneurs en azote, potassium, magnésium, calcium et zinc variant des niveaux faibles à très faibles. Quant au phosphore, 9 vergers ont une teneur très faible à faible et 12 ont une teneur normale à élevée. Par contre, le fer, le cuivre et le manganèse ont un niveau élevé à très élevé dans les sols des sites étudiés.

Conclusions. Les sols sous anacarderaies étudiés présentent une déficience en différents éléments nutritifs majeurs et en oligoéléments. La détermination de formules et de doses optimales d'engrais organo-minéraux peut permettre de relever le niveau de rendement en noix et pommes d'anacarde dans les zones de production.

Analysis of soil chemical fertility's level under cashew trees (*Anacardium occidentale*) plantations in Korhogo department from North Côte d'Ivoire

Description of subject. Côte d'Ivoire is the first exporter country of brute cashew nut. But, the yield by orchard is very low with 350 kg.ha⁻¹ against 1,000 kg.ha⁻¹ in India et 2,000 kg.ha⁻¹ in Vietnam.

Objectives. For explaining the low yield of cashew orchard in Côte d'Ivoire, influence of soil pH and essential nutrients content under orchards of cashew trees were evaluated at Korhogo department (North Côte d'Ivoire).

Method. Twenty one (21) orchards old more than 15 years were selected randomly. Under these orchards, soil was sampled to a depth of 0-30 cm. Under each orchard, a composite soil sample from 32 elementary samples collected by auger. Samples were sent to laboratory in order to evaluate pH and nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, iron, zinc et copper. The values from analysis were compared to critical levels.

Results. The soils under orchards studied are acid and nitrogen, phosphorus, calcium and zinc contents are strongly low. Concerning magnesium et potassium, level varies between strongly low and low. In contrast, iron, copper and manganese have got high level.

Conclusions. The cashew trees studied suffers from serious nutritional deficiency in major, secondary and trace nutrients. For increasing the yield of cashew nut in the north of Côte d'Ivoire, recovery fertilisation is necessary which must be putting at normal level the soil pH and all deficient nutrients following an appropriate fertilisation plan.

1. INTRODUCTION

Anacardium occidentale, arbre originaire du Brésil, se développe bien dans les écologies tropicales entre les latitudes 15 degrés Nord et Sud. À cause de son architecture, sa résistance à la sécheresse et la quantité importante de litière qu'il produit, cet arbre se présente comme un excellent protecteur de l'environnement (Adeigbe et al., 2015).

Anacardium occidentale a été introduit en Côte d'Ivoire dans les années 60 dans le cadre d'une politique de conservation des sols et d'un programme de reboisement des savanes du nord. Progressivement, d'un aspect purement écologique, l'implantation de vergers d'*A. occidentale* passe à un aspect socio-économique à cause des noix commercialisables, appelées noix de cajou, que cet arbre produit. Du fait de la demande croissante des noix de cajou sur le marché international, la filière cajou en Côte d'Ivoire a ainsi connu un développement significatif avec une augmentation de la production nationale de noix brutes. Elle est passée de 19 000 tonnes en 1990 à plus de 650 000 tonnes en 2015, favorisant des recettes d'exportations avoisinant les 370 milliards de FCFA (FIRCA & CCA, 2015).

La filière anacarde apparaît aujourd'hui comme l'un des principaux moteurs du développement économique et social des zones nord, centre et est de la Côte d'Ivoire. Elle est clairement une source intéressante de croissance économique avec l'avantage d'avoir été développée dans les régions les plus pauvres du pays et d'avoir le potentiel de générer des emplois ruraux importants grâce à l'agriculture et l'industrialisation rurales.

Cependant, le développement d'*A. occidentale* s'étant opéré spontanément sans orientation stratégique, la filière anacarde a été très rapidement confrontée à certaines difficultés. Les plus importantes ont trait à la faiblesse des rendements – qui sont en moyenne de 350 kg.ha⁻¹ comparativement à un niveau de 1 000 kg.ha⁻¹ en Inde et de 2 000 kg.ha⁻¹ au Vietnam ainsi qu'à la mauvaise qualité des noix brutes (FIRCA & CCA, 2015).

En Inde, 500 g d'azote, 125 g d'anhydride phosphorique et 125 g de potasse associé au fumier par arbre/an a permis d'augmenter significativement la production de l'anacarde (Bhaskar Rao, 2017). En effet, la production d'un verger d'anacarde dépend aussi du niveau des éléments nutritifs contenus dans le sol. Jusqu'à ce jour, très peu des travaux de recherche ont abordé l'aptitude culturale des sols sous anacarderaies en Côte d'Ivoire. C'est pour combler ce vide d'informations que la présente étude se propose de déterminer le pH et la teneur des éléments nutritifs majeurs et des oligoéléments importants dans les sols sous culture d'anacardiers dans le département de Korhogo.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Zone d'étude

Situé au nord de la Côte d'Ivoire dans le secteur sub-soudanais, le département de Korhogo est caractérisé par un climat de type soudano-guinéen à deux saisons : une saison pluvieuse et une saison sèche qui dure chacune six mois. La pluviométrie moyenne annuelle, atteignant 1 400 mm par le passé, est descendue autour de 1 100 mm au cours des deux dernières décennies. Les températures moyennes annuelles s'élèvent à environ 29 °C pendant le harmattan et à 25 °C en saison pluvieuse. L'insolation est de 260 heures par mois en saison sèche, contre 140 heures en saison des pluies. La capacité érosive du climat est de 67,8 (Fournier, 1960). L'indice de drainage varie sensiblement de 264 mm à 668 mm (Henin & Aubert, 1945). L'évapotranspiration est de 1 960 mm/an. Le déficit hydrique varie de 600 à plus de 750 mm/an. L'indice de dégradation spécifique du sol est de 1 360 t.km⁻².an⁻¹ dans les zones au relief peu accidenté contre 2 500 t.km⁻².an⁻¹ dans les zones plus accidentées. Les granites et les schistes sont les deux types de roches rencontrées dans cette région (Beaudou & Sayol, 1980) et qui constituent la roche mère des sols qui sont essentiellement des ferralsols, des cambisols, des luvisols, des plinthosols et des gleysols (Diomandé, 2014). Les paysages morpho-pédologiques rencontrés sont, par ordre d'importance, des plateaux à sommet cuirassé représentés à 33,3 %, des plateaux à sommet cuirassé partiellement démantelés représentés à 28,5 % et des collines légèrement convexes ou plan-convexes représentées à 12,3 % (Beaudou & Sayol, 1980). La végétation est de types savane arborée, savane boisée et savane arbustive selon le niveau de pression foncière.

2.2. Méthodes

Dans le département de Korhogo, 21 vergers dont l'âge est supérieur à 15 ans ont été choisis de façon aléatoire un mois avant la floraison. Sous ces vergers, le sol a été échantillonné dans l'horizon 0-30 cm de profondeur. Dans chaque plantation, un échantillon composite constitué de 32 échantillons élémentaires a été prélevé à l'aide d'une

tarière. Ces échantillons prélevés ont été analysés au laboratoire pour le pH et les teneurs en azote, phosphore, potassium, calcium, magnésium, fer, zinc, cuivre et manganèse. Pour chaque paramètre, les teneurs déterminées ont été comparées aux valeurs de seuils critiques indiqués dans les tableaux 1, 2 et 3.

Tableau 1. Domaine d'acidité de sol et qualification – *Acidity field and qualification.*

Domaine du PH eau du sol	Qualification
pH < 3,5	hyper-acide
3,5 < pH < 5	très acide
5 < pH < 6,5	acide
6,5 < pH < 7,5	neutre
7,5 < pH < 8,7	basique
> 8,7	très basique

Source : INRA (1995)

Tableau 2. Valeurs indicatives des seuils critiques de teneurs des éléments nutritifs dans les sols tropicaux en général – *Indicative levels of soil nutrients' critical values in tropical soils in general.*

Éléments chimiques	Valeurs critiques d'interprétation			
	très faible	faible	normale	élevée
N total (g.kg ⁻¹)	< 0,5	0,5 à 1	1 à 1,5	> 2,5
P ass(g.kg ⁻¹)	< 15	15 à 25	25 à 50	> 50
K (cmol.kg ⁻¹)	< 0,1	0,1 à 0,15	0,15 à 0,40	> 15
Ca (cmol.kg ⁻¹)	< 1,0	1 à 2,5	2,5 à 3,5	> 7,0
Mg (cmol.kg ⁻¹)	< 0,5	0,5 à 1,0	1,0 à 1,5	> 3,0

Source : Assa (2005)

Tableau 3. Seuils critiques des teneurs des oligoéléments dans le sol – *Critical limits of micronutrients in the soil.*

Éléments chimiques	Valeurs critiques d'interprétation (mg.kg ⁻¹)				
	très faible	faible	normale	élevée	très élevée
Zn	< 0,6	0,6 à 1,2	1,2 à 2,4	> 2,4	
Cu	< 0,2	0,2 à 0,4	0,4 à 0,8	0,8 à 1,6	1,6 à 3,2
Mn	< 2,5	2,5 à 3,5	3,5 à 7	> 7	
Fe	< 4,5	4,5 à 9	9 à 18	18 à 27	> 27

Source : Lindsay & Norvell (1978)

Le pH eau a été déterminé à l'aide d'un pH-mètre à partir d'une suspension de sol et d'eau distillée dans un rapport sol/eau de 1/2,5. L'azote a été dosé par la méthode Kjeldahl. Le phosphore assimilable a été mesuré par la méthode de dosage colorimétrique au bleu de molybdène après extraction par attaque de diacide. Les cations échangeables Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺ et Na⁺ sont déterminés après percolation sur le complexe adsorbant avec de l'acétate d'ammonium tamponné à pH 7. Ensuite, ils sont dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique. Quant au Fer (Fe), au manganèse (Mn), au Zinc (Zn) et au cuivre (Cu), ils ont été extraits à l'aide du chélateur DTPA, puis dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique.

3. RÉSULTATS

Le tableau 4 présente le résultat d'analyse des sols étudiés.

Tableau 4. pH et teneurs des constituants chimiques des sols étudiés – *pH and chemical constituents content in studied soils.*

Sites d'étude/ vergers	pH eau	C	N	P ass.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Fe	Mn	Cu	Zn
		g.kg ⁻¹		mg.kg ⁻¹	cmol.kg ⁻¹					mg.kg ⁻¹		
Waraniéré 1	5,0	0,75	0,06	42	0,669	0,211	0,071	0,039	35	94	36	0
Waraniéré 2	5,4	0,61	0,06	21	0,872	0,238	0,196	0,054	50	51	37	0
Fonavogo 1	4,4	0,71	0,07	42	1,066	0,450	0,080	0,058	37	98	13	2
Fonavogo 2	4,5	0,56	0,06	21	0,505	0,242	0,047	0,039	160	139	0	1
Lataha 1	5,0	0,77	0,06	22	1,388	0,233	0,074	0,029	131	124	31	0
Lataha 2	5,3	0,56	0,04	22	1,082	0,182	0,071	0,057	24	33	26	0
Nangnékaha 1	4,8	0,94	0,08	21	0,962	0,270	0,066	0,045	94	59	24	0
Nangnékaha 2	5,2	0,56	0,05	20	0,257	0,132	0,047	0,052	36	20	40	0
Kiémo 1	4,5	0,59	0,07	42	1,485	0,420	0,082	0,191	25	51	38	0
Kiémo 2	6,5	0,92	0,07	42	1,644	0,897	0,131	0,000	35	94	36	0
Sédiogo 1	6,0	0,39	0,06	26	0,648	0,643	0,094	0,000	50	50	38	0
Sédiogo 2	5,9	1,03	0,10	53	0,785	0,760	0,125	0,000	37	95	13	2
Moroviné 1	5,1	0,42	0,05	21	0,337	0,215	0,046	0,049	64	94	21	0
Moroviné 2	5,1	0,50	0,06	20	0,175	0,167	0,046	0,036	34	40	34	0
Guiembé 1	6,3	0,62	0,10	26	0,920	0,741	0,118	0,000	24	33	26	0
Guiembé 2	5,8	0,59	0,08	26	0,659	0,693	0,088	0,000	94	59	24	0
Karakoro 1	5,9	1,21	0,12	53	1,805	0,859	0,069	0,000	36	20	40	0
Karakoro 2	5,6	0,59	0,08	11	0,769	0,647	0,106	0,000	25	51	38	0
Ziévo 1	6,0	0,98	0,10	47	1,184	0,791	0,176	0,000	35	94	36	0
Ziévo 2	6,2	0,60	0,13	58	1,350	0,703	0,066	0,000	50	50	38	0
Torgokaha	6,0	0,98	0,11	68	1,288	0,701	0,227	0,000	37	95	13	2

3.1. Acidité des sols des vergers étudiés

Des 21 vergers étudiés, 4 vergers ont un pH du sol très acide (compris entre 4,2 et 5,0) tandis que les sols des 17 autres vergers ont un pH acide (compris entre 5 et 6,5).

3.2. Teneurs des sols en éléments nutritifs des vergers étudiés

La teneur en azote des sols étudiés est restée très faible sous tous les vergers étudiés (<0,5 g.kg⁻¹). Elle est comprise entre 0,04 et 0,13 g.kg⁻¹ avec une moyenne de 0,07 g.kg⁻¹.

La teneur en phosphore assimilable sous les vergers a varié entre 11 mg.kg⁻¹ et 68 mg.kg⁻¹. Elle est très faible à Karakoro 2, faible sous huit vergers, normale sous neuf vergers et élevée sous trois vergers.

Les teneurs en calcium du sol varient entre 0,17 cmol.kg⁻¹ et 1,80 cmol.kg⁻¹ avec une moyenne de 0,94 cmol.kg⁻¹. Elle est très faible pour 12 vergers et faible pour les 9 autres.

Les teneurs en magnésium varient entre 0,13 et 0,90 cmol.kg⁻¹ avec une moyenne de 0,48 cmol.kg⁻¹. Elle est faible pour 9 vergers et très faible pour les 12 autres.

Les teneurs en potassium sont comprises entre 0,05 et 0,23 cmol.kg⁻¹. La teneur en potassium est normale pour 3 vergers, faible pour 4 vergers et très faible pour les 14 autres.

Les teneurs des sols en zinc sont très faibles (<0,6 mg.kg⁻¹) sous 17 vergers, faible sous 1 (comprise entre 0,6 et 1,2) et normales (comprises entre 1,2 et 2,4 mg.kg⁻¹) sous 3 vergers.

Quant au fer, 4 vergers présentent des sols ayant des teneurs élevées (comprises entre 18 et 27 mg.kg⁻¹) et 17 vergers présentant des teneurs très élevées (> 12 mg.kg⁻¹).

Les teneurs du cuivre et du manganèse sont très élevées dans les sols étudiés. Elles sont respectivement supérieures à 3,2 mg.kg⁻¹ et 7 mg.kg⁻¹.

4. DISCUSSION

Les pH eau des sols des vergers de Fonavogo 1 et 2, Nangnénékaha et Kiémou 1 sont acides. L'acidification des sols de cette zone serait liée aux pratiques agricoles en culture cotonnière qui ne permet pas le plus souvent de couvrir les exportations des cultures (Traoré & Barthès, 2001) favorisant ainsi la perte des cations des basiques. Les travaux de Koulibaly (2011) ont montré que le principal facteur de l'acidification du sol en zone cotonnière est la mise en culture des terres qui provoque une forte désaturation du complexe adsorbant. Les sols des 17 autres vergers ont un pH peu acide (compris entre 5 et 6,5). Généralement, cette propriété est caractéristique des sols du secteur sub-soudanais. Les résultats obtenus par Diomandé et al. (2014) dans cette zone indiquent les mêmes valeurs de pH eau. Cette acidité des sols pourrait réduire les performances des anacardiens, car *A. occidentale* tolère les conditions de sols légèrement acides à neutres, de pH compris entre 6,3 et 7,3 (Tandjiékpon, 2005).

La teneur en azote des sols étudiés est restée très faible dans tous les vergers étudiés (<0,5 g.kg⁻¹). Le niveau très faible d'azote caractérise bien les sols sous savane en milieu tropicale. En effet, l'azote du sol provient essentiellement des végétaux supérieurs après décomposition de la litière. Dans cette zone, les feux de brousse cycliques et les systèmes de culture itinérante qui influencent la dynamique de la matière organique (Koné et al., 2009) ne donnent pas le temps nécessaire au sol de constituer son stock d'azote (Bationo & Buerkert, 2000). Le niveau faible d'azote obtenu dans cette étude est proche des résultats des travaux de Diomandé et al. (2014) réalisés en zone de savane au centre de la Côte d'Ivoire. La teneur en phosphore assimilable est très faible à Karakoro 2 et faible sous huit vergers. En effet, de nombreux sols des régions inter-tropicales sont limitants en phosphore en raison de leur fort pouvoir fixateur et de leur faible teneur en phosphore (Hinsinger, 2015). Le niveau faible du phosphore dans le sol a été mis en évidence par Koko (2008) sous les cacaoyers dans le sud-ouest de la Côte d'Ivoire.

Le niveau normal et élevé du phosphore sous respectivement neuf vergers et trois vergers traduit la libération du phosphore fixé sous la forme assimilable sous l'action de la matière organique. La principale cause de la biodisponibilité du phosphore dans le sol en milieu tropical est liée à l'action matière organique. Ouattara et al. (2017) ont montré l'effet de la matière organique sur la biodisponibilité du phosphore dans les sols sous les cultures de cacaoyer.

Les teneurs des sols étudiés en calcium, magnésium, potassium sont très faibles à faibles. Ce niveau faible des cations échangeables est en rapport avec l'acidité du sol. En effet, le pH du sol est un reflet relativement fidèle de la saturation du complexe adsorbant par les bases (Kopittke & Menzies, 2005). Cette déficience serait due à l'exportation par les récoltes sur plusieurs années sans une fumure de restitution. Cette déficience des sols sous anacardiens en bases échangeables en Côte d'Ivoire a été mise en évidence par les travaux de Diomandé et al. (2018).

Le zinc est en général déficitaire tandis que le fer, le cuivre et le manganèse ont des teneurs élevées à très élevées dans les sols étudiés. Le niveau faible de zinc et les niveaux élevés de fer, cuivre et manganèse dans les sols seraient liés à la nature du matériau parental. Nalovic & Pinta (1979) ont également montré le niveau faible du zinc contrairement au fer, manganèse et cuivre sur sol ferrallitique sur cipolin à Madagascar dans le cadre d'une recherche sur les éléments traces des sols tropicaux.

5. CONCLUSIONS

Les résultats de cette étude sur le niveau de fertilité chimique des sols fondent la faiblesse du rendement de l'anacardier dans la région d'étude. Les sols étudiés ont en général un pH acide et des teneurs en azote, potassium, magnésium, calcium et zinc variant des niveaux faibles à très faibles. Quant au phosphore, 9 vergers ont une teneur très faible à faible et 12 ont une teneur normale à élevée. Par contre, le fer, le cuivre et le manganèse ont un niveau élevé à très élevé dans les sols étudiés.

Les sols sous anacarderaies étudiés présentent une déficience en différents éléments nutritifs majeurs et en oligoéléments. La détermination de formules et de doses optimales d'engrais organo-minéraux peut permettre de relever le niveau de rendement en noix et pommes d'anacarde dans les zones de production.

Bibliographie

- Adeigbe O.O., Olasupo F.O., Adewale B.D. & Muiyiwa A.A., 2015. A review on cashew research and production in Nigeria in the last four decades. *Scientific Research and Essays*, **10**(5), 196-209.
- Aikpokpodion P.E., Uloko B. & Edibo G., 2009. Nutrient dynamics in soil and cashew (*Anacardium occidentale* L.) leaf and kernel in Kogi State, Nigeria. *Journal of Applied Biosciences*, **25**, 1573-1578.
- Assa A., 2005. *Précis de pédologie à l'usage des étudiants du second cycle des études universitaires*. Éditions Universitaires de Côte d'Ivoire.
- Bationo A., Buerkert A., 2000. Soil organic carbon management for sustainable land use in Sudano-Sahelian West Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **61**, 131-142.
- Beaudou A.G. & Sayol R., 1980. Étude pédologique de la région de Boundiali- Korhogo (Nord de la Côte d'Ivoire). Méthodologie et typologie détaillée (morphologie et caractères analytiques). Travaux et documents de l'ORSTOM N°112, 211 p.
- Bhaskar Rao E.V.V., 2017. *Integrated production practices of cashew in india*. Puttur, India: National Research Center for Cashew.
- Deckers J., 1993. La fertilité du sol et problème d'environnement dans différentes zones écologiques des pays en développement de l'Afrique sub-saharienne. In : Van Reuler H. & Prins W.H. (eds). *Rôle de la fertilisation pour assurer une production durable des cultures vivrières en Afrique Subsaharienne*. Leidschendam, Pays-Bas : Vereniging Van Kunstmest Producenten, 41-58.
- Diomandé L.B., Brahim K., Etienne V.T., Tié B.T., Yao-Kouamé A., 2014. Occurrence and leave extractable essential oil of *Lippia multiflora* M. (Verbenaceae) as affected by soil acidity, carbon, nitrogen and phosphorus contents in north Côte d'Ivoire. *Environment and Natural Resources Research*, **4**(2), 115-127.
- Diomandé L.B., 2014. *Incidence des caractéristiques morphologiques et chimiques du sol sur l'occurrence du théier de savane (Lippia multiflora, Verbenaceae) et la composition chimique de son huile essentielle extraite des feuilles en régions nord de la Côte d'Ivoire*. Thèse de doctorat : Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan (Côte d'Ivoire).
- Egbe N.E., Olatoye S.T., Obatolu C.R., 1989. *Impact of rate and types of fertilizers on productivity and nutrient cycling in tree crop plantation ecosystem*. Edition MAB Workshop.
- Diomandé L.B., Diabaté D., Coulibaly L.F., Adingra K.D.P. & Coulibaly V., 2018. Études morphologique et chimique des sols sous *Anacardium occidentale* (anacardier) en Côte d'Ivoire. In : AFES, Journées d'Étude des sols : Le sol, au cœur des enjeux sociétaux. Université de Rouen, Rouen, p. 19.
- FIRCA & CCA, 2015. *Renforcement des capacités des chercheurs dans le domaine de l'anacarde, Le conseil du coton et de l'anacarde et le projet d'appui au secteur agricole en Côte d'Ivoire*. TDR Sélection de chercheurs pour un Programme National de Recherche sur l'anacardier, p. 2.
- Fournier F., 1960. *Climat et érosion*. Paris : Presses universitaires de France.
- Henin S. & Aubert G., 1945. Relations entre le drainage, la température et l'évolution des sols. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 220-330.
- Hinsinger P. et al., 2015. Les enjeux liés au phosphore dans les sols tropicaux. In : *Restauration de la productivité des sols tropicaux et méditerranéens : Contribution à l'agroécologie*. Marseille, France : IRD Éditions.
- Koko K.L., Yoro R.G., Ngoran K. & Assa A., 2008. Évaluation de la fertilité des sols sous cacaoyers dans le sud-ouest de la Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, **20**(1), 81-95.
- Koné B. et al., 2009. Estimation de la fertilité potentielle des ferralsols par la couleur : usage de la couleur en morphopédologie. *Canadian Journal of Soil Science*, **89**(3), 331-342.
- Kopittke P.M. & Menzies N.W., 2005. Effect of pH on Na induced Ca deficiency. *Plant and Soil*, **269**, 119-129.
- Koulibaly B., 2011. *Caractérisation de l'acidification des sols et gestion de la fertilité des agrosystèmes cotonniers au Burkina*. Thèse de doctorat : Université de Ouagadougou (Mali).
- Nalovic L. & Pinta M., 1970. Recherches sur les éléments traces dans les sols tropicaux : étude de quelques sols de Madagascar. *Geoderma*, 117-132.
- Nzegbule E.C., Onyema M.C. & Ndelekwute S.C., 2013. Plant species richness and soil nutrients in a 35-year old cashew nut plantation in Isuochi, Southern Nigeria. *Tropical Ecology*, **54**(2), 205-212.
- Ouattara B. et al., 2006. Intensity cultivation induced effects on soil organic carbon dynamic in the western cotton area of Burkina Faso. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **76**, 331-339.
- Ouattara T.V. et al., 2017. Effets de la fertilisation organo-phosphatée sur la biodisponibilité du phosphore, la teneur en aluminium et le pH des sols sous cacaoyers dans la région de Divo en Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, **118**, 11754-11767.
- Piéri C., 1989. *Fertilité des terres de savanes. Bilan de 30 ans de recherche et de développement agricoles au Sud du Sahara*. CIRAD/Ministère de la Coopération et du Développement.

- Soumaré M., Demeyer A., Tack F.M.G. & Verloo M.G., 2000. Chemical characteristics of Malian and Belgian solid waste composts. *Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen Univ. Gent*, **65**, 79-83.
- Tandjiekpon M.A., 2005. *Caractérisation du système agroforestier à base d'anacardier (Anacardium occidentale Linnaeus) en zone de savane au Bénin*. Mémoire de DEA : Université Abomey-Calavi (Bénin).

10. Mise au point d'une méthode destinée à stimuler l'émission de nouveaux greffons chez l'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) en côte d'Ivoire

Akadié Jean-Baptiste Djaha*, Charles Konan Kouakou, Magloire Yves Minhibo Achille Aimé N'Da Adopo, André Hortense Djidji, Angelo Evariste N'Guessan, Moussa Dosso

Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Direction Régionale de Korhogo, Station de Recherche de Lataha, Programme Anacarde, Mangue, Papaye. Siège social : km 17, Route de Dabou 01 BP 1740 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

*E-mail auteur correspondant : jbakadie@yahoo.fr

Description du sujet. Le rendement des vergers d'anacardier est de l'ordre de 350 à 500 kg/ha. Pour l'améliorer, ainsi que la qualité de la noix, la Côte d'Ivoire a opté pour les plants greffés d'anacardier amélioré comme matériel végétal de plantation. Quinze hectares de parcs à bois, avec ce matériel, ont été installés dans trois zones agroécologiques différentes. Pour satisfaire les besoins croissants en plants greffés, il faut mettre en place une stratégie destinée à stimuler la production des greffons dans les parcs à bois.

Objectifs. L'objectif de ce travail est de mettre au point une méthode de prélèvement des greffons optimisant la production ultérieure d'autres greffons.

Méthode. L'essai est factoriel. Le premier facteur, à trois modalités, est la combinaison génotype/porte-greffes. Le deuxième facteur, à trois modalités, correspond à la distance de prélèvement des greffons sur le rameau végétatif. Le délai, la durée de la période d'apparition et le nombre de bourgeons végétatifs émis ont été déterminés.

Résultats. Aucun bourgeon végétatif n'a été émis après section faite en deçà de la feuille repère. Les bourgeons végétatifs sont apparus après section du rameau au-delà de la feuille repère. Les plus brefs délais d'émission de bourgeons ont été observés sur les rameaux sectionnés à 8 cm de la feuille repère et avec la combinaison LA X4297/LA Y4403. Le nombre moyen le plus élevé de greffons a été émis par LA X5219/LA X1432.

Conclusions. Les greffons doivent être prélevés au-delà de la première feuille du rameau végétatif porteur du greffon

Development of a method to stimulate scion's emission in cashew (*Anacardium occidentale* L.) in Côte d'Ivoire

Description of the subject. Yield of cashew orchards is about of 350 to 500 kg/ha. To improve it, as well as the quality of the nut, Côte d'Ivoire has opted for improved cashew tree grafted plants as planting material. Fifteen hectares of woodlot, with this equipment, have been installed in three different agroecological zones. To meet the growing need for transplants, a strategy is needed to stimulate the production of scions in woodlots.

Objectives. The objective of this work is to develop a method of graft sampling optimizing the subsequent production of other grafts.

Method. The test is factorial. The first factor, with three modalities, is the genotype / rootstock combination. The second factor, with three modalities, corresponds to the distance of the grafts taken on the vegetative branch. Time, duration of the period of appearance and number of vegetative buds emitted have been determined.

Results. No vegetative bud was emitted when the section was made below the first leaf of the vegetative branch bearing the graft. The vegetative buds appeared in the axils of the leaves, beyond the reference leaf, as soon as the apical dominance was suppressed. The shorter buds were observed when sections were made 8 cm above the benchmark (18.55 days) and with the combination LA X4297 / LA Y4403 (17.06 days). The highest average number of grafts (2.18) was issued by LA X5219 / LA X1432.

Conclusions. Scions must be taken from the first leaf of the vegetative branch bearing the scion.

1. INTRODUCTION

L'anacardier est une culture d'importance économique majeure en Côte d'Ivoire. Cela se traduit par l'accroissement de la production de noix qui est passée de 19 000 tonnes en 1990 à 700 000 tonnes en 2015 (Kéhé et al., 1997). Cette augmentation de la production est le résultat de la hausse du prix d'achat « bord champ » payé aux producteurs (Adaman & N'dri, 2016). Cependant les rendements en noix des vergers demeurent faibles. Ils sont de l'ordre de 350 à 500 kg/ha à cause de l'indisponibilité de matériel végétal de plantation amélioré et de l'usage de pratiques culturales inadaptées (densité de plantation très élevée, variant entre 625 et 1 111 pieds/ha, faible fréquence de désherbage).

L'amélioration des rendements des vergers et de la qualité de la noix nécessite l'utilisation de plants greffés d'anacardiers performants, comme matériel végétal de plantation. Le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) a donc entrepris la mise au point de ce matériel végétal de plantation à travers un projet intitulé « Amélioration variétale de l'anacardier » financé par le Fond Interprofessionnel pour la Recherche et le Conseil Agricole (FIRCA). Les activités majeures de ce projet sont la sélection et la production en masse d'anacardiers élites. Quinze hectares de parcs à bois, pour la production de greffons, et six hectares de vergers grainiers, destinés à produire des semences pour porte-greffe, avec du matériel végétal performant ont été installés dans trois zones agroécologiques différentes (Nord, Nord-Ouest et Nord-Est).

Les demandes de plants greffés augmentent d'années en années depuis le démarrage de la production en masse en 2013, alors que la superficie des parcs à bois, pourvoyeurs de greffons, n'a pas évolué. Il y a donc nécessité de mettre en place une stratégie destinée à accroître les capacités de fourniture en greffons. Différentes approches ont été envisagées. Ainsi Bashiru (2010) a montré que le greffage par placage d'oeil dans lequel chaque bourgeon dormant axillaire constitue le greffon, était une méthode efficace pour accroître les capacités de fourniture en greffon. En effet, par cette méthode, un rameau végétatif peut servir à greffer plusieurs plants, contrairement aux greffages latéral et apical où un rameau ne sert à greffer qu'un seul plant. Chipojola et al. (2013) ont montré que les greffons immatures pouvaient être utilisés. Djaha et al. (2015) ont montré que les greffons herbacés moyennement lignifiés de couleur verte, les semis ligneux de couleur gris-vert et les rameaux floraux ligneux pouvaient servir de greffons en plus des greffons ligneux de couleur marron habituellement utilisés. Ces méthodes permettent d'accroître les capacités de fourniture, mais ne mettent pas en évidence l'importance de la capacité de régénération des arbres après prélèvement de greffons. L'objectif de ce travail est de mettre au point une méthode de prélèvement des greffons favorisant une régénération optimale des anacardiers, en vue de la production ultérieure d'autres greffons.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Site d'étude

Les travaux ont été conduits à la Station de Recherche du CNRA, à Lataha, à 22 km de Korhogo, au Nord de la Côte d'Ivoire. La Station s'étend sur une superficie de 40 ha et est située entre 9°34' de latitude Nord et 5°34' de longitude Ouest, à 350 mètres d'altitude. Le climat, de type soudanais, est caractérisé par deux saisons : une saison sèche de novembre à avril et une saison pluvieuse de mai à octobre. La pluviométrie moyenne est de 1 400 mm en année humide, et de 1 000 mm, en année sèche. Les données climatiques, enregistrées pendant la période d'exécution des travaux, sont consignées dans le tableau 1.

Tableau 1. Pluviométrie et températures maximale et minimale moyennes mensuelles de la station de Lataha de 2009 à 2013 – *Monthly mean rainfall, maximum and minimum temperatures of Lataha station from 2009 to 2013.*

Période	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Pluviométrie (mm)	0	37,2	53,2	118,0	115,2	182,0	196,6	201,3	205,6	124,3	2,1	0
Température Maximale (°C)	34,3	36,9	37,2	37	34,3	33,7	33,4	31,2	31,4	32,8	33,8	35,7
Température minimale(°C)	12,8	19,6	22,2	22,9	21,6	21,4	20,5	20,9	20,6	20,8	17,6	13,3

2.2. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué d'anacardiens appartenant à trois géotypes du parc à bois du Centre National de Recherche Agronomique mis en place en 2010. Ils sont issus des combinaisons greffon/porte-greffe LA X3264/LA X2081, LA X4297/LA Y4403 et LA X5219/LA X1432, dont les deux premiers font partie des trois géotypes en diffusion en Côte d'Ivoire. Ces anacardiens ont été choisis en raison de leur rendement en noix et en amandes élevés (rendement compris entre 1,6 et 1,9 t/ha), de leur tolérance aux maladies et aux insectes ravageurs et de leurs nombreuses ramifications permettant d'obtenir le nombre de rameaux végétatifs nécessaire à la réalisation de l'expérimentation.

2.3. Méthodes

Description de l'essai. L'essai a été conduit dans le parc à bois de la station du CNRA sis à Lataha. Ce parc a été mis en place selon un dispositif en bloc de Fisher, avec quatre répétitions. Chaque parcelle élémentaire, correspondant à une combinaison géotype/porte-greffe, comporte trois anacardiens. Au total, 36 anacardiens ont été utilisés pour conduire l'expérimentation.

Sur l'ensemble des trois arbres de chacune des trois parcelles élémentaires, dix rameaux végétatifs porteurs de greffons ont été identifiés par niveau de section. Ainsi donc, pour les sections qui devraient se faire à 2 cm en-deçà de la feuille repère, 10 rameaux ont été identifiés. Il en a été de même pour celles devant s'effectuer à 4 et 8 cm au-delà de la première feuille (repère). Le nombre de combinaison géotype/porte-greffe étant de trois et celui des répétitions de quatre, 360 rameaux au total ont été utilisés pour l'expérimentation. Les rameaux sélectionnés qui ont été par la suite sectionnés sont ceux qui étaient lignifiés et dont l'extrémité portait un bourgeon dormant. Sur chaque rameau, la première feuille a d'abord été identifiée comme repère avant la réalisation de la section.

L'expérimentation a été un essai factoriel à quatre répétitions. Le premier facteur, qui est la combinaison géotype/porte-greffe, était à trois modalités. Ce sont : LA X3264/LA X2081, LA X4297/LA Y4403 et LA X5219/LA X1432. Le second facteur, qui est le niveau de prélèvement des greffons sur le rameau végétatif porteur du greffon, était à trois modalités, à savoir : S-2 = -2 cm, S4 = 4 cm et S8 = 8 cm (Figure 1). De ces deux facteurs, il a été déduit neuf traitements qui sont les suivants : (LA X3264/LA X2081) × (S-2); (LA X4297/LA Y4403) × (S-2); (LA X5219/LA X1432) × (S-2); (LA X3264/LA X2081) × (S4); (LA X4297/LA Y4403) × (S4); (LA X5219/LA X1432) × (S4); (LA X3264/LA X2081) × (S8); (LA X4297/LA Y4403) × (S8); (LA X5219/LA X1432) × (S8).

Ainsi, (LA X4297/LA Y4403) × (S4) signifie que sur l'arbre issu de la combinaison géotype/porte-greffe LA X4297/LA Y4403, le greffon a été prélevé en sectionnant le rameau végétatif porteur du greffon à 4 cm au-delà de la première feuille (repère). (LA X4297/LA Y4403) × (S-2) veut dire que sur l'arbre issu de la combinaison géotype/porte-greffe LA X4297/LA Y4403, le greffon a été prélevé en sectionnant le rameau végétatif porteur du greffon à 2 cm en deçà de la première feuille du rameau végétatif porteur du greffon (feuille repère).

Tous les rameaux ont été sectionnés le même jour et le suivi de l'essai a commencé dès le lendemain. La collecte des données a consisté à enregistrer les dates de section des rameaux végétatifs et d'apparition des bourgeons végétatifs. Elle a aussi concerné le dénombrement des bourgeons végétatifs émis.

2.4. Analyses statistiques des données

Les données, enregistrées sur Excel, ont été soumises à une analyse de variance, au seuil de 5 %, pour comparer les traitements. Le test de Tukey a été utilisé pour la séparation des moyennes.

3. RÉSULTATS

3.1. Effet du niveau de prélèvement des greffons sur la régénération des anacardiens source de greffons

L'analyse de variance n'a pas révélé de différence significative entre les deux facteurs que sont la combinaison géotype/porte-greffe et le niveau de prélèvement des greffons ($p = 0,676$). Pour toutes les combinaisons géotype/porte-greffe (LA X3264/LA X2081, LA X4297/LA Y4403 et LA X5219/LA X1432), aucun bourgeon végétatif n'a été émis lorsque le rameau végétatif a été sectionné à 2 cm en-deçà de la feuille repère (Figure 1, Tableau 2). Le délai d'émission des bourgeons végétatifs, qui a oscillé entre 17,06 et 23,45 jours après le prélèvement des greffons, a été différent selon le géotype et la distance de section, effectuée à 4 et 8 cm après la feuille repère (Figure 1, Tableau 2). Quelle que soit la combinaison géotype/porte-greffe, le délai d'émission des bourgeons

a été plus court lorsque les sections ont été effectuées à 8 cm au-delà de la feuille repère. Le nombre moyen de bourgeons émis, qui a oscillé entre 1 et 3, a été différent selon le génotype (Tableau 2). Par contre, ce paramètre n'a pas varié avec le niveau de prélèvement des greffons (Tableau 2).



Figure 1. Émission de bourgeons végétatifs après prélèvement des greffons par sectionnement des rameaux végétatifs. a) Bourgeons végétatifs en début d'émission, b) Bourgeons végétatifs de différents âges – *Emission of vegetative buds after removal of scions by sectionning of the vegetative branches. a) Vegetative buds at early stage, b) Vegetative buds at different ages.*

Tableau 2. Délai d'émission et nombre de bourgeons végétatifs émis par les anacardiers issus des génotypes LA X3264, LA X4297 et LA X5219 aux différents points de prélèvement des greffons. S-2 = prélèvement des greffons à 2 cm au-dessous de la feuille repère ; S4 = prélèvement des greffons à 4 cm au-dessus de la feuille repère ; S8 = prélèvement des greffons à 8 cm au-dessus de la feuille repère – *Emission delay and number of vegetative buds emitted by cashew tree genotypes LA X3264, LA X4297 and LA X5219 at different scion's removal points.*

Génotype	Délai d'émission (jour)			Probabilité	Nombre de bourgeons végétatifs émis			
	S-2	S4	S8		S-2	S4	S8	Probabilité
LA X3264	-	23,43 aa'	21,47 ba'		-	1,63 aa'	1,73 aa'	
LA X4297	-	19,20 ab'	14,93 bb'	$p = 0,005$	-	1,26 ab'	1,56 ab'	$p < 0,001$
LA X5219	-	21,33 aa'	19,27 ba'		-	2,20 aa'	2,16 aa'	
Probabilité	$p < 0,001$				$p = 0,276$			

Pour les points de prélèvement, les valeurs affectées de la même lettre sur la ligne (a ou b) ne sont pas significativement différentes, au seuil de $p = 0,05$, selon le test de Tukey. Concernant les génotypes, les valeurs affectées de la même lettre dans la même colonne (a' ou b') ne sont pas statistiquement différentes au seuil de $p = 0,05$, selon le test de Tukey.

4. DISCUSSION

4.1. Influence du point de prélèvement des greffons sur le délai d'émission et le nombre de bourgeons végétatifs

Aucun bourgeon végétatif n'a été émis lorsque la section a été faite en deçà de la première feuille du rameau végétatif porteur (repère). Les émissions de bourgeons n'ont été observées qu'au-delà de cette feuille. Les bourgeons végétatifs n'apparaissent donc qu'aux aisselles des feuilles, dès que la dominance apicale est supprimée. Les émissions de bourgeons seraient donc conditionnées par la présence, sur le rameau végétatif, de nœuds porteurs

de cellules méristématiques. Ces dernières restent en état de dormance tant qu'existe la dominance apicale. Nos résultats sont en accord avec ceux de Rivals (1965) et Mauget et al. (1984) qui ont montré que le débourrement des bourgeons végétatifs chez les arbres fruitiers est conditionné par la cessation des contraintes endogènes ou exogènes qu'ils subissent.

Les sections faites à 8 cm au-dessus de la feuille repère sont celles pour lesquelles les plus brefs délais d'émission de bourgeons végétatifs ont été observés. Cela pourrait être dû à leur position sur le rameau végétatif où ils seraient mieux éclairés par les rayons solaires que ceux situés à la base dudit rameau. Nos résultats corroborent ceux de Heide (1993) qui a montré qu'une photopériode longue a un effet favorable sur la levée de dormance des bourgeons. Ils sont également en accord avec ceux de Giraud (2009) qui a montré que la qualité et l'intensité lumineuse jouent un rôle de contrôle du débourrement des bourgeons végétatifs. Le greffon devrait être prélevé en sectionnant le rameau végétatif qui le porte au-delà de la première feuille (repère). Par ailleurs, les arbres de génotype LA X3264 et LA X5219 ont mieux régénéré que ceux du génotype LA X4297. Ces résultats sont concordants avec ceux de Dreyers et al. (1986) qui ont mis en évidence l'influence du génotype sur l'évolution automno-hivernale des bourgeons chez le noyer.

5. CONCLUSIONS

De nos travaux, il est ressorti que les prélèvements de greffons effectués en deçà de la première feuille du rameau végétatif porteur du greffon (repère) n'occasionnent pas de repousse de bourgeons végétatifs. Ceux-ci ne s'observent que lorsque les greffons sont prélevés au-delà de la première feuille du rameau végétatif porteur du greffon (repère). Par ailleurs les arbres n'ont pas tous montré la même capacité de régénération. Les arbres émanant de la combinaison génotype/porte-greffe LA X5219/LA X1432 ont eu la meilleure capacité de régénération. Le prélèvement des greffons devra donc se faire au-delà de la première feuille du rameau végétatif porteur du greffon.

Remerciements

Les auteurs remercient le Conseil du Coton et de l'Anacarde et le Fond Inter Professionnel pour la Recherche et le Conseil Agricoles (FIRCA), pour avoir financé cette étude dans le cadre du projet : «Amélioration variétale de l'anacardier, phase 2».

Bibliographie

- Adaman S. & N'dri K.A., 2016.-Impact socio-économique de la culture de l'anacardier dans la Sous-Préfecture d'Odienné (Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal*, **12**, 369-383.
- Bashiru R.A., 2010. Evaluation of chip-budding and tip-grafting propagation techniques for cashew in Tanzania. In: *Proceeding of the Second International Cashew Conference, 26-29 april 2010, Kampala, Uganda*, 29-33.
- Chipojola F.M. et al., 2013. Effect of tree age, scion source and grafting period on the grafting success of cashew nut (*Anacardium occidentale* L.). *African Journal of Agricultural Research*, **8**, 5785-5790.
- Djaha A.J.B. et al., 2015. Influence of scion's stockplant phenological stage in success of grafting of cashew seedlings in Côte d'Ivoire. In: *Proceeding of the Third International Cashew Conference, 16-19 november 2015, Dar es Salaam, Tanzania*, 48-54.
- Dreyers E., Mauget J.C. & Guinard J., 1986. Variabilité du niveau de dormance des bourgeons végétatifs suivant les types de rameau d'une couronne de noyer (*Juglans regia* L.); comparaison des cultivars «Franquette» et «Pedro» *Agronomie, EDP Sciences*, **6**, 427-435.
- Giraud T., 2009. *Étude du photocontrôle du débourrement du bourgeon chez le rosier (Rosa sp. L.) : impact de la lumière sur le métabolisme glucidique et l'élongation cellulaire*. Thèse de Doctorat : Sciences Agronomiques, École doctorale Venam, Université d'Anger, 178 p.
- Heide O.M., 1993. Daylength and thermal time responses of budburst during dormancy release in some northern deciduous trees. *Physiologia Plantarum*, **88**, 531-540.
- Kébé M. et al., 1997. L'anacardier, place de l'Afrique de l'Ouest et de la Côte d'Ivoire dans la production mondiale : diagnostic du verger ivoirien. Communication. Symposium Anacarde. Promexa, PPDEA, CECI, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, 12-14 juin, 9 p.
- Mauget J.C., 1984. Comportement comparé des bourgeons de l'année et des bourgeons latents chez le noyer (*Juglans regia* L. Cv «Franquette»). Conséquence sur la morphogenèse de l'arbre. *Agronomie, EDP Sciences*, **4**, 507-515.
- Rivals P., 1965. Essai sur la croissance des arbres et sur les systèmes de floraison des espèces fruitières. *Journal d'Agriculture Tropicale et de Botanique Appliquée*, **12**, 655-686.

11. Expansion de l'*Anacardium occidentale* L. et reboisement de la savane ivoirienne

Thomas J. Bassett⁽¹⁾, Moussa Koné^{(2)*}, Nathan Pavlovic⁽³⁾

⁽¹⁾Thomas J. Bassett, Department of Geography and GIS, University of Illinois at Urbana-Champaign, USA. bassett@illinois.edu

⁽²⁾Moussa Koné*, Institut de Géographie Tropicale, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire
moussakci@yahoo.fr

⁽³⁾Nathan Pavlovic, Sonoma Technology, Inc., USA. npavlovic@sonomatech.com

*E-mail auteur correspondant : moussakci@yahoo.fr

Description du sujet. Au cours des vingt dernières années, la Côte d'Ivoire est devenue le plus grand pays producteur de noix de cajou. Cette réalisation impressionnante découle de l'initiative des petits agriculteurs à diversifier leurs systèmes agricoles. La culture de l'anacarde dépasse maintenant celle des autres cultures de rente comme le coton dans la région des savanes. Aujourd'hui, la noix de cajou est, après le cacao, le deuxième plus important produit agricole d'exportation.

Objectifs. En dépit de l'importance économique croissante de la noix de cajou, peu d'attention a été accordée à l'impact de l'essor de la culture de l'*Anacardium occidentale* L. sur la végétation de la région des savanes.

Méthode. La présente étude comble ce déficit d'informations grâce à une analyse de la dynamique des paysages des milieux des savanes entre 2005 et 2015 à travers une collecte de données sur le terrain, notamment la collecte des documents sur les tendances de la forêt, des interviews avec des forestiers, des agriculteurs, des spécialistes de la télédétection et le traitement des images satellite Landsat à haute résolution.

Résultats. Les résultats montrent que les superficies plantées en *Anacardium occidentale* L. ont augmenté pendant cette période. On se demande alors si cette expansion représente un reboisement de la savane ivoirienne.

Conclusions. Les résultats de cette analyse permettent de comprendre que le statut forestier des vergers d'anacarde est ambigu.

Expansion of *Anacardium occidentale* L. and reforestation of the Ivorian savanna

Description of the subject. Over the past twenty years, Côte d'Ivoire has become the world's largest producer of cashew nuts. This impressive achievement is the result of the initiative of small farmers to diversify their agricultural systems. Cashew cultivation now exceeds that of other savanna cash crops such as cotton and, after cocoa, is the country's second most important agricultural export.

Objectives. In contrast to the growing economic importance of cashew nuts, little attention has been given to the impact of the expansion of cashew trees (*Anacardium occidentale* L.) on the land cover of the savanna region.

Method. This paper fills this gap through a study of land cover change between 2005 and 2015 based on an analysis of high resolution Landsat satellite images.

Results. This analysis shows that the area in cashew trees has expanded over this period. We then ask whether this expansion in tree cover represents a reforestation of the savanna landscape.

Conclusions. Through interviews with diverse forest actors and a review of the relevant literature, we argue that the forest status of cashew orchards is ambiguous.

1. INTRODUCTION

Au cours des 25 dernières années, les petits cultivateurs de la région des savanes de la Côte d'Ivoire ont planté des anacardiens comme une stratégie de diversification des revenus agricoles. La culture de l'anacarde est maintenant en train de supplanter celle du coton comme principale culture de rente dans la région. Les prix au producteur relativement attractifs combinés à de faibles coûts d'intrants et d'entretien ont conduit les agriculteurs à étendre les superficies des vergers (Bassett, 2017). Dans une partie du monde où l'accès à la terre est encore en grande partie régie par des systèmes de droits fonciers coutumiers, les paysans, en particulier les hommes, ont été en mesure de

planter des anacardiens à un rythme vertigineux. En général, les arbres sont plantés sur les terres cultivées en fin de rotation et sur les terres en jachère. La taille moyenne de ces vergers varie entre 2 et 4 hectares, mais les rendements sont faibles, soit environ 400 kg par hectare. Un calcul rapide et grossier suggère que les anacardiens couvrent environ 1,8 million d'hectares, une énorme superficie qui continue à s'étendre.⁽¹⁾

L'effet cumulatif de toutes ces plantations est que la Côte d'Ivoire est devenue le premier producteur mondial de noix de cajou. En 2015, le pays a produit plus de 700 000 tonnes de noix de cajou brutes, dépassant l'Inde comme premier producteur. Un autre résultat majeur de l'essor de l'anacarde a été le «reboisement» de la savane ivoirienne. En effet, à la suite de la plantation d'arbres par des dizaines de milliers d'agriculteurs, le paysage de la savane est devenu plus boisé. Le mot «reboisement» est mis entre guillemets car il s'agit d'un terme contesté dont la signification varie selon la perspective des forestiers et des autres acteurs de la forêt. Pour les forestiers, un peuplement d'anacardiens pourrait être considéré comme un reboisement si la production de bois est l'objectif principal. Pour les écologues, les vergers d'anacarde ne sont pas des forêts ; ils sont simplement des arbres économiquement utiles qui remplacent souvent des paysages plus riches. Le point de vue des institutions d'atténuation du changement climatique, telles que la commission REDD+ en Côte d'Ivoire, est que les vergers d'anacarde peuvent être considérés comme un élément essentiel des stratégies de reboisement national en raison de leur grande capacité de piégeage du carbone.

L'objectif de cet article est de discuter les points de vue divergents sur l'éligibilité des anacardiens dans les programmes de reboisement dans le paysage ivoirien. Deux questions de recherche structurent cette analyse. La première est la suivante : peut-on déterminer la superficie des vergers d'anacarde cultivés entre 2005 et 2015 ? La deuxième s'énonce comme suit : est-ce que l'expansion des anacardiens représente un reboisement de la savane ?

Un essai de réponse à ces questions doit commencer par un examen de la position historique de l'anacardier dans les programmes de reboisement en Côte d'Ivoire. Pour ce faire, une estimation de la superficie des vergers d'anacarde en Côte d'Ivoire entre 2005 et 2015 s'impose. La question de savoir si l'expansion des anacardiens peut être interprétée comme un reboisement mérite aussi d'être approfondie. En effet, la réponse à cette question dépend de la définition du terme reboisement par différents acteurs. L'héritage de la politique forestière coloniale continue d'informer sur les initiatives de reboisement contemporaines, qui sont également en train d'être revisités dans le contexte des initiatives de la foresterie à l'échelle mondiale telles que promues par l'ONU-REDD+.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Zone d'étude et sites

La zone d'étude englobe les régions de savanes du Centre et du Nord de la Côte d'Ivoire (Figure 1). Les écosystèmes de savanes en Côte d'Ivoire sont composés d'espèces de graminées annuelles et vivaces, et d'une couche d'espèces ligneuses composée d'arbustes et d'arbres (Bruzon, 1990 ; César, 1990 a, b ; César, 1991). Le climat et le couvert végétal divisent la Côte d'Ivoire en savanes guinéenne, subsoudanaise et soudanaise (Figure 1).

La savane guinéenne est caractérisée par deux saisons de pluies et deux saisons sèches. La pluviométrie annuelle moyenne varie entre 1 600 et 2 200 mm (IFFN, 1999 ; César, 1991). La végétation de savane guinéenne est composée d'une mosaïque d'arbres et d'arbustes, de forêts galeries et des forêts sèches de plateau. La savane soudanaise est située dans le nord du pays. Son climat est caractérisé par une saison des pluies de juin à octobre et une longue saison sèche de novembre à mai. La pluviométrie moyenne annuelle est comprise entre 1 100 et 1 500 mm (IFFN, 1999). Les principales classes de végétation englobent les savanes boisées et les forêts ouvertes, les forêts galeries, la savane arbustive et la savane herbeuse. La zone subsoudanaise est située entre la savane guinéenne et la zone soudanaise. Dans cette zone, les arbres et les arbustes sont régulièrement diffusés dans le paysage avec une répartition homogène des espèces ligneuses. La pluviométrie annuelle varie entre 1 300 et 1 400 mm (Koné, 2012).

Deux sites de recherche ont été sélectionnés, Katioli dans la zone soudanaise et Krofoinsou dans la zone de savane guinéenne (Figure 1) pour tenir compte de la variabilité de la phénologie de l'anacardier qui existe le long du gradient climatique sud-nord dans les régions de savanes.

¹ Cette estimation est basée sur les 700 000 tonnes de noix de cajou brutes officiellement commercialisées en 2015. Divisées par le rendement moyen de 400 kg/ha, les superficies plantées en anacardiens atteignent 1 750 000 ha. Cette superficie est probablement sous-estimée à la lumière de la quantité (12 %) de noix de cajou brutes qui traverse clandestinement la frontière ivoirienne et ne fait donc pas partie des chiffres de commercialisation officiels (*N'Kalo*, N° 282, 19 janvier 2019). La superficie consacrée à l'anacarde continue de s'étendre dans le contexte de prix de marché attractifs et de systèmes de droits fonciers coutumiers flexibles.

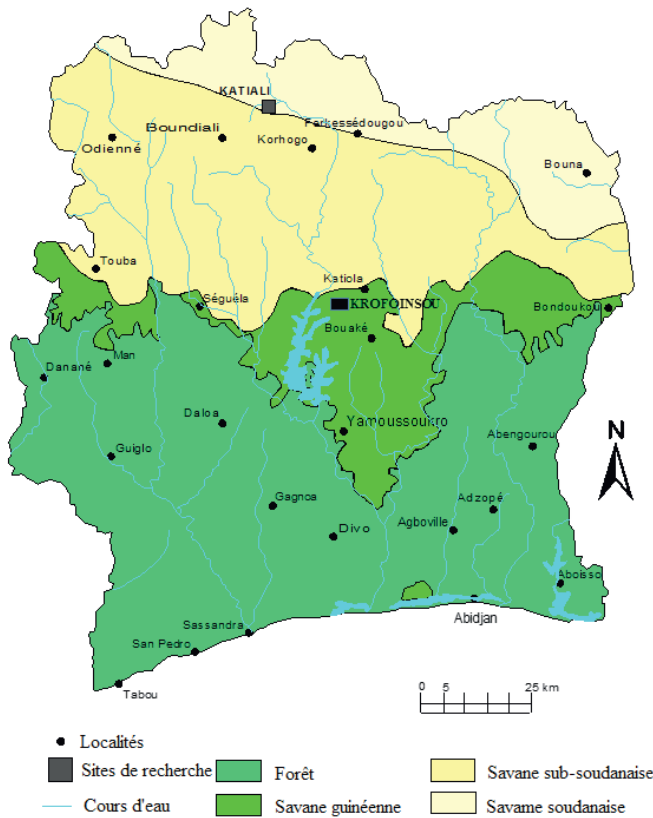


Figure 1. Les zones de végétation de savane de la Côte d'Ivoire – *The savannah vegetation areas of the Ivory Coast.* (Source : Koné, 2012).

2.2. Méthodes

La recherche a consisté à collecter les données et les informations sur le terrain auprès de plusieurs acteurs et à traiter des images satellite. Des experts à REDD+ Côte d'Ivoire et des agents des Eaux et Forêts ont été interviewés sur la définition de « forêt ». Les spécialistes de la télédétection et de la forêt, notamment du Centre d'Information Géographique Numérique (CIGN) et de l'Office Ivoirien des Parcs et Réserves (OIPR) ont été interviewés sur les méthodes et les expériences d'interprétation des classes de végétation à partir des images satellite. À ceux-ci, s'ajoutent les interviews avec des écologues et des agriculteurs. En plus, des documents sur les tendances de la forêt en Côte d'Ivoire ont été collectés et exploités.

Plusieurs techniques de télédétection ont été utilisées pour identifier les vergers d'anacarde à l'aide des images satellites de haute résolution spatiale (30 m) Landsat 7 et 8 des régions de savane de Côte d'Ivoire (Tableau 1). Dans un premier temps, des parcelles d'entraînement ont été sélectionnées sur les sites de recherche de Katioli et de Krofoinsou. Au total, 113 vergers d'âges différents ont été identifiés entre 2002 et 2017 et utilisés comme parcelles d'entraînement. Pour discriminer les vergers d'anacarde de manière précise des autres types d'occupation des terres, d'autres classes ont été identifiées. Ce sont la savane herbeuse, la savane arbustive, la savane boisée, la forêt galerie, le champ et l'habitat.

Tableau 1. Les images Landsat utilisées pour les modèles d'entraînement, la validation, la classification et l'application finale – *Landsat images used for training models, validation, classification and final application.*

	Données d'entraînement et d'évaluation	Classification finale de l'occupation	Date des images composites
Classification 2005	Landsat 7, 2003-2007	Landsat 7, 2003-2007	Année entière, Saison sèche, mars-mai
Classification 2015	Landsat 8, 2013-2017	Landsat 8, 2013-2017	Année entière, Saison sèche, mars-mai

Les images Landsat étant relativement rares, il a été créé des composites reflétant une fenêtre de temps autour des années 2005 et 2015. Pour 2005, des images disponibles entre 2003 et 2008 ont été utilisées et pour 2015, des images entre 2014 et 2017 ont été utilisées (Tableau 1). En outre, il a été constaté que la classification fonctionnait mieux avec l'utilisation d'indicateurs de variation saisonnière de la végétation. Par conséquent, plutôt que de calculer un seul composite à partir des plages de dates ci-dessus, nous avons créé trois images composites pour : les années entières ; mars à mai seulement ; et la saison sèche (décembre à février) seulement. Tous les composites ont été créés en utilisant la valeur médiane qui correspond aux critères de temps énumérés ci-dessus et étaient sans nuage sur la bande cf-mask (Zhu et al., 2015).

Les années 2005 et 2015 ont été sélectionnées comme années servant à la classification. L'algorithme « *Support Vector Machine* » (SVM) a été utilisé pour la classification de l'occupation des terres (Burges, 1998). Le modèle de classification a été entraîné avec toutes les bandes spectrales des images composites Landsat qui ont été extraites des points aléatoires à l'intérieur des polygones décrivant les types d'occupation connus. L'algorithme a été au final entraîné à différencier deux classes d'occupation des terres : les vergers d'anacarde et les non vergers d'anacarde. Le modèle SVM a été réglé à l'aide d'une recherche par quadrillage (Hsu et al., 2003). Le modèle entraîné a été appliqué à l'ensemble de l'image composite Landsat pour chaque année de toute la région des savanes de Côte d'Ivoire et la classe

attribuée à chaque point d'essai a été extraite. Les produits du traitement des images sont les cartes de 2005 et de 2015 qui montrent la distribution spatio-temporelle des vergers de l'occupation du sol et un tableau statistique qui présente l'évolution des superficies des différentes affectations du sol dont les vergers d'anacarde (Figure 2; Tableau 2).

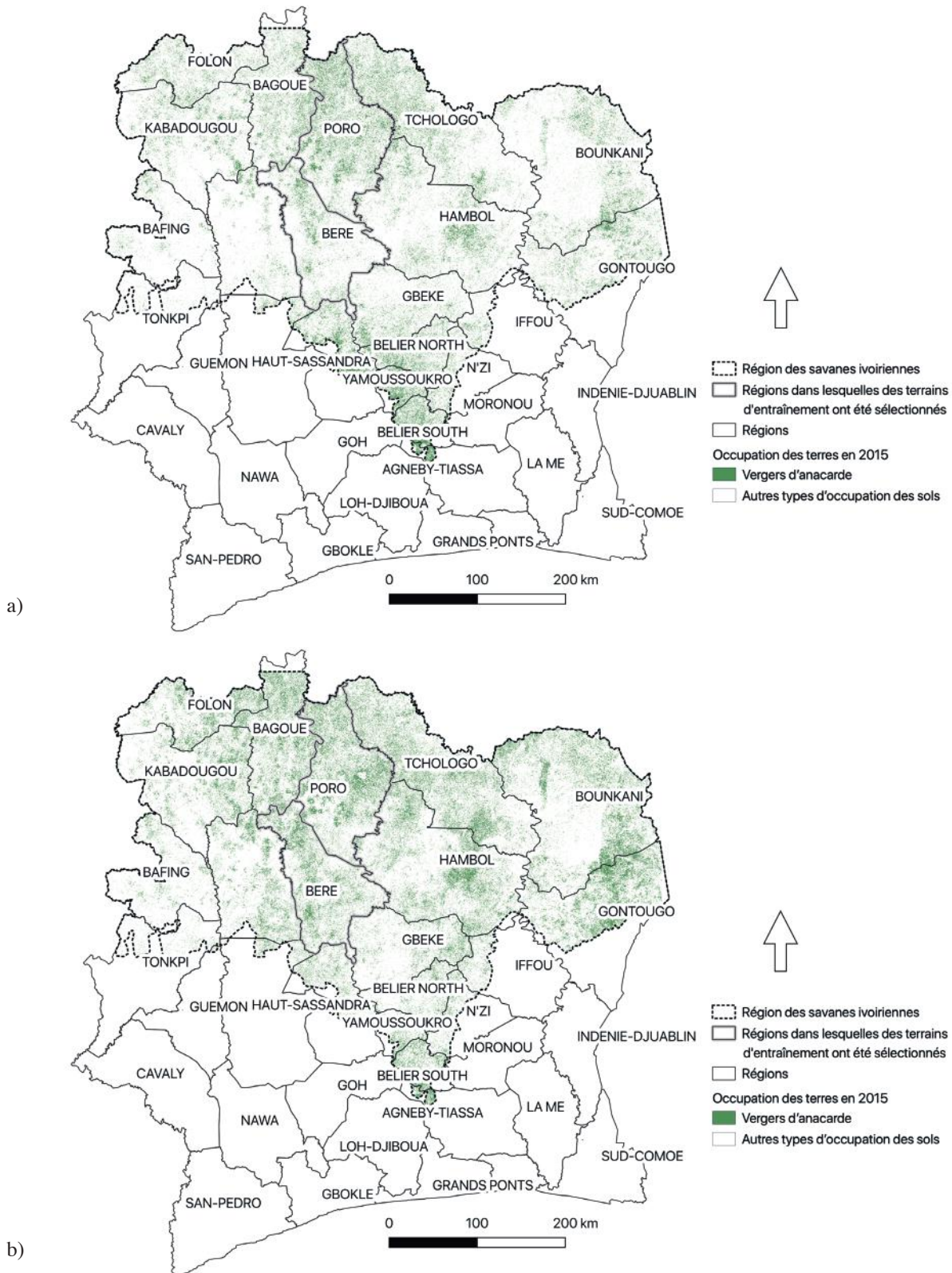


Figure 2. Classification des vergers d'anacarde en 2005 (a) et en 2015 (b). Les vergers d'anacarde sont illustrés en couleur vert foncé – Classification of cashew orchards in 2005 (a) and 2015 (b). Cashew orchards are shown in dark green.

Tableau 2. Superficies des différentes classes d'occupation du sol en 2005 et en 2015 – *Areas of the different land use classes in 2005 and 2015.*

Classes d'occupation des terres	2005 (M d'ha)	2005 (%)	2015 (M d'ha)	2015 (%)
Vergers d'anacarde	2,0	12,0	2,8	15,9
Non vergers d'anacarde	15,3	88,0	14,5	84,1
Total	17,3	100,0	17,3	100,0

3. RÉSULTATS

3.1. L'anacarde, une culture en plein essor en Côte d'Ivoire

Depuis le milieu des années 1990, les agriculteurs de la région des savanes ont extensivement planté les anacardiers pour diversifier leurs systèmes agricoles. La Figure 3 illustre les principales tendances de la production de coton et de l'anacarde entre 1990 et 2015. L'augmentation spectaculaire de la production de noix de cajou a inquiété les compagnies cotonnières, laissant penser que la production de coton des paysans allait continuer à baisser dans les années à venir². Le coton est une culture qui demande plus de main d'œuvre et des moyens financiers importants qui endettent souvent les cotonculteurs. En revanche, la culture de l'anacarde nécessite beaucoup moins de travail et de capital, et plus important encore, les prix aux producteurs sont plus attractifs.

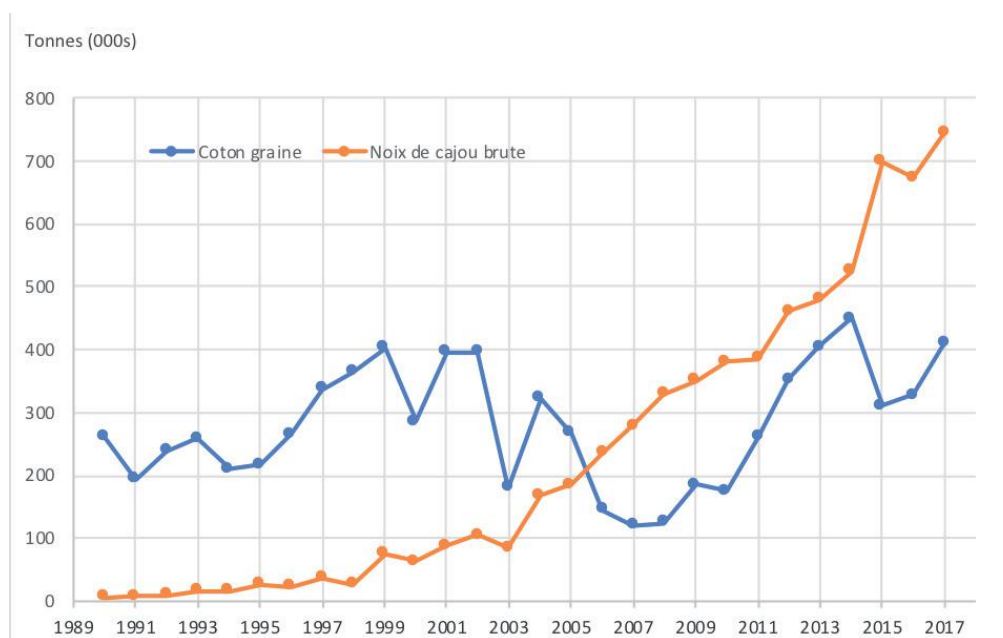


Figure 3. Les tendances de la production de l'anacarde et de coton de la Côte d'Ivoire de 1990 à 2017 – *Trends in cashew nut and cotton production in Ivory Coast from 1990 to 2017.* (Source : Intercoton, CCA).

La distribution géographique de la production de noix de cajou est mal comprise, eu égard au manque de données sur les superficies des vergers d'anacarde plantés par circonscription administrative. Cependant, la commercialisation de la noix de cajou est étroitement surveillée par l'autorité de régulation du secteur, le Conseil Coton Anacarde (CCA). Ainsi, de bonnes données existent sur les ventes de noix de cajou aux niveaux départemental et régional. La Figure 4 montre la quantité de noix de cajou vendue au niveau régional en 2015 sur la base des données du CCA. La zone de commercialisation des noix de cajou correspond aux limites de la région des savanes où l'anacardier se développe sous un climat caractérisé par une longue saison sèche.

² Interview réalisée à Intercoton à Abidjan, le 21 Février 2017.

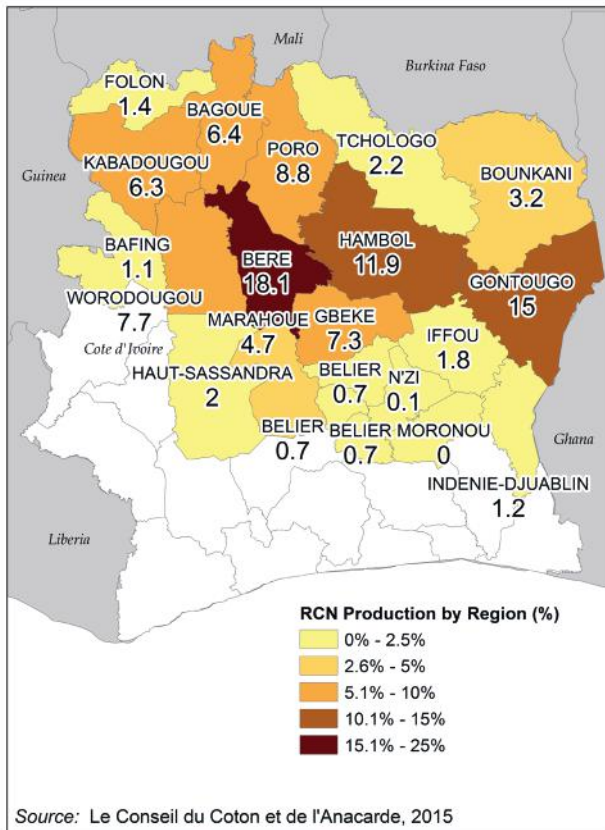


Figure 4. Vente de noix de cajou par région, Côte d'Ivoire, 2015 – *Cashew nut sales by region, Ivory Coast, 2015.* (Source : CCA).

3.3. Anacardiers et reboisement

L'anacardier était une espèce favorisée dans les programmes de reforestation de l'État pendant une bonne partie du xx^e siècle (Bassett & Koné, 2017). À partir de 1929, l'État colonial français a fait la promotion de la culture de l'anacardier dans le contexte de projets de reboisement de la région des savanes. Les forestiers coloniaux ont sélectionné les anacardiers ainsi que d'autres espèces telles que le teck, le *Gmelina* et le *Cassia siamea* pour les planter dans les forêts classées et aux alentours des villages (FAO, 1981)³. À la fin des années 1950 et au début des années 1960, les forestiers ont favorisé la plantation d'anacardiers pour contrôler l'érosion des sols. La superficie totale incluse dans les projets de reboisement des savanes entre 1929 et 1969 s'élevait à 21 000 ha. Les anacardiers ont couvert un quart de cette superficie reboisée. Des 5 350 ha plantés en anacarde, 44 % de cette superficie étaient situés à l'intérieur de forêts classées (FAO, 1981), le reste de la superficie a été planté dans le cadre de programmes de reforestation au niveau villageois. En 1980, environ 2 000 ha de vergers d'anacarde ont été plantés dans le cadre de programmes de reforestation (FAO, 1981).

L'anacardier a été retenu dans le cadre de ces premiers projets de reboisement pour son taux de croissance rapide et sa large couronne. En plus de protéger les sols, les arbres étaient valorisés comme source de bois de chauffe et des matériaux de construction (bois d'œuvre). La pratique de l'espacement étroit des arbres, de 3 à 4 mètres, était recommandée pour contrôler l'érosion du sol, mais elle limitait la production de noix. Pour accroître l'incitation économique pour le reboisement au niveau du village, les forestiers ont recommandé l'espacement des arbres pour maximiser les rendements des noix (Goujon et al., 1973). L'ensemble des objectifs de la protection des sols, de bois de chauffe et de la production de noix de cajou a caractérisé les programmes de reforestation au niveau du village à la fin des années 1960.

Les prix bas des noix brutes pratiqués dans les années 1970 et 1980 n'ont pas fourni beaucoup d'incitation aux agriculteurs pour étendre leurs plantations (Bassett & Koné, 2017). Au lieu de cela, ils se sont inscrits dans les

³ D'autres arbres sélectionnés pour le programme de la reforestation étaient le neeme (*Azadirachta indica*) et le néré (*Parkia biglobosa*) (FAO 1981).

3.2. Distribution spatio-temporelle des anacardiers dans le paysage ivoirien

La compréhension de la relation entre l'expansion des vergers d'anacarde et le reboisement nécessite la connaissance de la superficie des terres cultivées en anacarde dans le passé en Côte d'Ivoire. Mais l'absence d'études scientifiques sur la superficie des vergers de la Côte d'Ivoire liée à la difficulté de détecter les vergers d'anacardiers sur les images satellites jusqu'il y a peu limitait tout effort utile à cette fin. Dans le cadre de la présente étude, cette difficulté a été contournée grâce à une analyse par la télédétection des anacardiers dans la région d'étude.

Le tableau 2 montre la distribution spatiale et temporelle de l'occupation des terres pour la période entre 2005 et 2015. Les résultats indiquent que les superficies plantées en vergers d'anacarde sont passées de près de 2 millions d'hectares en 2005 à environ 2,8 millions d'hectares en 2015. Au cours de cette décennie 2005-2015, les anacardiers ont été extensivement cultivés au détriment des terres déclarées non vergers d'anacarde. Celles-ci sont composées des autres cultures pérennes et annuelles, des jachères, de la savane arbustive, la savane arborée, la forêt sèche et de la forêt galerie qui ont connu une diminution de leurs superficies. La question est de savoir, est-ce que cette impressionnante extension de 27 % de vergers d'anacardiers dans la savane ivoirienne entre 2005 et 2015 représente un «reboisement» de la région ?

programmes de développement du coton qui offraient un accès subventionné aux engrais et pesticides alors que les prix au producteur étaient relativement intéressants (Bassett, 2001).

Les cultivateurs ont commencé donc à planter les anacardiens au début des années 1990 lorsque les commerçants ont commencé à payer les noix de cajou brutes à des prix élevés. C'était le début du boom des noix de cajou et le développement spectaculaire des anacardiens dans les régions de promotion (Bassett, 2017).

Comment les différents acteurs voient cette résurgence de la plantation d'anacardiens ? Est-ce qu'ils la voient comme une forme de reboisement de bas en haut (bottom-up) ou juste beaucoup d'arbres dans le paysage ? Les réponses à ces questions, assez nuancées, sont développées dans les paragraphes suivants.

Un «reboisement tolérable». En Février 2017, le personnel du bureau régional du Ministère des Eaux et Forêts de la ville de Korhogo a été enquêté afin d'appréhender les perceptions des agents forestiers sur la prolifération des anacardiens dans la région. Ces professionnels définissent le reboisement comme étant « le fait de remettre le bois en place » ou « la reconstitution de la forêt », de deux façons par i) la plantation d'arbres sur une parcelle de terre ou ii) la régénération naturelle en absence de feux de végétation ou d'incendies⁴.

Le reboisement a lieu habituellement sur les terres agricoles qui ont été mises en jachère et en protégeant les forêts existantes, qui ont été dégradées. La prévention et l'extinction des incendies sont essentielles pour la réussite des deux types de reboisement. Les agents forestiers ont déclaré que les vergers d'anacarde ne peuvent pas être considérés comme reboisement, car les objectifs visés pour leur installation sont agricoles, et non d'ordre forestier. L'objectif du reboisement, selon eux, « est de reconstituer les ressources en bois d'œuvre pour la fabrication du charbon de bois, de produits du bois et de produits forestiers secondaires ». Les vergers d'anacarde pourraient être considérés au mieux comme un objet de « reboisement secondaire » ou de « reboisement partiel ». Les forestiers ont reconnu que l'État a fait, dans le passé, la promotion des anacardiens dans le cadre de programmes de reboisement et qu'en effet, ces plantations visaient principalement à reconstituer les forêts et produire du bois, et non pas à une production agricole. Toutefois, la prolifération des vergers d'anacarde pourrait être interprétée d'après ces spécialistes comme un acte de « reboisement tolérable ».

Ce point de vue des forestiers sur les forêts diffère des perceptions d'autres acteurs comme des écologues qui valorisent les forêts tropicales pour leur biodiversité.

Reforestation ou reboisement à base d'anacardiens et effet carbone. Le nouveau code forestier de la Côte d'Ivoire est sans ambiguïté à propos de ce qui constitue une forêt et le reboisement. Il définit une forêt comme « toute terre constituant un environnement dynamique et hétérogène, à l'exclusion des formations végétales résultant d'activités agricoles, d'une superficie minimale de 0,1 hectare couverte d'arbres avec une couverture de la canopée d'au moins 30 % de la surface et qui peut atteindre à maturité une hauteur minimale d'au moins 5 mètres » (RCI, 2014).

Le reboisement est défini comme « un processus comportant la plantation d'espèces forestières sur des terres déboisées temporairement ». En se fondant sur ces définitions, une plantation d'anacarde ou de cacao n'est pas considérée en tant que telle comme une forêt ou un reboisement en raison de leur nature première agricole. Mais une plantation de teck ou d'eucalyptus en monoculture pourrait être considérée comme une forêt. La principale distinction reflète l'utilisation des arbres pour leur bois par opposition à leurs produits agricoles « secondaires ».

La nouvelle définition de la forêt est très différente de la définition précédente. Le Code forestier de 1965 définissait les forêts comme des « formations végétales dont les fruits exclusifs ou principaux sont le bois pour l'ébénisterie, le bois et l'industrie du bois, la construction, le bois de feu et le charbon de bois, et si nécessaire, peut produire d'autres matériaux tels que le bambou, les écorces, le latex, les résines, les gommes, les graines et les fruits » (Maurice et al., 2014).

Bien que les deux définitions de 1965 et de 2014 confèrent principalement aux forêts un attribut de ressources en bois, la nouvelle définition est beaucoup plus précise sur la structure et les dimensions spatiales de la forêt. Cette spécificité est liée à la participation du gouvernement ivoirien dans un certain nombre d'accords environnementaux et de développement, et des mécanismes qui nécessitent des mesures quantifiables de déboisement et de reboisement. Ces accords comprennent l'application des lois forestières, la gouvernance et les Plans d'action sur les échanges commerciaux de l'Union Européenne (FLEGT), le mécanisme du carbone propre de la Banque Mondiale et le mécanisme de la Commission des Nations Unies-REDD+ (Maurice et al., 2014). Ces institutions demandent des systèmes de contrôle de l'état des forêts pour vérifier le respect de leurs normes. Par exemple, une condition de l'indemnisation financière pour la réduction de la déforestation et de la dégradation des forêts par le mécanisme REDD+ nécessite un système de mesures, de notification et de vérification (MRV) des changements dans les stocks de carbone forestier. Pour s'acquitter de leurs exigences en matière de surveillance des forêts, les pays participants

⁴ Interview avec trois agents des Eaux et Forêts à Korhogo, le 15 Février 2017.

doivent aligner leurs définitions des forêts et des classes avec celles de la FAO, qui joue un rôle prépondérant dans le respect de la REDD+. La définition des forêts de la Côte d'Ivoire de 2014 reflète cette harmonisation des législations nationales avec les normes de foresterie du carbone et de la métrologie internationales.

Le processus REDD+ de la Côte d'Ivoire vise à contribuer à l'engagement du pays à la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC) pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) de 28 % en 2030 par rapport au niveau des émissions de 2012⁵. L'agriculture compte pour 38 % de ces émissions, principalement par le biais de la déforestation. Le reboisement est un élément central de la stratégie nationale REDD+ pour restaurer 3,2 millions d'hectares de couvert forestier par le biais de programmes de reboisement. Bien qu'ils soient considérés comme des « arbres hors forêt », les anacardiens sont bien appréciés pour leurs propriétés de piégeage du carbone et pour la réduction de la pauvreté (CI REDD+, 2016).

Le nouvel accent mis sur la valeur de stockage de carbone des arbres a fait de la lignification des vergers d'anacardiens un critère essentiel de leur inclusion dans les programmes de reboisement promu par la FAO. Cette propriété diffère de la politique de reboisement colonial et des forestiers contemporains qui valorisent les arbres à cause de leurs ressources en bois. Une autre caractéristique unique de la REDD+ est qu'elle met l'accent sur la contribution du reboisement pour l'amélioration des standards du niveau de vie des individus et de la collectivité. Le fait que les agriculteurs peuvent vendre des noix de cajou en même temps que leurs vergers piègent le carbone est un scénario de reboisement gagnant-gagnant dans la stratégie REDD+ en Côte d'Ivoire.

D'autres formations ligneuses comme les plantations de caoutchouc peuvent également être incluses dans les programmes de reforestation aussi longtemps qu'ils remplissent les critères de la nouvelle définition de la forêt et ne remplacent pas les forêts existantes. Contrairement aux plantations de caoutchouc et d'huile de palme, les vergers d'anacarde ne sont pas considérés comme une cause de la déforestation. Les documents de planification stratégique nationale REDD+ de la Côte d'Ivoire notent que les anacardiens ont été plantés dans la « zone de savane arbustive pour arrêter l'avancée du désert » (CI REDD+, 2016). En effet, les vergers d'anacarde continuent d'être considérés comme un rempart contre la « savanisation » de la forêt tropicale (FPCF, 2014 ; SOFRECO, 2009) en brisant le « cercle vicieux » de la déforestation, la diminution des précipitations, une augmentation de l'aridité, la migration et des feux de brousse plus intenses (Bassett & Koli Bi, 2000 ; SOFRECO, 2009).

En résumé, une extraordinaire réhabilitation des plantations d'anacarde a lieu dans le cadre de REDD+. Ils sont passés d'un statut secondaire dans les programmes de sylviculture classique à celui de multiples fonctions de séquestration du carbone, d'amélioration des moyens de subsistance en milieu rural et de restauration du paysage.

4. CONCLUSIONS

Nous avons commencé cet article en posant la question de savoir si le boom des noix de cajou en Côte d'Ivoire marquait un tournant dans les tendances du couvert forestier. Pour répondre à cette question, nous avons d'abord dû établir que la superficie consacrée aux anacardiens était effectivement en augmentation. Les résultats de notre analyse des images satellite démontrent une expansion significative des anacardiens dans le paysage ivoirien entre 2005 et 2015. Mais est-ce que cette expansion représente une expansion du couvert forestier ? Nous avons adopté une approche historique et utilisé des méthodes qualitatives (entretiens, revue de la littérature) pour répondre à cette deuxième question. Cette orientation historique a montré comment les objectifs des forestiers et d'autres acteurs forestiers ont façonné la perception de l'anacardier en tant qu'espèce forestière ou non. Dans les programmes de reboisement dirigés par l'État pendant le 20^{ème} siècle, la croissance rapide des anacardiens a constitué un atout important dans la considération de l'anacardier comme une espèce aux buts multiples à savoir i) la fourniture de ressources en bois et ii) la protection des sols contre l'érosion. Ainsi, étant planté de nos jours pour la valeur de la noix, l'anacardier est disqualifié des programmes de reboisement en raison de cet objectif « agricole » qui est poursuivi, par opposition à l'usage « forestier » de l'espèce qui était autrefois promu.

Depuis le début du 21^{ème} siècle, la foresterie du carbone et le lobby croissant des institutions environnementales mondiales pour influencer les politiques nationales forestières sont en train de redéfinir la notion du reboisement. Les anacardiens sont maintenant considérés positivement dans les initiatives d'atténuation du changement climatique telles que celles de la REDD+ en raison de leur contribution à la fois à la séquestration du carbone et des revenus des ménages ruraux. Cependant, la nouvelle vision de reboisement incluant les « arbres fruitiers » ne signifie pas que n'importe quel arbre fruitier est admissible. Le verger doit être conforme à la définition de « forêt » en termes de superficie, de hauteur des arbres et de pourcentage de couvert de la canopée afin d'obtenir le statut de reboisement. L'harmonisation de la définition de la forêt en Côte d'Ivoire avec les normes standard de la CCNUCC est partie intégrante de la nouvelle vision et du statut élevé de l'anacardier.

⁵ Le niveau des émissions de 2012 est monté à 16 TCO₂ (REDD+ CI, 2016).

Bibliographie

- Bassett T., 2001. *The Peasant Cotton Revolution in West Africa, Côte d'Ivoire, 1880-1995*. Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- Bassett T., 2017. Le boom de l'anacarde dans le bassin cotonnier du nord Ivoirien. Structures de marché et prix à la production. *Afrique Contemporaine*, 263/264, 59-83.
- Bassett T. & Koli Bi Z., 2000. Environmental discourses and the Ivorian savanna. *Annals of the Association of American Geographers*, **90**(1), 67-95.
- Bassett T. & Koné M., 2017. Peanuts for Cashews? Agricultural Diversification and the Limits of Adaptability in Côte d'Ivoire. In: Chari S., Freidberg S., Gidwani V., Ribot J. & Wolford W. (eds). *Other Geographies: The Influences Of Michael Watts*, New York, John Wiley & Sons, pp. 79-96.
- Bruzon V., 1990. *Les savanes du nord de la Côte d'Ivoire. Mesologie et dynamique: l'herbe, le feu et le pâturage*. Thèse de doctorat : Université de Lille III, France, 299 p.
- Burges C.J., 1998. *Data Mining and Knowledge Discovery 2*: 121. <https://doi.org/10.1023/A:1009715923555>
- César J., 1990a. *Les feux de brousse*. IEMVET-CIRAD, fiche n° 3, Mars 1990, Paris, 11 p.
- César J., 1990b. *Les feux de brousse*. IEMVET-CIRAD, fiche n° 6 Juin 1990, Paris, 8 p.
- César J., 1991. *La production biologique des savanes de Côte d'Ivoire et son utilisation par l'homme. Biomasse, valeur pastorale et production fourragère*. Thèse de doctorat, Université de Paris 6, IEMVT, 671 p.
- CI-REDD+, 2016. *Stratégie Nationale REDD+ de la Côte d'Ivoire, Version 1*. Abidjan, Ministère de l'Environnement.
- Fonds de partenariat pour le carbone forestier (FCPF), 2014. *Proposition des mesures pour l'état de préparation (R-PP) République de Côte d'Ivoire*. FCPF and UN-REDD.
- Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), 1981. *Tropical Forest Resources Assessment Project. Forest resources of tropical Africa. Part II: Country Briefs*. Roma, FAO, pp. 97-134.
- Goujon P. et al., 1973. Études sur l'Anacardier. *Revue Bois et Forêts des Tropiques*, **151**, 27-53.
- Hsu C.W., Chang C.C. & Lin C.J., 2003. A practical guide to support vector classification: 1-16. <https://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/papers/guide/guide.pdf>
- International Forest Fire News (IFFN), 1999. Management and prevention of forest fires in Côte d'Ivoire. SODEFOR's forest fire protection program, IFFN 20, pp. 50-56. http://gfmc.online/iffn/country/ci/ci_2.html
- Koné M., 2012. *Biomass burning and atmospheric emissions in the sudanian savanna of Côte d'Ivoire*. PhD dissertation : University of Illinois, Urbana-Champaign, USA.
- République de Côte d'Ivoire, Ministère des Eaux et Forêts, 2014. Le nouveau Code forestière ivoirien. Loi. N. 2014-427 du 14 juillet 2014. <https://www.gouv.ci/doc/Code%20forestier%20ivoirien.pdf>
- Maurice J., Bouyer O. & Le Crom M., 2014. *Évaluer les avantages et inconvénients des différentes définitions de la forêt en Côte d'Ivoire*. Paris, Salva Terra.
- Société Française de Réalisation, d'Études et de Conseil (SOFRECO), 2009. *West Africa Post-Conflict Environmental Analysis--Rapport Final*. Clichy, France, SOFRECO.
- Zhu Z., Wang S. & Curtis E., 2015. Woodcock, Improvement and expansion of the Fmask algorithm: cloud, cloud shadow, and snow detection for Landsats 4-7, 8, and Sentinel 2 images. *Remote Sensing of Environment*, **159**, 269-277, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.12.014>

Thème 3.

Défense de la culture

12. Breakthrough in the bio-ecology of the cashew wood borer *Apate terebrans* Pallas (Coleoptera: Bostrichidae), in Northern-Benin

Cyriaque Agboton^(1,2), Alexis Onzo⁽³⁾, Aimé H. Bokonon-Ganta⁽²⁾, Manuele Tamò⁽¹⁾, Stefan Vidal⁽⁴⁾

⁽¹⁾ International Institute of Tropical Agriculture (Benin Station), 08 BP 0932 Tri Postal, Benin

⁽²⁾ University of Abomey-Calavi, Faculty of Agronomic Sciences, BP 526 Cotonou, Benin

⁽³⁾ University of Parakou/ Faculty of Agronomy, BP 123 Parakou, Benin

⁽⁴⁾ Department of Crop Sciences/Agricultural Entomology/Grisebachstrasse, 6-D370777, Göttingen, Germany.

E-mail corresponding author: c.agboton@cgiar.org

Description of the subject. This article presents advances in scientific knowledge of the biology and ecology of *Apate terebrans* Pallas, cashew wood borer in Northern-Benin.

Objectives. This study aims at providing insight into the life history and ecology of this serious cashew pest as prerequisites for the implementation of adequate control strategies.

Method. The study was conducted during 2010-2011 and 2011-2012 cashew production seasons in Northern-Benin. The investigation involved observations of *A. terebrans* behavior at night and during daytime, assessment of its infestation rates, light trapping, cutting-off and dissection of cashew trees, head capsule measurements, at several instances.

Results. *Apate terebrans* attacks mature cashew trees, either apparently healthy or weakened by various physiological stresses. Both male and female adults initiate entry holes in branches and trunks. No eggs or larvae were found inside living cashew trees. In contrast, immature instars of *A. terebrans* are mostly found inside dead and mostly rotting infested cashew wood. Based on head-capsule measurements, four larval instars were identified. The life cycle of the cashew wood borer lasted approximately 11 to 15 months in the field.

Conclusions. An important milestone on some parameters of the biology and ecology of this insect is achieved. It is expected that the development of aggregation or sex pheromones may be an alternative to monitor adult *A. terebrans* populations and more importantly, collecting and burning all dead twigs and branches attacked by *A. terebrans* would constitute one of the most appropriate measures to substantially reduce *A. terebrans* infestation in cashew orchards.

Progrès dans la bio écologie du foreur de bois d'anacardier *Apate terebrans* Pallas (Coléoptère : Bostrichidae) au Nord-Bénin

Description du sujet. Cet article présente les avancées réalisées dans la connaissance scientifique de la biologie et de l'écologie de *Apate terebrans* Pallas, foreur de l'anacardier au Nord-Bénin.

Objectifs. Cette étude vise à fournir les données scientifiques sur la table de vie et l'écologie de ce redoutable ravageur de l'anacardier, comme conditions indispensables à la mise en œuvre de mesures de contrôle efficaces.

Méthode. Les travaux ont été conduits durant les saisons 2010-2011 et 2011-2012 de production de l'anacardier au Nord-Bénin. Des observations, à plusieurs reprises, du comportement du coléoptère, l'évaluation de ses taux d'infestation, le piégeage à la lumière, les coupes et dissections des bois de l'anacardier et les mesures de la capsule céphalique du foreur ont été faits.

Résultats. *Apate terebrans* attaque les anacardières matures, soit apparemment sains, soit affaiblis par différents facteurs de stress physiologiques. Les adultes mâles et femelles initient des trous d'entrée dans les branches et les troncs. Aucun œuf ni aucune larve n'ont été retrouvés à l'intérieur des anacardières vivants. En revanche, les stades immatures de *A. terebrans* se retrouvent surtout dans les bois morts d'anacardier infestés et ou en état de décomposition. Sur la base des mesures de la capsule céphalique, quatre stades larvaires ont été identifiés; le cycle de vie du foreur a varié entre 11 et 15 mois au champ.

Conclusions. Une étape importante est franchie dans la connaissance scientifique de la biologie et de l'écologie de *A. terebrans*. Il est attendu que le développement des phéromones sexuelles ou d'agrégation pourrait être une alternative pour suivre les populations adultes de *A. terebrans* et, plus important encore, le ramassage et le brûlage des bois et branches d'anacardières morts, attaqués par *A. terebrans* constituerait l'une des mesures les plus appropriées pour réduire considérablement les infestations de *A. terebrans* dans les anacarderaies.

1. INTRODUCTION

In Benin, cashew (*Anacardium occidentale* L.; Sapindales: Anacardiaceae) is gaining a commercial importance with nut production that increased from 29,084 tons in 1988 to 130,000 tons in 2015, and 200,000 ha of cultivated area (ACi, 2012; Cashewinfo.com, 2016). It is the second most important cash crop for the country, just behind cotton; thereby contributing for about 8% to national export income and 28% of total agricultural exports, a significant share of Benin's Gross Domestic Product (ACi, 2012). Unfortunately, one of the serious biotic constraints to the good prospects for this crop remains the cashew wood borer, *Apate terebrans* Pallas (Coleoptera: Bostrichidae) (Agboton et al., 2014).

Commonly named “black borer” or “trunk borer”, *A. terebrans* is an important wood-boring beetle that infests cashew trees not only in Benin (Agboton et al., 2014), but also in many other cashew producing countries in West Africa (Dwomoh et al., 2008; Wagner et al., 2008; Vasconcelos et al., 2014). *Apate terebrans* is native to Africa and Madagascar from where it is now widely spreading into Arabian Peninsula, and Central and South America (Hill & Waller, 1988). On the European continent, it has been reported in Austria, Georgia, Spain and The United Kingdom (https://wikivisually.com/wiki/Apate_terebrans).

Besides being cosmopolitan, *A. terebrans* is a polyphagous insect pest species that attacks several host-plant species including *Acacia* spp., coffee, citrus, guava and cashew (Hill & Waller, 1988). Several authors (Roberts, 1969; Atuahene, 1976; De Souza et al., 2009; Agboton et al., 2014) reported other indigenous or introduced host-plant species including *Terminalia ivorensis* and *Terminalia mantaly* (Combretaceae); *Bridelia ferruginea* (Euphorbiaceae); *Albizia lebeck*, *Albizia procera*, *Parkia biglobosa* and *Dalbergia sisso* (Fabaceae); *Theobroma cacao*, *Ceiba pentandra* and *Bombax costatum* (Malvaceae); *Azadirachta indica*, *Cedrela odorata*, *Khaya senegalensis*, *Khaya grandifolia*, *Melia azadirachta* and *Melia composita* (Meliaceae); *Eucalyptus polycarpa* (Myrtaceae); *Triplochiton scleroxylon* (Sterculiaceae) and *Tectona grandis* (Verbenaceae). Damage caused by *A. terebrans* to cashew trees or other host-plants occurs either in cultivated or wild tree plantations and concerns both young and mature trees. Adult *A. terebrans* attacks stems, branches and trunks of living cashew trees by boring holes; whereas larvae are found developing inside felled or moribund trees (Roberts, 1969; Agboton et al., 2017).

In spite of its economic importance, detailed information on the biology and ecology of this insect pest species are scarce. The few papers related to this topic are somehow old, reporting only a brief and less informative description of its life cycle (Lesne, 1924; Thompson, 1963; Roberts, 1968), and of the damage symptoms inflicted to infested trees (Brown, 1967; Topper, 2008; De Souza et al., 2009). The reason for the scarcity of information on the biology and ecology of this coleopteran species may result from its wood-concealed life history.

These cryptic developmental phases of *A. terebrans* render almost impossible its effective control. This is more so as designing efficient control measures requires among many other data, an excellent knowledge of the ecology and biology of the target pest species. It urges to deeply investigate on the biology of this species to be able answering some of the frequent questions that rise when searching for the way to control this pest. Those questions include: How far adult *A. terebrans* are aggregated on a single cashew tree? During which period of the day are they active? Where do females lay their eggs? How many larval instars are associated with the development of this beetle? What is the lifespan of adults (males and females)? What strategies are developed by *A. terebrans* to attack cashew trees? Where can adult beetles be collected for experimental purposes? Answers to some of those questions are provided through the results, presented here based on a two-year investigations conducted in cashew orchards in Northern-Benin. The study aimed, indeed, at improving our scientific knowledge of this coleopteran, thereby helping in the development of an effective integrated management strategy for its control.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Study area

This study was conducted from September 2010 to August 2012 in eight mature cashew orchards located in the Benin cashew belt that ranges between latitude 7°10' N (i.e. the Abomey-Kétou line) in the south and latitude 10°25' N (i.e. Gogounou) in the north. (Tandjiékpon et al., 2005). This cashew belt is characterized by two major rainfall regimes: unimodal and bimodal. The unimodal rainfall regime occurs in the northern part of the country with a rainy season that begins in May and ends in October. The bimodal rainfall regime occurs in the southern and central parts of the country, with a short rainy season that lasts from October to November and a long rainy season occurring from April to July. The rainfall pattern exhibits a declining gradient from south to north. The geographical coordinates and characteristics of the surveyed orchards are presented in Table 1.

Table 1. Geographical coordinates of the surveyed orchards inside cashew belt in Benin – *Coordonnées géographiques des vergers étudiés à l'intérieur de la ceinture de production de noix de cajou au Bénin.*

Sites	Latitude	Longitude	Élévation (m)	Rainfall regime	Area (ha)
Kikélé	9°01.146 N	1°44.162 E	383	Bimodal	10
Kouandé	10°18.407 N	1°41.401 E	444	Unimodal	3
N'dali	9°56.053 N	2°45.186 E	383	Unimodal	6
Korou	8°54.375 N	2°33.736 E	336	Unimodal	5
Okoutaossé	8°34.173 N	1°41.759 E	269	Bimodal	10
Parakou	9°22.196N	2°40.255 E	338	Unimodal	6
Vanhoui	9°33.727 N	1°49.757 E	419	Unimodal	10
Pabegou	9°47.920 N	1°34.181 E	492	Unimodal	4

2.2. Foraging strategies

Initiation of entry holes and damage symptoms. Observations were made in three cashew orchards located respectively at Korou (near Tchaourou), N'dali and Parakou. To determine which of the male or female beetle that initiate entry holes, five infested cashew trees were selected per site and on each tree, eight newly bored entry holes were sprayed with a commercial aerosol insecticide named 'Rambo' (active ingredients: 1% propoxur, 1% dichlorvos, and 0.04% cyflutrin). After about 15-30 min, adult *A. terebrans* that came out were collected and preserved in 70% ethanol and brought to the laboratory for sex determination. The experiments were carried-out in September, at the onset of cashew tree colonization by *A. terebrans* (Agboton et al., 2017).

To characterize the damage symptoms of *A. terebrans*' attack on cashew trees, visual inspections of tree trunks and twigs were made followed by the sawing and dissection of few cashew wood pieces (ca. 1-2 m long), that bear some entry holes.

Diurnal and nocturnal activities of *A. terebrans* in cashew orchards. The behavior and foraging activities (i.e. flying, landing, wood-boring, mating, etc.) of adults' *A. terebrans* were visually observed during daytime in several cashew orchards. In each orchards, the physical conditions of cashew trees (i.e. healthy, weakened or physically stressed), that were attacked by *A. terebrans* were recorded. In that respect, a cashew tree was considered 'stressed' when it displayed, among others, the following symptoms: burned or wilted leaves and new shoots, abnormally reduced canopy size, dieback of twigs and branches, including previous attacks by *A. terebrans*. At the same time we determine how much *A. terebrans* re-infests the same cashew trees or avoid attacking previously infested trees in a given orchard. This was done by calculating the proportion of newly infested trees over the total number of infested trees. Additionally, the locations where *A. terebrans*' offspring develops were investigated through dissections of infested cashew wood pieces that have been freshly cut-off during pruning operations and/or abandoned on the ground inside the orchards or in the surrounding environments. The ability of *A. terebrans* to attack dead cashew wood was investigated by putting young adult beetles together with fresh and old cashew wood pieces in some small cages. The behavior of the wood borer was recorded until all individuals died.

During night hours, we explored the possibility of attracting and catching the cashew wood borer using light trap. The light trap (Figure 1) used was 200 cm height and made of metal structures covered with fine-mesh iron screen equipped with a 500 Watts E40 discharge lamp as light source (Figure 1). Concomitantly, the behavior of the wood borer on several cashew trees (i.e. flying, landing, mating and feeding), was observed during night hours in all the orchards where the light trap was set. In the morning, the number of *A. terebrans* specimens that were caught in the trap during the previous night and their sex-ratio were recorded. The light trap experiments were carried-out in December 2011 for three consecutive nights, from 7 p.m. to 5 a.m. in the following morning.

Investigation on *A. terebrans* life cycle. Investigations on the life cycle of *A. terebrans* were conducted for two production seasons in three cashew orchards located at Korou (near Tchaourou), N'dali and Parakou. Observations were made monthly from September 2010 to August 2012. On each sampling event and in each orchard, two to five piles of cashew stems, trunks or branches (about 30-75 cm long) that were wind-broken from cashew trees or left on the ground inside or near the orchard by the farmer during thinning operations were sampled at random.



Figure 1. Light trap placed in cashew orchard to attract and to catch the wood borer *Apate terebrans* – Piège à lumière placé dans un verger d'anacardier pour attirer et attraper le foreur de bois *Apate terebrans*.

These pieces of wood were carefully dissected using a machete, scraper or saw and the distinct developmental stages (eggs, larvae, pupae and young adults) of *A. terebrans* discovered in the decaying wood pieces were collected. Apart from young adults that were collected and put in small plastic containers (17 cm diameter × 10 cm height), all the other developmental stages, especially larvae, were slightly pierced on their body using a needle and soaked in warm water for few seconds to preserve the morphology of their internal organs. Thereafter, they were transferred to 70% ethanol, and all collected materials were brought to the laboratory for further examinations as described below.

Determination of larval instars. It is acknowledged worldwide that the width of the head capsule of larval stages of many insect species is an important parameter in identifying their instars (Beaver & Sanderson, 1989; Panzavolta, 2007). In that respect, the widths of the head capsule of *A. terebrans* larvae collected in the fields were measured. Measurements were taken of the widest dimensions of the head capsule under a dissecting binocular microscope equipped with a micrometer. Data collected were used to build a frequency distribution table that would allow determining the number of larval instars of *A. terebrans*. The statistical package 'R' (R Development Core Team, 2005) was used to plot the frequency distribution curves and to calculate the mean and variance for each distribution range corresponding to each larval instar.

Estimation of the mean developmental time. The mean developmental time (expressed in days) represents the mean length duration from egg to adult. Data were recorded during the production seasons 2010-2011 and 2011-

2012. During each season, branches, twigs and stems of different lengths (about 30-75 cm long) that were carrying fresh entry holes (i.e. holes from which sawdust is expelling out) were cut from cashew trees, brought to the laboratory and maintained under three different conditions: i) in small plastic containers (17 cm diameter × 10 cm height) that were half-filled with tap-water and in which the wood piece was maintained vertically with one end sinking in the plastic container; ii) in small cages made of hard wood (30 × 30 × 45 cm) covered with galvanized screen of ca.2 mm wire mesh; and iii) in big cages made of galvanized iron (150 × 150 × 110 cm) covered with muslin cloth and placed outdoors under natural conditions. The small plastic containers and the small cages with their contents were kept indoors.

Because damage is usually the result of maturation feeding prior to oviposition (Thompson, 1963; Wagner et al., 1991), we speculated that oviposition should occur just after the beetles have started boring into the cashew wood. Moreover, Thompson (1963) reported that the life cycle of *A. terebrans* does not exceed five months; therefore, we assumed that after five months, all the adult parents that were brought from the field inside those wood pieces would have die. So, any living beetle that would be observed while dissecting the wood pieces would have necessarily emerged from eggs laid by their parents. Based on these assumptions, we decided to dissect the wood pieces maintained in any of those containers, at 6, 11, 12 and 15 months from the cutting day. The developmental time of the beetle stage encountered in the wood piece was estimated as the time span (in days) that runs from the onset of the incubation to the time when the wood was dissected. The developmental stage of each insect found inside the wood pieces, their number, their sex, and their duration were recorded. The Fisher's Exact Test in SAS 9.2 (SAS Institute, 2009) was used to compare the proportions of the different insect stages (larvae and adults) collected between two consecutive wood dissection sessions. The mean total developmental time, from egg to adult, was estimated by adding the mean durations of all the developmental stages.

In addition to the laboratory evaluations, we investigated on what does naturally occur inside whole branches in the field. In that respect, several fresh entry holes bored by *A. terebrans* on branches and twigs were identified on some cashew trees inside different orchards, with the record of the day of their selection. Then at 1 month, 2 months, 3 months, 6 months and 9 months from this moment, two to five pieces of branches or twigs of variable sizes carrying marked entry holes were cut and dissected to check which developmental stages of *A. terebrans* they did contain.

Assessment of adult longevity. Newly emerged adults *A. terebrans* (60 males and 60 females) collected from cashew orchards were separated into four groups, each group comprising 15 males and 15 females. All the members of each group was put in a small cage (30 × 30 × 45 cm) made of hardwood and covered with galvanized screen (ca. 2 mm wire mesh). They were maintained in an insectary at IITA-Benin station at Cotonou at 25.6-30.8 C and 30-76% RH, and fed with fresh cashew wood pieces that were provided every fortnight. Individuals of *A. terebrans* were monitored daily until they died and their longevity determined. The sex of the dead individuals in each group was also recorded. The effect of sex on the longevity of *A. terebrans* was then determined using a paired T-Test procedure in SAS 9.2 (SAS, 2009).

2.3. Sex-ratio

Sixty cashew wood pieces (30-75 cm long) bearing fresh entry holes were cut from living cashew trees during the peak infestation period of *A. terebrans* (January-February) from six different orchards (Korou, Okoutaossé, Vanhoui, Parakou, N'dali and Pabegou). They were carefully dissected using a machete. Adult cashew wood borers found were collected and brought to the laboratory. The different sexes were identified and data on sex-ratio (expressed as the proportion of males to the total number of individuals in the samples) were analyzed using a binomial test, with the assumption that the sex ratio is determined by a random (binomial) process with mean of 0.5 (Siegel & Castellan, 1988).

3. RESULTS

3.1. Foraging strategies

Initiation of entry holes and damage symptoms. Adult *A. terebrans* was the only life stage observed attacking living cashew trees. On an infested tree, attacks from the borer are located from the basis of the tree trunks up to the branches. On the tree trunk, attack holes (circular holes of 0.8-2.8 cm diameter) were oriented upwards whereas on branches they were bored exclusively on the underside of the branches. When numerous, attack holes

are almost equidistant. Infestation of cashew trees by *A. terebrans* is easily detected through the remarkable fine sawdust accumulated at the base of the tree. In addition to those external damage symptoms, *A. terebrans* generally bored into the sapwood and, to a lesser extent, into the heartwood (Figure 2). By digging these holes, *A. terebrans* weakens the cashew tree, and causes the breaking-off of stems or branches and in some instances, the death of young trees. In reaction to successful attacks, cashew trees exude a kind of sap that dries up, later on, and close the entry hole.



Figure 2. Cross section of cashew wood infested by *Apate terebrans* (cashew wood borer) – *Coupe transversale de bois d'anacardier infesté par Apate terebrans (foreur de bois d'anacardier).*

During the two-year observations, entry holes were most frequently initiated by females. Of the 120 entry holes inspected at the onset of the infestation of cashew orchards during the first year, 105 revealed the presence of adults and all of them were female. A similar pattern was observed during the second year where among the 110 of the 120 entry holes that were occupied by adult *A. terebrans*, 103 were females and 7 were males. So, 100% of hole-initiators were female *A. terebrans* during the first year, versus 98% during the second year.

3.2. Diurnal and nocturnal activities of *A. terebrans* in cashew orchards

During the three light trap sessions, two, three and five individuals were caught, respectively. Of this total of 10 adult *A. terebrans*, 6 were males and 4 were females. Observations made across the orchards at night revealed that both females and males were involved in the digging of entry holes.

Contrasting with the observations made during night hours, adults *A. terebrans* were not seen flying and landing on the trees during daytime. They were rather found walking on “suitable cashew trees”, probing different parts of the tree before starting digging an entry hole. Sometimes, they abandon some holes that had just been initiated. The effective feeding holes resulted into excavating of long galleries that run upwards with few ramifications. In those holes, both male and female *A. terebrans* could be found. Gradually, the number of entry holes increased, witnessing the colonization of the same trees by new individuals. New infestations (i.e. re-infestation) rates varied from 58.33 to 69.33% (mean±SD: 62.68±4.27%), and 54.55 to 100% (mean±SD: 84.65±17.58%) in year 1 and year 2, respectively. *Apate terebrans* infested living cashew trees without discriminating whether they were apparently healthy or weakened by various physiological stresses.

Our investigations to determine what naturally occurs inside cashew tree trunks and branches in the orchards several months after infestation did not yield any live *A. terebrans* developmental stages inside living trees.

However, our data showed that adult *A. terebrans* was able to attack wood pieces kept inside cages.

By comparing day and night activities, it seems that *A. terebrans* were more active at night than during daytime in initiating entry holes. However, no mating activities among wood borers were observed, either at night or during daytime.

3.3. Investigation on *A. terebrans* life cycle

Different developmental stages. Our investigations suggested that the life cycle of *A. terebrans* goes through four separate developmental stages including: egg, larva, pupa and adult (Figure 3). Each of these stages was easily recognized by its morphological characteristics.

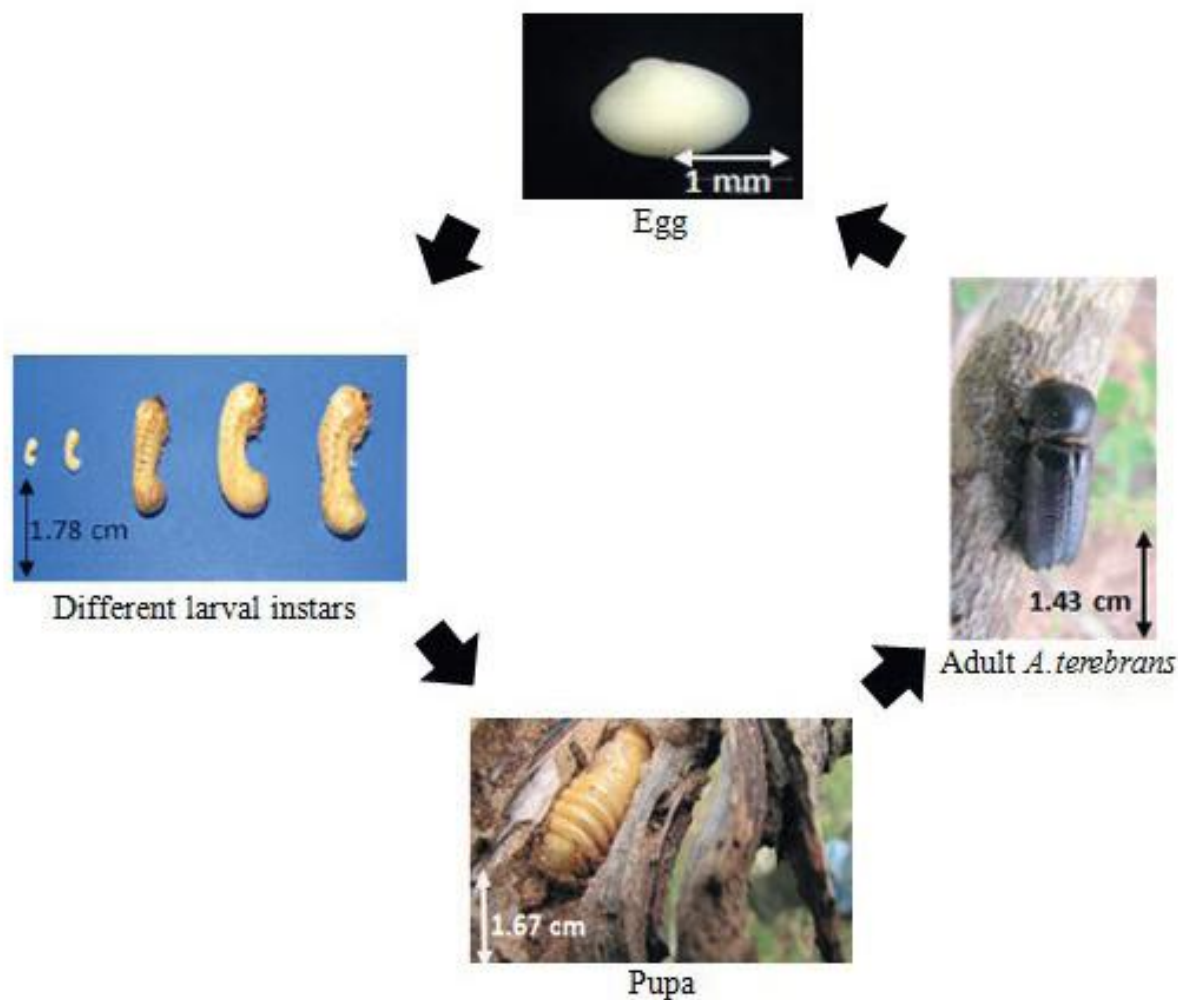


Figure 3. Life cycle of *Apate terebrans* cashew wood borer – Cycle de vie du foreur de l'anacardier *Apate terebrans*.

Egg. The dissection of 30 adults females showed that a gravid female harboured 58 to 163 eggs (mean \pm SD: 90 ± 32.4 eggs) in its ovaries. The eggs appear spherical and white, of variable sizes (Figure 4). Unfortunately, the duration of the egg stage could not be determined since it was not possible to incubate the eggs until hatching.

Larva. The larva of *A. terebrans* has a curved body shape, roughly C-shaped; it is yellowish in color, and the primordia of the three pairs of thoracic legs were visible with naked eyes. The head capsule is marked on each side, along the leading edge by a black spot, and is sinuate in the vicinity of the antenna. The front edge of the frons is pale yellow in color. The size of the larva varied from 4 to 31 mm, depending on the instar.

The width of the head capsule of the different larval ranged from 1.2 to 5.9 mm. The frequency of their distributions followed a multimodal trend (Figure 5) and four groups seemed very obvious; each group representing a distinct larval instar. So, four larval instars had been observed based on our samples. The parameter estimates

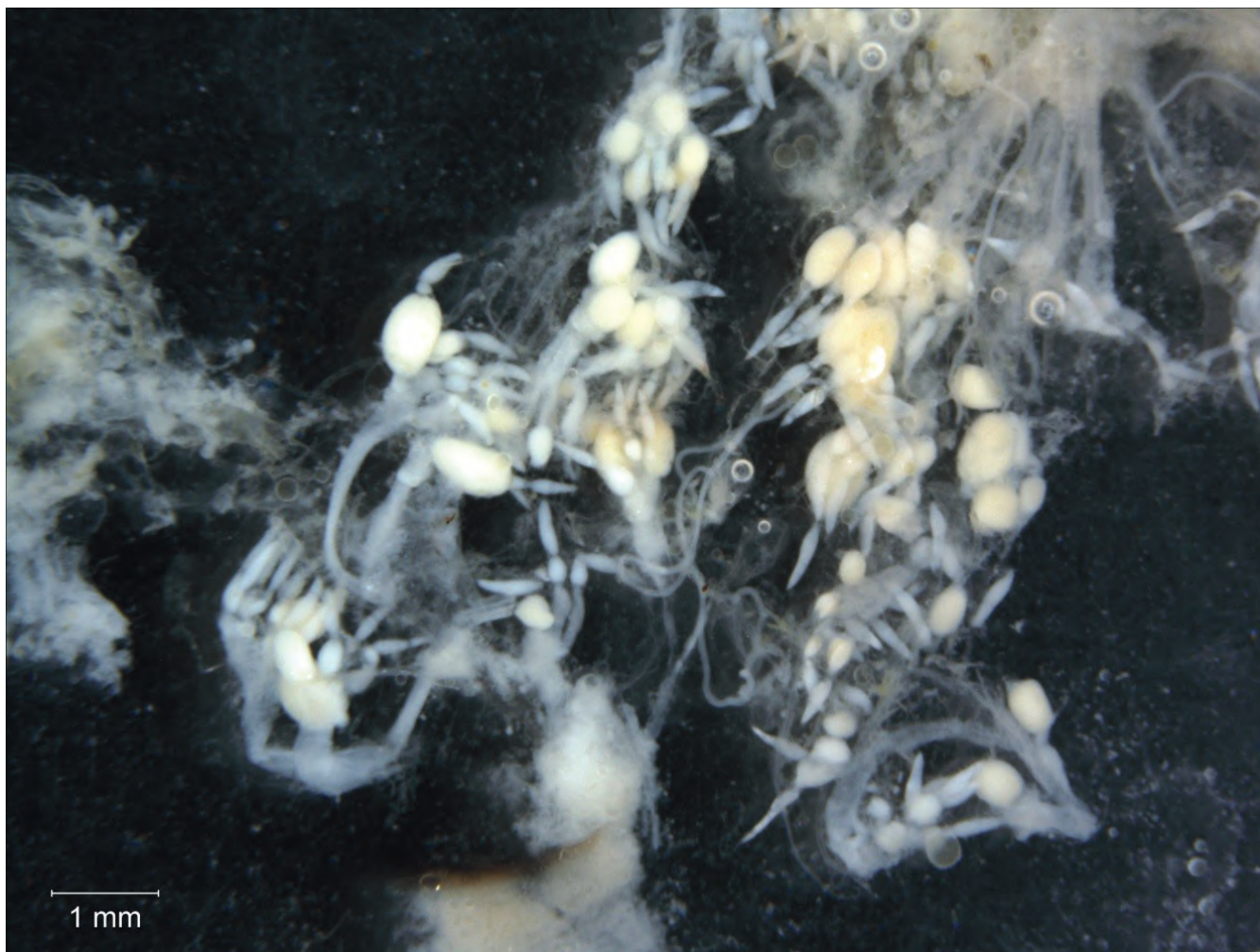


Figure 4. *Apate terebrans* dissected ovaries and displaying many eggs, seen under a binocular – *Dissection de l’ovaire d’Apate terebrans montrant de nombreux œufs, vue avec un binoculaire.*

(mean, standard deviation, size range, and N for each instar) are presented in Table 2. Additionally, only one parasitized larva was found during head capsule measurement and the insect identified as a species belonging to family Ichneumonidae.

Pupa. With a relatively cylindrical shape, the pupa of *A. terebrans* is yellowish to pale in color. It bears the beginnings of antennae, legs and wings. A very regular transversal row of spines is present on each of segments 1 to 5; the spines becoming numerous and thicker backward. The 7th segment bears a subdigitiform lobe that is perpendicular to the body, and armed at the apex by four robust spines. The two median trifidi or quatrifidi, the lateral ones (simple and longest), are curved in the form of a bull’s horns (Figure 6). The pupae were 26-32 mm long (mean \pm SD: 29 ± 1.8 mm; N=30), and 8-10 mm wide (mean \pm SD: 9.5 ± 0.7 mm; N=30).

Adult. The adult beetle is black in color, elongated and somewhat cylindrical in shape. The head is directed downward, rarely visible from above and covered by a hook-like thorax. Measurements of the body length are as follows: male 17.1-29.8 mm (mean \pm SD: 26.1 ± 1.89 mm; N = 60) and female 25.2-31.5 mm (mean \pm SD: 28.09 ± 1.36 mm; N=60). The adult female is distinguished from the male by a large tuft of yellow hairs with two triangular teeth called tubercles on the frons. It was also noted that the elytra of the female bear some parallel lines that are not observed with the male.

Table 2. Head capsule widths (mm) of instars 1 to 4 of 239 *Apate terebrans* larvae collected from cashew wood in Benin, West Africa – *Largeurs (mm) des capsules céphaliques des stades 1 à 4 de 239 larves d'Apate terebrans collectées à partir du bois de noix de cajou au Bénin, Afrique de l'Ouest.*

Larval Instars	Number of specimen	Size range (mm)	Mean size ± SD (mm)
1	131	1.2 - 1.8	1.44 ± 0.15
2	36	1.9 - 2.5	2.16 ± 0.13
3	37	2.6 - 4.5	2.73 ± 0.20
4	35	4.6 - 5.9	5.38 ± 0.29

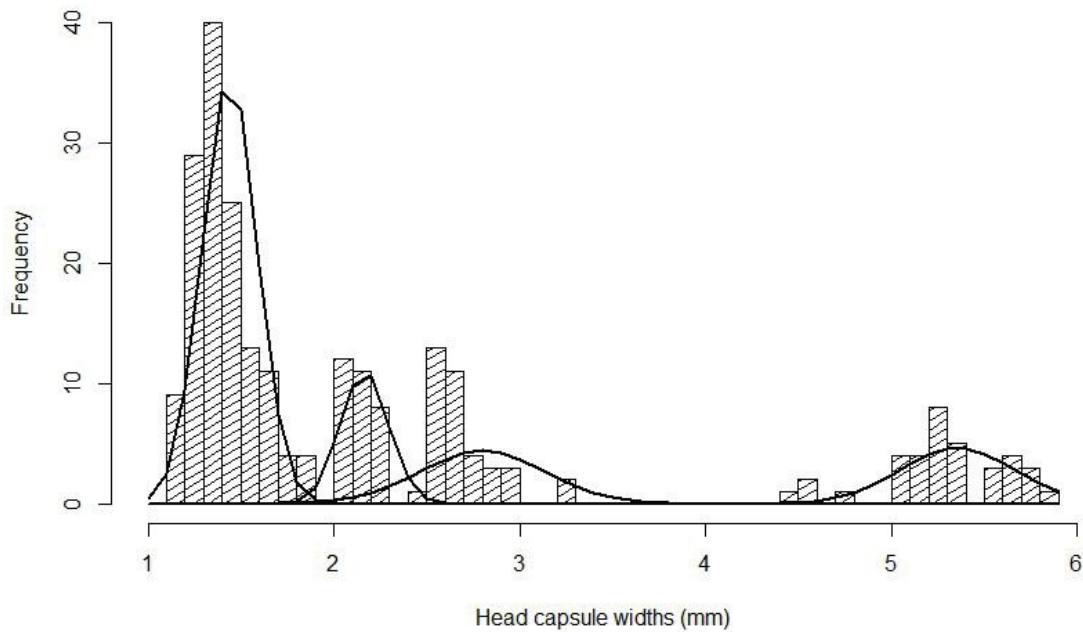


Figure 5. Frequency distribution of head capsule widths of *Apate terebrans* larvae collected from cashew wood in cashew orchards in Benin (September 2010-October 2012) – *Fréquence de répartition de la largeur de la capsule crânienne des larves d'Apate terebrans collectées dans le bois des vergers d'anacarde au Bénin (septembre 2010-octobre 2012).*



Figure 6. Pupa of *Apate terebrans* collected from cashew wood – *Pupe d'Apate terebrans collectée à partir de bois d'anacardier.*

Mean developmental time of *A. terebrans*. After at least six months of incubation, larvae and young adults *A. terebrans* were obtained only from the dissection of the wood pieces kept in large cages and placed under natural conditions. There were no significant differences between the proportions of larvae and adults collected during the two dissection sessions [Fisher's Exact Test, ($P = 0.4315$)]. After 15 months of incubation, the mean developmental time estimated ranged from 11 to 15 months with an average of 12.37 months during the first examination and from 11 to 15 months with an average of 12.32 months during the second one. The pieces of wood incubated in small plastics or in cages inside the insectarium, then dissected after the defined time interval, did not disclose any stage of *A. terebrans*. Moreover, the cashew wood pieces with fresh entry holes, that were marked on cashew trees and thereafter cut and dissected at defined time intervals, did not show any stage of *A. terebrans*.

3.4. Sex ratio and adult longevity

Of a total of 98 adults of *A. terebrans* collected after the dissection of the cashew wood pieces, 46 were females and 52 were males. The sex-ratio [male/ (male + female)] was therefore equal to 0.53 (i.e. male biased), which was not significantly different from a mean sex-ratio of 0.5 ($p = 1.0$). Under our experimental conditions, adult longevity varied between 5 and 48 days (mean \pm SD: 19.72 ± 12.22 days), with no significant differences between the sexes ($df = 59, 59$; $F = 1.02$; $p = 0.95$).

4. DISCUSSION

To our knowledge, this study is the first carried-out in Benin, and certainly in other cashew producing countries, that reports in detail on several aspects of the bio ecology and colonization strategies developed in cashew orchards by the wood-borer, *A. terebrans*. It genuinely complements earlier reports on the bio ecology of bostrichid beetles (Lesne, 1924; Roberts, 1968; Wagner et al., 2008), thereby providing a solid background knowledge that is a prerequisite for developing a sustainable management strategy against *A. terebrans* in cashew orchards.

Our results showed that adult *A. terebrans* attacks living cashew trees, regardless of its physiological states (i.e. healthy or unhealthy). From one year to the other, infestation in cashew orchards increases at the rate of more than 50%. Reason for this high rate of new infestations can be sought in wood borer colonization's behavior. Indeed, *A. terebrans* generally prefers attacking new trees rather than previously infested trees whose nutrient potential has been somehow depleted (Agboton et al., 2017). The search for infested trees is probably fine-tuned based on information given by the first individuals through some volatile cues. The consequence of such behavior is that, in a few years, a larger proportion of trees inside a cashew orchard could become infested, thereby negatively affecting the productivity of the orchard. The dissection of infested woods reveals many tunnels that generally crossed the sapwood and incidentally the heartwood, a characteristic that is very common with bostrichid beetles (Browne, 1968; Wagner et al., 1991; Bosu & Apetorgbor, 2009). The destruction of the wood tissue increases the risk of breaking-off of stems, branches and occasionally trees, during wind-gusts (Agboton et al., 2017).

While our data showed that entry holes were mainly initiated by females before being joined by males for maturation feeding and probably mating purpose, no eggs were recovered inside the tunnels. It also appears from our experiment that although *A. terebrans* attacks living cashew trees and seemingly oviposits in the tunnels (Bosu & Apetorgbor, 2009), eggs do not hatch inside them. Indeed, decaying and rotting cashew wood pieces left on the ground are the natural sites for the development of immature stages of *A. terebrans*. Our finding agrees with Roberts (1968) and Waller et al., (2007), who reported that for most bostrichids, larvae are seldom recovered from live trees. Why eggs do not hatch and that immature stages fail to develop inside living trees require further investigations.

It also rises from our observations that none of the infested wood pieces maintained in plastic containers or small cages indoors for several months yielded offspring whereas, in contrast, those maintained in a semi natural environment yielded both larvae and young adults. Natural conditions and the decaying status of the wood seem to be necessary for the development of immature stages of *A. terebrans*. It is known that *A. terebrans* prefers wood with high starch content which is higher in felled or moribund trees than in living trees (Waller et al., 2007), and this may be one of the reasons guiding their choice of decaying wood for breeding. One of the implications of these findings for the management purpose is that the removal and burning of dead and/or decaying branches and trunks within and around cashew orchards could help reducing *A. terebrans* pressure on the trees (Biaou, 2016).

Our data clearly show for the first time that like other bostrichid species [e.g., the lesser grain borer *Rhyzopertha dominica* Fabricius (Edde, 2012), *Polycaon chilensis* (Erichson) (Liu et al., 2008)], *A. terebrans* possesses four larval instars. However, it differs from the larger grain borer *Prostephanus truncatus* Horn which goes through only three larval instars (Nansen & Meikle, 2002), and from *Xylopsocus bicuspis* Lesne with five larval instars (Liu

et al., 2008). For most species in the family Bostrichidae, these differences in the number of larval instars could be explained by diverse factors among which the most common are temperature, photoperiod, food quantity and quality, humidity, injuries, inheritance and sex (Esperk et al., 2007). For example, in *Lyctus brunneus* Stephens, a pest of timber-in-service, the number of larval instars varies from 4, under natural conditions, to 11 in laboratory conditions with insufficient food supply (Liu et al., 2008). However, how this applies to *A. terebrans* remains to be investigated. Hence, depending on the rearing conditions, it is possible to record for *A. terebrans* a number of larval instars that differs from the one reported in our study.

Whereas our methodology needs to be improved, it shows that the mean lifespan of adult female *A. terebrans* was 19.72 (\pm 12.22) days, which is an important milestone towards better understanding of the biology of the wood borer. Our data also show that total number of eggs recovered from a female *A. terebrans* through dissection averaged 90 (\pm 32.3) eggs but ranged from 58 to 163 eggs, a range that includes the 120 eggs reported by Lesne (1924) from the unique female dissected. Our data agrees with the finding by Lesne (1924); however, both data just reported the potential eggs that can be laid by *A. terebrans*; so, what proportion of this potential is really converted into eggs in the field remains to be investigated.

Additional to aggregated spatial distribution pattern that *A. terebrans* displayed in cashew orchards (Agboton et al., 2017), our observations on the foraging behavior of *A. terebrans* show that the male and female of this beetle, are more active at night than during daytime and are attracted to light, supporting earlier reports (Lesne, 1924; Roberts, 1968). This finding paves the way for the possibility of using light trap in conjunction with development of aggregation pheromone or sex pheromone in monitoring adult *A. terebrans* populations.

5. CONCLUSIONS

Definitively, we had deepened our scientific knowledge on the bio ecology of *A. terebrans*, which is rarely studied because of its cryptic lifestyle. The study showed that the adult attacks cashew living trees regardless of its physiological states and for food purposes. The immature stages of the insect develop in dead woods of cashew trees or in a state of decomposition. This finding suggests that the beetles can be collected from dead woods for experimental purposes, but more importantly, collecting and burning these dead woods would be an effective means of reducing *A. terebrans* infestation in cashew orchards. This study also revealed the light trap as another means of capturing the borer and its use could be considered in recapture studies and/or in monitoring of *A. terebrans* populations. However, the precise determination of the oviposition site, the possible reasons for the non-development of immature stages in living wood and the development of a suitable methodology for conducting egg to adult stages remain challenges to overcome.

Acknowledgments

We are grateful to Mamadou Ahanchédé and Emmanuel Dossè, International Institute of Tropical Agriculture (IITA)-Benin Station for their technical assistance. We also thank the many cashew growers in Northern-Benin for their precious cooperation during the study. This research was supported with funds provided to the International Institute of Tropical Agriculture by the German Federal Ministry for Economic Cooperation and Development (BMZ) Project No.: 08.7860.3– 001.00; Contract No.: 81109047.

Bibliography

- ACi, 2012. *Gender Transformation in Cashew Value Chain*. Website: www.africancashewalliance.com (accessed 21 November 2013).
- Agboton C. et al., 2017. Spatial and temporal infestation rates of *Apate terebrans* (Coleoptera: Bostrichidae) in cashew orchards in Benin, West Africa. *African Entomology*, **25**(1), 24-36.
- Agboton C. et al., 2014. Insect fauna associated with *Anacardium occidentale* (Sapindales: Anacardiaceae) in Benin, West Africa. *Journal of Insect Science*, 14(229), DOI: 10.1093/jisesa/ieu091
- Atuahene S.K.N., 1976. Incidence of *Apate* sp. (Coleoptera: Bostrychidae) on young forest plantation species in Ghana. *Ghana Journal of Forestry*, **2**, 29-35.
- Beaver R.J. & Sanderson J.P., 1989. Classifying instars of the navel orangeworm (Lepidoptera: Pyralidae) based on observed head capsule widths. *Journal of Economic Entomology*, **82**, 716-720.
- Biaou T.J., 2016. *Efficacité de quelques méthodes prophylactiques dans la lutte contre le foreur de tige Apate terebrans dans les anacarderaies du Nord-Bénin*. Mémoire de Master Recherche, Faculté d'Agronomie, Université de Parakou (Bénin), 55 p.

- Bosu P.P. & Apetorgbor M.M., 2009. Rising pest problems in forest plantations in Ghana. *Technical Note*, **2**, 9 p.
- Brown K.W., 1967. *Forest Insects of Uganda*. An annotated list. Government Printer, Entebbe.
- Browne F.G., 1968. *Pests and Diseases of Forest Plantation Trees*. Clarendon Press, Oxford, UK.
- Cashewinfo.com, 2016. Cashew week. An initiative of cashewinfo.com. *Special edition to celebrate 3rd World Cashew Convention*, 09-11 February, Singapore, **18**(4), 1-61.
- De Souza R.M., Dos Anjos N. & Mourão S.A., 2009. *Apate terebrans* (Pallas) (Coleoptera: Bostrychidae) Atacando rvores de Nim no Brazil. [*Apate terebrans* (Pallas) (Coleoptera: Bostrychidae) attacking neem trees in Brazil]. *Neotropical Entomology*, **38**, 1-3.
- Dwomoh E.A., Ackonor J.B. & Afun J.V.K., 2008. Survey of insect species associated with cashew (*Anacardium occidentale* Linn.) and their distribution in Ghana. *African Journal of Agricultural Research*, **3**, 205-214.
- Edde P.A., 2012. A review of the biology and control of *Rhyzopertha dominica* (F.) the lesser grain borer. *Journal of Stored Products Research*, **48**, 1-18.
- Esperk T., Tammaru T. & Nylin S., 2007. Intraspecific variability in number of larval instars in insects. *Journal of Economic Entomology*, **100**, 627-645.
- Hill D.S. & Waller J.W., 1988. *Pests and diseases of tropical crops*. Vol. 2. Longman, Field handbook of Pests and Diseases, London, United Kingdom.
- Lesne P., 1924. Les Coleoptères Bostrychides de l'Afrique Tropicale. *Encyclopédie Entomologique*, **3**, 1-301.
- Liu L., Schonitzer K. & Jeng-Tze Y., 2008. Review of the literature on the life history of Bostrichidae (Coleoptera). *Mitteilungen der Münchner Entomologischen Gesellschaft*, **98**, 91-97.
- Nansen C. & Meikle W.G., 2002. The biology of the larger grain borer, *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae). *Integrated Pest Management Reviews*, **7**, 91-104.
- Panzavolta T., 2007. Instar Determination for *Pissodes castaneus* (Coleoptera: Curculionidae) Using Head Capsule Widths and Lengths. *Environmental Entomology*, **36**(5), 1054-1058.
- R Development Core Team, 2005. *R: a language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, www.R-project.org.
- Roberts H., 1968. A new powder-post beetle, *Xyloperthella guineensis*, together with an annotated Check List of the subfamily Bostrychinae (Col., Fam. Bostrychidae) from Nigeria. *Journal of Natural History*, **2**, 85-104.
- Roberts H., 1969. Forest insects of Nigeria: with notes on their biology and distribution. Commonwealth Forestry Institute. University of Oxford. *Institute paper*, **44**, 51-93.
- SAS Institute, 2009. Base SAS® 9.2 Procedures Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC, U.S.A.
- Siegel S. & Castellan Jr.N.J., 1988. The Kruskal-Wallis one-way analysis of variance by ranks. *Nonparametric Statistics for the Behavioural Sciences*, 206-214.
- Tandjiékpon A.M. et al., 2005. Mieux produire l'Anacarde au Bénin: référentiel technico-économique [The better way to produce cashew in Benin: technical and economic reference paper], 2^{ème} édition, 63 pp. INRAB, Cotonou, Benin.
- Thompson G.H., 1963. *Forest Coleopteran of Ghana: Biological Notes and Host Trees*. Oxford University Press, Amen House, London, 78 p.
- Topper C.P., 2008. *Assessment of potential for cashew upgrading in selected locations of Nasarawa and Kwara States, Nigeria*. Report for the Employment-Oriented Private Sector Development Programme (EoPSD). Germany Agency for Technical Cooperation (GTZ), U.K.
- Vasconcelos S. et al., 2014. New records of insect pest species associated with cashew, *Anacardium occidentale* L. (Anacardiaceae), in Guinea-Bissau. *African Entomology*, **22**(3), 673-677.
- Wagner M.R., Atuahene S.K.N. & Cobbinah J.R., 1991. *Forest entomology in West Tropical Africa: forest insects of Ghana*. Kluwer, Dordrecht, the Netherlands.
- Wagner M.R., Cobbinah J.R. & Bosu P.P., 2008. *Forestry Entomology in West Tropical Africa: Forest Insects of Ghana*. Springer, Dordrecht, Netherlands.
- Waller J.M., Bigger M. & Hillock R.J., 2007. *Coffee Pests, Diseases and their Management*. CABI, Wallingford. U.K.
- Internet: [https://wikivisually.com/wiki/Apate_terebrans] accessed on November 2013.

13. Données bioécologiques de *Diastocera trifasciata* Fabricius, 1775 (Coleoptera : Cerambycidae), ravageur majeur de l'anacardier (*Anacardium occidentale* L., Anacardiaceae) dans la localité de Brobo au centre de la Côte d'Ivoire

San-Whouly Mauricette Ouali N'Goran*, Ettien Narcice Akessé

Université Félix HOUPHOUET-BOIGNY, UFR Biosciences, Centre d'Excellence sur le Changement Climatique, la Biodiversité et l'Agriculture Durable, Laboratoire de Zoologie et Biologie Animale, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire
*E-mail auteur correspondant : ngoransw@yahoo.fr

Description du sujet. Le longicorne *Diastocera trifasciata* ou *Analeptes trifasciata* est un redoutable ciseleur des rameaux d'anacardiers (*Anacardium occidentale*). Il sectionne les rameaux portant les inflorescences et entraîne ainsi des pertes de rendements allant jusqu'à 30 % et plus. Depuis sa découverte en Côte d'Ivoire en 1964, ses ravages s'étendent dans plusieurs localités productrices de noix de cajou.

Objectif. Étudier quelques paramètres biologiques et écologiques de *D. trifasciata* afin de proposer une stratégie de lutte efficace.

Méthode. Trois villages de cette localité à savoir Djamalakro, Koffi Koffikro, Gbangansou situés respectivement au sud, à l'ouest et au nord ont été choisis pour l'échantillonnage de l'insecte. Les tailles des branches et des insectes ont été mesurées avec un mètre ruban. Un thermohygromètre MEDISANA a servi à relever la température et l'humidité relative. Des branches fraîchement coupées par *D. trifasciata* contenant des œufs ont été collectées pour le suivi de la biologie. Les stades œuf, larve, nymphe et adulte ont été identifiés et décrits. Un comptage des individus sur les arbres et des observations ont été faits toutes les deux semaines dans trois vergers pour étudier les périodes d'occurrence de l'espèce.

Résultats. La durée d'incubation des œufs est de $11,8 \pm 1,22$ jours. Les durées de développement larvaire et nymphal sont respectivement de $198,2 \pm 16,22$ jours et $18,7 \pm 0,63$ jours. La durée du cycle biologique est de $211,81 \pm 18,87$ jours. Les émergences des adultes s'étendent d'avril à août. Les adultes sont observés dans les vergers de mi-avril au mois de janvier.

Conclusions. La connaissance des différents stades de développement et des périodes d'occurrence de cette espèce permettent d'identifier les périodes et les moyens d'intervention idoines.

Bioecological data of *Diastocera trifasciata* Fabricius, 1775 (Coleoptera: Cerambycidae), major pest of cashew (*Anacardium occidentale* L., Anacardiaceae) in the Brobo locality in central Côte d'Ivoire

Subject description. The long-horned beetle *Diastocera trifasciata* or *Analeptes trifasciata* is a formidable cashew branch girdler. It cuts the branches carrying the inflorescences and thus causes yield losses of up to 30% and more. Since its discovery in Côte d'Ivoire in 1964, its ravages extend in several localities producing cashew nuts.

Objectives. Study some biological and ecological parameters of *D. trifasciata* in order to propose an effective control strategy.

Method. Three villages of this locality namely Djamalakro, Koffi Koffikro, Gbangansou situated respectively to the south, west and north were chosen for the sampling of the insect. The sizes of branches and insects were measured with a tape measure. A MEDISANA thermohygrometer was used to record temperature and relative humidity. Branches freshly cut by *D. trifasciata* containing eggs were collected for monitoring of the biology. The egg, larva, pupa and adult stages have been identified and described. A count of individuals on trees, and observations were made every two weeks in three orchards to study the periods of occurrence of the species.

Results. The incubation time of the eggs is 11.81 ± 1.22 days. The larval and nymphal development times are respectively 198.2 ± 16.22 days and 18.68 ± 0.63 days. The life cycle time is 211.81 ± 18.87 days. Emergences of adults extend from April to August. They are absent from January.

Conclusions. Knowledge of the different stages of development and the periods of occurrence of this species make it possible to identify the appropriate periods and means of intervention.

1. INTRODUCTION

Diastocera trifasciata, anciennement appelé *Analeptes trifasciata*, est un insecte xylophage qui s'attaque aux anacardiers (*Anacardium occidentale*, Anacardiaceae). Ses attaques ont également été observées sur *Sterculia trangacantha* (Sterculiaceae), *Spondias monbin* (Anacardiaceae), *Nauclea aesculenta* (Rubiaceae) et *Ficus capensis* (Moraceae) (Brunck & Fabre, 1970). Les premiers dégâts ont été observés en 1964 dans la station forestière de Kokondekro, de Bamoro et dans de nombreuses plantations villageoises autour de Bouaké (Brunck & Fabre, 1970). Depuis les travaux de ces auteurs, aucune autre étude n'a fait cas de la biologie et de l'écologie de cette espèce visant à déterminer des moyens de lutte efficace. Ainsi, l'on assiste à une extension de ce ravageur dans les plantations d'anacardier dans plusieurs régions productrices de noix de cajou de la Côte d'Ivoire et d'Afrique. Cet insecte attaque et coupe un grand nombre de branches et de troncs. Il représente de ce fait une grave menace pour les rendements des producteurs et l'économie du pays (Akessé et al., 2016). La technique de lutte utilisée jusqu'à présent par les producteurs en Côte d'Ivoire consiste à capturer les adultes et à les tuer pendant les périodes de pullulation. Cette méthode s'avère très inefficace au regard de l'extension des pullulations de plus en plus constatées. Quel est le moment d'intervention et les techniques pour une lutte efficace ? L'objectif de ce travail est d'étudier quelques paramètres biologiques et écologiques de *D. trifasciata* afin de répondre à cette question.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Sites d'étude

Les études ont été conduites dans des vergers de la localité de Brobo située à 20 km de Bouaké sur l'axe Bouaké-M'Bahiakro, au centre de la Côte d'Ivoire (latitude : 07°36.598N, longitude : 04°49.590W, altitude 253 m). Les critères de choix des vergers site étaient : – avoir fait l'objet d'attaque de *D. trifasciata*, – avoir une superficie d'au moins 1 ha, – être accessible toute l'année, – rester sans aucune forme de lutte contre les insectes toute la durée de l'étude. Ainsi, trois villages de cette localité à savoir Djamalakro, Koffi Koffikro, Gbangansou situés respectivement au sud, à l'ouest et au nord ont été choisis pour l'échantillonnage de l'insecte. Le climat de la zone est de type équatorial de transition caractérisé par quatre saisons : une grande saison sèche (novembre à février), une grande saison des pluies (mars à juin), une petite saison sèche (juillet à août) et une petite saison des pluies (septembre à octobre). Les précipitations varient entre 1 200 et 1 500 mm, mais sont erratiques (FAO, 2005). La température moyenne oscille entre 20°C et 27,5°C. L'humidité relative varie de 57 % à 85 % (Anonyme, 2002). Les études ont été conduites de septembre 2015 à juin 2017.

2.2. Matériel

Les expérimentations pour l'étude de la biologie se sont déroulées en *insectarium* et celles permettant d'étudier les éléments d'écologie de l'espèce dans les vergers.

2.3. Méthodes

Détermination des paramètres biologiques. Les paramètres biologiques étudiés sont la durée d'incubation des œufs, la durée du développement larvaire, la durée du développement nymphal et la durée du cycle biologique. Les descriptions des différents stades de développement ont été faites. Un thermohygromètre numérique de marque MEDISANA a servi à relever la température et l'humidité relative dans l'*insectarium*. Un pied à coulisse a permis de mesurer les individus de chaque stade avec une précision au centième de mm.

Pendant les périodes d'attaques, 100 branches coupées ont été collectées directement dans un verger de Brobo. Elles ont été réparties en 50 lots de 2 branches. Ces branches sélectionnées sont celles coupées à la veille des visites et qui se reconnaissent par l'état frais de la substance recouvrant les orifices de pontes. Les œufs sont observables par ouverture superficielle des orifices de ponte avec un couteau. Sur chaque branche, la date de ponte (Dp) et le nombre d'orifices contenant un œuf sont inscrits au marqueur indélébile. Le nombre moyen d'œufs collectés par branche est de 25. Un lot est disséqué tous les trois jours durant le premier mois suivant la date de ponte pour observer l'état d'évolution des œufs. Le nombre d'œufs éclos a été noté à chaque observation.

Durée moyenne d'incubation. (D_i) est le temps qui sépare la date de ponte (D_p) de celle de l'éclosion (E). Elle est calculée par la formule suivante :

$$D_i = \sum t_j v_j / \sum v_j$$

avec $t_j = E - D_p$; t_j : temps mis de la ponte à l'éclosion de l'œuf; v_j = nombre d'œufs éclos (Tano al., 2011).

Détermination des autres stades de développement. La détermination des autres stades de développement a été faite à partir des 50 lots de branches constitués. Après éclosion des œufs, les branches sont disséquées tous les sept jours durant sept mois pour voir l'évolution des larves jusqu'à l'observation des nymphes et de l'émergence des adultes. Après dissections des branches, la forme, les dimensions et la couleur des stades trouvés sont déterminées. La durée de développement larvaire (D_l), la nymphose (N), la durée du développement nymphal (D_n) et la durée moyenne du cycle de développement (D_c) sont déterminées.

– **Durée moyenne de développement larvaire** (D_l) est le temps séparant l'éclosion des œufs du dernier stade larvaire (D_s) : $D_l = \sum g_i h_i / \sum h_i$ avec g_i = temps séparant l'éclosion de l'œuf de la larve de dernier stade (D_s).

– **Nymphose** (N) est un processus qui permet le passage de la larve de dernier stade (D_s) à la nymphe (J_n) : $N = \sum a_i b_i / \sum b_i$; $a_i = J_n - D_s$ = temps mis par la larve de dernier stade pour devenir une nymphe; b_i = nombre de nymphes (Tano et al., 2011).

– **Durée de développement nymphal** (D_n), exprimée en jours, est le temps séparant la nymphose (N) de l'émergence de l'adulte (D_e) : $D_n = \sum c_i d_i / \sum d_i$; $c_i = D_e - N$; d_i = nombre d'adultes.

– **Durée moyenne du cycle de développement** (D_c) qui est la période séparant la date de ponte des œufs (P_o) du stade adulte (A) a été calculée selon la formule suivante : (D_c) = $\sum j_i k_i / \sum k_i$; $j_i = D_i + D_l + N + D_n$ et k_i = effectifs d'adultes (Tano et al., 2011).

2.4. Étude de l'écologie

Observation du comportement de *D. trifasciata* dans les vergers.

Dispositif expérimental pour le dénombrement des adultes de *D. trifasciata*. Les périodes d'occurrence et des attaques ont été suivies par comptage des individus dans les vergers.

L'échantillonnage des populations est réalisé selon la méthode du transect, en suivant une des diagonales du champ. Sur chaque transect, trois placettes ou blocs ont été déterminés dont deux aux extrémités et un au milieu (Ouédraogo, 2011). Les blocs sont non contigus. Un bloc est constitué de 51 anacardiens marqués individuellement à l'aide de peinture à huile rouge. Soit un total de 153 pieds par site. Toutes les deux semaines, ces anacardiens sont minutieusement inspectés et tous les individus observés sont capturés à la main ou en utilisant une perche pour les faire tomber. Ils sont mis dans des boîtes de collecte contenant de l'alcool à 70°. La circonférence et la longueur des branches coupées sont mesurées par un mètre ruban.

Relations interspécifiques. La présence et le comportement d'insectes associés et les ennemis naturels ont été étudiés. Le comportement d'autres insectes sur les branches coupées a été observé et noté. Des dissections de branches ont été effectuées aussi bien en milieu naturel qu'en insectarium pour collecter les espèces associées. Après dissection, les nymphes ont été collectées et mises dans des boîtes d'émergence plastique (29 × 18,5 × 9 cm) jusqu'à émergence pour identification en utilisant les ouvrages de Allard (1993) et Bouchard et al. (2016). Les ennemis naturels de l'espèce ont été également observés et identifiés.

3. RÉSULTATS

3.1 Biologie

Les températures dans l'insectarium ont varié de 22,6 à 34,6°C. L'humidité relative était comprise entre 47 et 83 %.

Œuf et durée d'incubation de *D. trifasciata*. Une encoche de ponte ne contient qu'un seul œuf disposé parallèlement à l'axe longitudinal de la branche et/ou de la tige coupée. L'écorce des branches contenant des œufs a un aspect rugueux contrairement aux branches qui n'en contiennent pas qui sont lisses, identiques aux branches non attaquées (Figure 1). L'œuf nouvellement pondu est blanc, ovale, arrondi à l'extrémité, couvert d'une coque et semblable à un grain de riz. Il change progressivement de couleur au fur et à mesure que l'on tend vers l'éclosion

en virant au blanc pâle ou à l'ivoire (Figure 2). La durée d'incubation des œufs varie de 9 à 15 jours, soit une durée moyenne de $11,81 \pm 1,22$ jours. La longueur moyenne est de $5,45 \pm 0,23$ mm sur une largeur moyenne de $1,18 \pm 0,05$ mm.

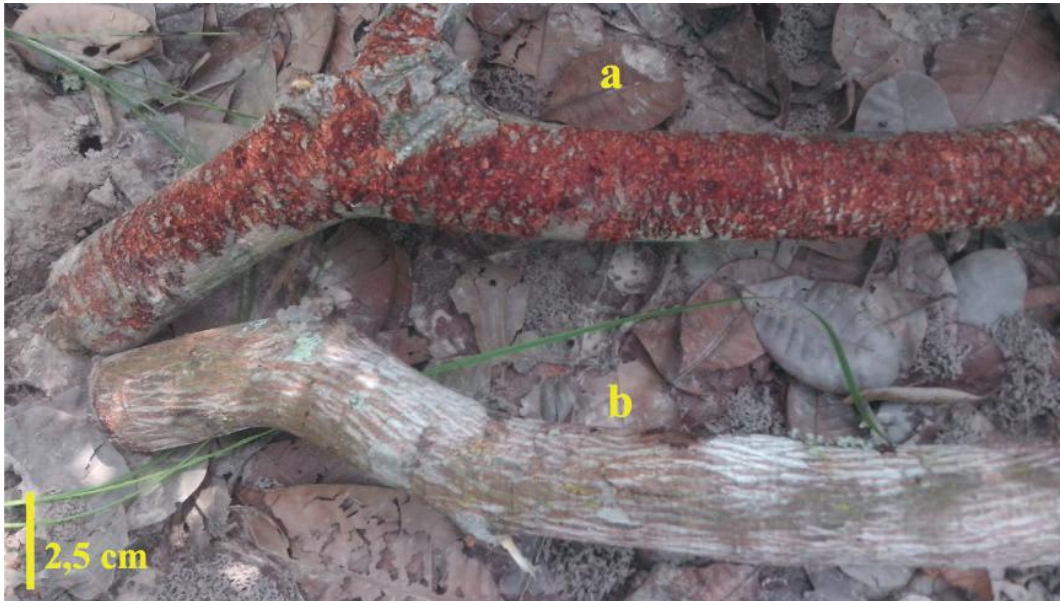


Figure 1. Branche contenant des œufs (a) et branche ne contenant pas d'œuf (b) – Branch containing eggs (a) and branch not containing egg (b).



Figure 2. Œufs pondus dans une branche d'anacardier – Egg laid in a cashew branch.

Développement larvaire de *D. trifasciata*. L'insecte se rencontre sur les parties externes de son hôte seulement à l'âge adulte, tous les autres stades se développent à l'intérieur des branches et des tiges mortes. La larve de stade 1 de coloration blanc rosée translucide a une longueur variant de 4,80 à 8,70 mm soit une moyenne de $6,39 \pm 1,20$ mm sur une largeur oscillant entre 1,01 et 1,77 mm, soit une moyenne de $1,34 \pm 0,16$ mm (Figure 3). Les segments sont plus larges au niveau du thorax et plus petits au niveau de l'abdomen. Les longueurs des larves de dernier stade vont de 27,60 à 48,12 mm, soit une moyenne de $36,45 \pm 4,56$ mm. Les largeurs varient de 5,8 à 10,60 mm, soit une moyenne de $7,72 \pm 1,2$ mm. Elles sont de couleur blanche teintée de jaune (Figure 4). La durée du développement larvaire varie de 169 à 226 jours, soit une durée moyenne de $198,2 \pm 16,22$ jours.

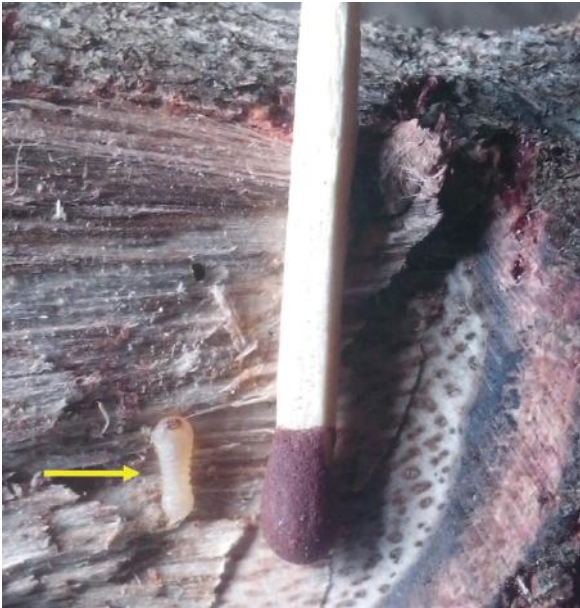


Figure 3. Larve de stade de *D. trifasciata* – *First larva stage of D. trifasciata*.



Figure 4. Larve de dernier stade *D. trifasciata* – *Last larva stage of D. trifasciata*.

Vers la fin de leur développement, les larves se servent de leurs mandibules pour faire plusieurs fissures dans la zone de l'écorce recouvrant leurs loges nymphales. Ces fissures sont disposées selon l'axe longitudinal de la branche. Une fissure mesure environ 5 mm de long (Figure 5). La durée de la nymphose est de $9,02 \pm 2,13$ jours. La longueur des loges nymphales varie de 50,1 à 127,6 mm, soit une moyenne de $87,84 \pm 12,98$ mm. Sa largeur est de 15,7 à 34,9 mm, soit une moyenne de $24,80 \pm 3,26$ mm (Figure 6).



Figure 5. Fissures faites par les larves de dernier stade *D. trifasciata* dans l'écorce d'une branche d'anacardier – *Cracks made by last larval stage of D. trifasciata in the bark of a cashew branch*.



Figure 6. Chambre nymphale de *D. trifasciata* – *Pupal chamber of D. trifasciata*.

Développement nymphal de *D. trifasciata*. La nymphe est blanche ou noire respectivement en début et fin du développement. La tête est infléchie sur la face ventrale et porte les antennes qui sont allongées dorsalement le long du corps avant de s'enrouler en spirale à l'extrémité sur les pattes. Les étuis alaires sont dissimulés sous les pattes repliées sur la face ventrale (Figure 7). La nymphe a une longueur qui varie de 32,5 à 46,9 mm, soit une moyenne de $38,64 \pm 2,99$ mm. La largeur varie de 8,1 à 14,7 mm, soit une moyenne $10,66 \pm 1,11$ mm. La durée du développement nymphal varie de 16 à 19 jours, soit une moyenne de $18,68 \pm 0,63$ jours.



Figure 7. Nymphe de *D. trifasciata* – Pupa of *D. trifasciata*.

Description des adultes de *D. trifasciata*. Ce sont des longicornes au corps robuste quasi cylindrique, pointu à la base des élytres et de l'abdomen. Les élytres présentent trois bandes transversales dont la couleur va du jaune au jaune orangé séparées de deux bandes transversales noires. La tête est de type orthognathe c'est-à-dire perpendiculaire à l'axe du corps. Les antennes, la tête, le thorax, les pattes et l'abdomen sont noirs. Les femelles mesurent entre 34,20 et 44 mm de long, soit une moyenne de $40,60 \pm 2,72$ mm. Leurs largeurs sont comprises entre 10,7 et 14 mm, soit une moyenne de $12,69 \pm 0,96$ mm. Les mâles ont des longueurs comprises entre 20,9 et 46,2 mm, soit une moyenne de $41,45 \pm 4,40$ mm. Les largeurs mesurent entre 10,3 et 14,6 mm, soit une largeur moyenne de $13,18 \pm 1,02$ mm (Figure 9).

Les sexes se différencient facilement par la forme du dernier sternite abdominal : chez le mâle, il est incurvé et plus court que le tergite au-dessus. Chez la femelle, il est divisé postérieurement par un sillon bien distinct, ses bords sont fortement pubescents et le tergite au-dessus ne dépasse pas son bord postérieur (Figure 10).

3.2. Écologie

Période d'occurrence de *D. trifasciata* dans les vergers. Les émergences des adultes s'étendent de mai à juin. De là jusqu'à mi-septembre, les individus passent par une période au cours de laquelle aucune attaque n'est enregistrée. Les adultes sont observés dans les vergers de mai jusqu'au mois de janvier. Ils sont absents de janvier à avril.

Durée du cycle de développement de *D. trifasciata*. L'espèce *D. trifasciata* est univoltine. Son cycle biologique en condition d'élevage a une durée moyenne de $211,81 \pm 18,87$ jours. En milieu naturel, les émergences commencent dans la deuxième moitié d'avril pour s'achever durant le mois de juin. En condition d'élevage, les émergences ont lieu en mai. Quelques émergences sont observées en juillet. Les adultes émergent par des orifices circulaires qu'ils forent dans la portion d'écorce recouvrant la loge nymphale. Ces orifices mesurent 11,4 à 24,9 mm de diamètre, soit une moyenne de $17,63 \pm 2,43$ mm (Figure 8).



Figure 8. Orifice d'émergence des adultes de *D. trifasciata* – Exit hole of *D. trifasciata*.

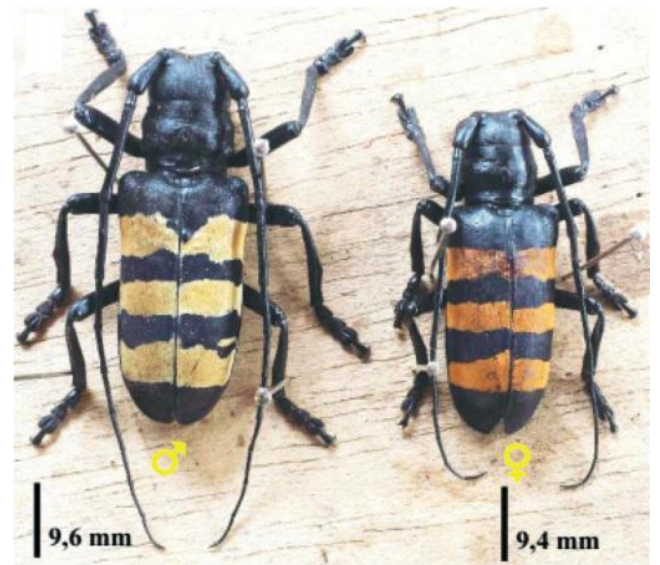


Figure 9. Adultes de *D. trifasciata* – Adult of *D. trifasciata*.

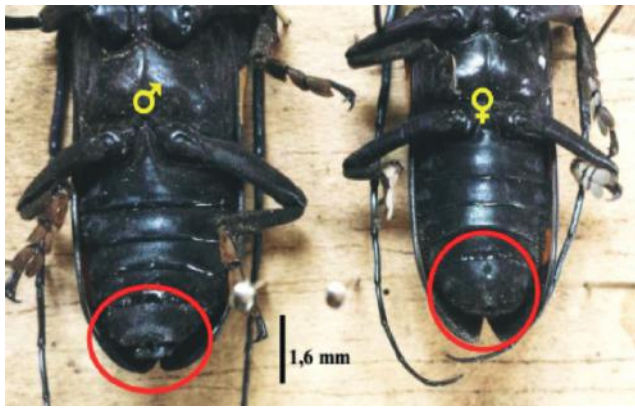


Figure 10. Présentation du dernier sternite : élément marquant le dimorphisme sexuel chez les adultes de *D. trifasciata* – Presentation of the last sternite: element marking sexual dimorphism in adults of *D. trifasciata*.

Période d'attaques de *D. trifasciata* dans les vergers. Les attaques débutent vers la fin de septembre et s'estompent en janvier. Elles se caractérisent par un ceinturage complet de la branche et/ou des jeunes tiges sur toutes leurs circonférences. Elles sont effectuées par un couple d'adulte composé d'un mâle et d'une femelle qui grignotent les tissus superficiels du bois jusqu'à atteindre l'aubier et parfois le bois de cœur. La branche et/ou la tige attaquée se rompt pendant l'attaque ou dans d'autres cas la rupture est anticipée par le vent. Les branches et/ou les jeunes tiges attaquées ont des circonférences à la base qui sont comprises entre 8,1 et 30 cm, soit une moyenne de $17,63 \pm 2,86$ cm. Leurs longueurs sont comprises entre 1,50 et 3,25 m, soit une longueur moyenne de $2,4 \pm 0,54$ m. Les branches coupées pendant l'échantillonnage contiennent des œufs à quelques exceptions près. Elles restent dans les vergers tout au long de l'année.

Insectes cohabitant sur les branches coupées par *D. trifasciata*. Les observations du comportement des espèces de Cerambycidae telles que *Zographus regalis*, *Ceroplesis analeptoides*, *Paranaleptes reticulata* et *Prosopocera bipunctata* montrent qu'elles profitent des branches sectionnées par *D. trifasciata*. En effet, les femelles de ces espèces pondent dans ces branches coupées. Les larves de celles-ci cohabitent subséquentement avec celles de *D. trifasciata* et les adultes émergent de ces branches. Pendant toute la durée de l'étude, ces trois Cerambycidae n'ont pas coupé de branches d'anacardier eux-mêmes. D'autres Cerambycidae émergés des branches n'ont pu être identifiés. Des Buprestidae et Bostrichidae ont également émergé des branches coupées par *D. trifasciata* dont seules les espèces *Sphenoptera* sp. (Buprestidae), *Apate monachus* et *Apate terebrans* (Bostrichidae) ont pu être identifiées.

Ennemis naturels. Les ennemis naturels observés sont les fourmis *Oecophylla longinoda*, *Camponotus* sp., *Dorylus* sp., les Isoptères xylophages et *Iphiaulax* sp. (Hyménoptères, Braconidae). Toutes ces espèces n'attaquent que les stades vulnérables tels que les œufs, les larves, les nymphes.

4. DISCUSSION

La description de la forme et de la couleur des œufs est similaire à celle faite sur *D. trifasciata* par Roberts (1962), Brunck & Fabre (1970) et sur d'autres Cerambycidae (Koutroumpa, 2008 ; Lemes et al., 2013 ; Vasanthi & Raviprasad, 2013). La durée moyenne d'incubation des œufs de *D. trifasciata* est de $11,81 \pm 1,22$ jours. Nos résultats sont proches de ceux de Paulino-Neto (2016) qui a rapporté que le temps entre la ponte et l'éclosion des œufs de Cerambycidae en général va de 3 à 7 jours mais peut aller jusqu'à 25 jours. Chez *Oncideres occularis*, une espèce de la même famille et sous-famille que *D. trifasciata*, la période d'incubation est de 10 à 15 jours, soit $12,1 \pm 0,2$ jours (Lemes et al., 2013). Concernant la description des larves et des nymphes, nos observations rejoignent celles de Roberts (1962) et Brunck & Fabre (1970). Cependant, il y a une différence au niveau des tailles observées pendant cette étude par rapport aux observations de ces mêmes auteurs. En effet, les longueurs moyennes des larves de premier, de dernier stade et de la nymphe obtenues sont respectivement de $6,39 \pm 1,20$ mm, $36,45 \pm 4,56$ mm et $38,64 \pm 2,99$ mm. Alors que Brunck & Fabre (1970) ont enregistré des longueurs moyennes respectives de 4 mm, 50 mm et 40 à 50 mm pour la larve de stade 1, de dernier stade et de la nymphe. Ces différences pourraient s'expliquer par les différentes conditions dans lesquelles les élevages ont été conduits et le matériel de mesure utilisé. Le dimorphisme sexuel observé chez *D. trifasciata* caractérisé par les mâles plus grands que les femelles ainsi que par la présentation du dernier sternite abdominal est en accord avec les descriptions de Robert (1962) et Brunck & Fabre (1970). Des observations similaires concernant le dimorphisme sexuel ont été mentionnées par Rahman & Khan (1942) sur *Aeolesthes holosericea*, une autre espèce de la famille des Cerambycidae. Par contre, chez le Cerambycidae *Batocera horsfieldi*, les femelles sont plus grandes que les mâles (Rahman & Khan, 1941).

Les adultes de *D. trifasciata* émergent à partir de mai et commencent à disparaître des vergers à partir de décembre. En élevage, les émergences commencent en juin et prennent fin en août. Nos résultats sont en accord avec

ceux de Brunck & Fabre (1970). En effet, ces auteurs sont les premiers à avoir signalé la présence de cette espèce et ses dégâts dans la station forestière de Kokondekro au centre de la Côte d'Ivoire. Ces auteurs ont mentionné que les premières émergences dans la nature ont lieu d'avril à mai. De plus, en conditions d'élevage à partir des pontes de novembre, ils ont enregistré des émergences à la mi-juin. La présence de cette espèce a déjà été signalée dans d'autres pays africains producteurs de noix de cajou. Au Ghana, la période d'occurrence des adultes se situe entre novembre et décembre (Dwomoh et al., 2008). Au Nigéria, les résultats des travaux de Asogwa et al. (2011) ont montré que les adultes de *D. trifasciata* sont observés de septembre à mars. Par ailleurs, la disparition des adultes dans les vergers serait due à leur durée de vie assez brève. Au Nigeria, cette disparition se situe entre avril et août. En effet, la durée de vie de la plupart des Coléoptères Cerambycidae est brève, moins de trois mois et serait entièrement consacrée à la reproduction (Canon & Robinson, 1982; Matter et al., 1999; Hanks et al., 1991). D'où la présence d'une période post émergence au cours de laquelle les néo-adultes grignotent les jeunes pousses pour la maturation des organes sexuels (Paulino-Neto et al., 2006; Koutroumpa, 2008).

Les adultes commencent les attaques dans la seconde moitié de septembre. Un couple d'adulte constitué d'un mâle et d'une femelle se mettent de part et d'autre des branches ayant une circonférence moyenne de $17,63 \pm 2,86$ cm pour les sectionner. Plusieurs Cerambycidae de la sous-famille des Lamiinae montrent des comportements similaires à ceux de *D. trifasciata*. Chez *Oncideres* sp., qui sont de petites tailles, les femelles seules sectionnent les branches dont la circonférence est comprise entre 3,14 et 9,42 cm. Ces différences de tailles des branches d'une espèce à une autre pourraient être proportionnelles à la taille des larves, des nymphes et des individus adultes. En effet, Lemes et al. (2013) mentionnent que certaines espèces coupent les branches de grande taille en diamètre et en longueur car leurs larves et adultes sont également de grande taille. En outre, des qualités de la plante telles que le diamètre des branches, l'âge, la taille, la vigueur et la valeur nutritionnelle sont des paramètres importants pour le choix des sites d'attaque ou d'infestation. Ces paramètres influencent le développement de la progéniture et par conséquent le niveau de la population (Rice, 1995; Paulino-Neto et al., 2006). Dans le cas de *D. trifasciata*, la biologie étant méconnue par les producteurs, ces derniers ignorent que la future génération se développe entièrement dans les branches coupées. La mauvaise gestion ou l'absence de gestion de ces branches favoriserait l'accroissement du nombre d'individus d'année en année.

Diverses espèces ont été observées sur et dans les branches coupées par *D. trifasciata*. Les femelles des espèces *P. bipunctata*, *C. analeptoides*, *P. reticulata*, *Z. regalis* ont été observées comme espèces profitant des attaques de *D. trifasciata*. Nos résultats confirment ceux de plusieurs auteurs qui ont enregistré des associations entre Coléoptères ciseleurs et d'autres espèces d'insectes. Ainsi, Lemes et al. (2015) ont obtenu 24 Coléoptères dont 17 Cérambycides associés à *Oncideres saga*, un ciseleur de branches au Brésil. Paulino-Neto (2006) a aussi enregistré des espèces cohabitant avec les larves de *Oncideres humeralis*. Lemes et al. (2013) ont mentionné cinq espèces de Cerambycidae, des Buprestidae et des Scolytidae à partir des branches coupées par *Oncideres occularis*. Dans la zone d'étude, les espèces *P. bipunctata*, *C. analeptoides*, *P. reticulata* et *Z. regalis* n'ont pas été observées comme étant des ravageurs de l'anacardier. Ils se reproduisent sur branches coupées par *D. trifasciata* et par les producteurs au moment des activités d'élagage et d'éclaircis des vergers. Nos résultats sont en contradiction avec les résultats des études qui citaient *Z. regalis* et *P. reticulata* comme un ravageur de l'anacardier respectivement dans le Nord-Est de la Côte d'Ivoire, au Bénin, en Afrique de l'Est (Agboton et al., 2014; Bouchard et al., 2016; N'Dépo et al., 2017).

Pour ce qui est des ennemis naturels, nos résultats sont en accord avec ceux de Way et al. (1992) qui ont mentionné la prédation des œufs de *Phoracantha semipunctata* (Coléoptère Cerambycidae) par les fourmis tisserandes *Oecophylla* sp. Ils ont également été identifiés comme des ennemis naturels importants d'*Oncideres humeralis* par Paulino-Neto et al. (2006). Austin et al. (1994) ont mentionné que les hyménoptères Braconidae sont connus pour leur prédation envers plusieurs Cerambycidae. *Iphiaulax* sp. a été identifiée également par Roberts (1962) comme un prédateur des larves de *D. trifasciata*.

5. CONCLUSIONS

L'étude de la bio-écologie de *D. trifasciata* a permis d'identifier et de décrire les différents stades de son développement que sont l'œuf, la larve, la nymphe et l'adulte. Pour la première fois, les durées respectives de ces stades ont été données. L'espèce est univoltine. Les adultes commencent à apparaître dans les vergers dans la seconde moitié de mai. Cette apparition s'étend jusqu'en juin. La population d'adulte commence à diminuer à partir du mois de décembre jusqu'au mois de janvier. Entre les mois de janvier et avril, les adultes disparaissent complètement, laissant place aux larves. L'étude montre également que le diamètre et la taille des branches sont des paramètres importants qui influencent le développement de la progéniture et par conséquent le niveau de la population. La

mauvaise gestion (ou l'absence) de ces branches favorise donc l'accroissement du nombre d'individus d'année en année dans les vergers d'anacardier de Côte d'Ivoire. Ces informations orientent le choix de la lutte et les moments d'application appropriés. Ainsi une lutte mécanique (retrait et brûlage des branches) conduite entre janvier et mars au moment où les adultes ne sont plus présents dans les vergers pourrait réduire la population de l'espèce.

Remerciements

Les auteurs remercient les producteurs, le Conseil du Coton et de l'Anacarde, le centre d'excellence africains sur les changements climatiques, la biodiversité et l'agriculture durable avec à sa tête le Professeur Koné pour la collaboration et le soutien financier.

Bibliographie

- Agboton C. et al., 2014. Insect fauna associated with *Anacardium occidentale* (Sapindales: Anacardiaceae) in Benin, West Africa. *Journal of Insect Science*, **14**, 11 p.
- Akessé E.N. et al., 2016. Prospective Study of the insect fauna associated with *Anacardium occidentale* L. (Salpindales: Anacardiaceae). In five producing areas of Côte d'Ivoire. In: Masawe P.A.L., Kafriti E.M., Mneney E.E., Shomari S.H., Kullaya A.K., Kasuga L.J.F., Bashiru R.A., Kabanza A. & Kidunda B. (eds). *Proceedings of the Tird International Cashew Conference, 16-19th November 2015, Dar Es Salaam: Tanzania*, 164-172.
- Allard V., 1993. Les Coléoptères du monde : Sternotomini. *Sciences Naturelles*, **17**, 108 p.
- Anonyme, 2002. Stratégie de gestion des boues issues de la vidange des fosses des latrines dans une ville de plus de 500 000 habitants : cas de la ville de Bouaké, état des lieux de la gestion des boues de vidange. Rapport d'enquête, 27 p.
- Asogwa E.U., Ndubuaku T.C.N. & Hassan A.T., 2011. Distribution and damage characteristics of *Analeptes trifasciata* Fabricius 1775 (Coleoptera: Cerambycidae) on cashew (*Anacardium occidentale* Linnaeus 1753) in Nigeria. *Agriculture and Biology Journal of North America*, **3**, 421-431.
- Austin A.D., Quicke D.L.J. & Marsh P.M., 1994. The Hymenopterous parasitoids of eucalyptus longicorn beetles, *Phoracantha* spp. (Coleoptera: Cerambycidae) in Australia. *Bull. Entomol. Res*, **84**, 145-174.
- Bouchard P. et al., 2016. Coléoptères du monde : une encyclopédie. Delachaux et Niestlé, Paris, 656.
- Brunck F., Fabre J.P., 1970. Note sur *Analeptes trifasciata* Fabricius, coléoptère cérambycide, grave ravageur d'*Anacardium occidentale* en Côte d'Ivoire, *Bois et Forêts des Tropiques*, **134**, 15-19.
- Cannon K.F. & Robinson W.H., 1982. An artificial diet for laboratory rearing of the old house borer, *Hylotrupes bajulus* (Coleoptera: Cerambycidae). *Can. Entomol*, **114**, 739-742.
- Dwomoh E.A., Ackonor J.B. & Afun J.V.K., 2008. Survey of insect species associated with cashew (*Anacardium occidentale* Linn.) and their distribution in Ghana. *African Journal of Agricultural Research*, **3**, 205-214.
- FAO, 2005. Côte d'Ivoire : irrigation en Afrique en chiffres – *Enquête AQUASTAT*, 10 p.
- Hanks L.M., Paine T.D. & Millar J.G., 1991. Mechanisms of resistance in Eucalyptus against larvae of the eucalyptus longhorned borer (Coleoptera: Cerambycidae). *Environ Entomol*, **20**, 1583-1587.
- Koutroumpa F., 2008. Biologie et phylogéographie de *Monochamus galloprovincialis* (Coleoptera, Cerambycidae) vecteur du nématode du pin en Europe. Thèse de Doctorat : Université d'Orléans (France), 189 p.
- Lemes P.G., Dosanjós N. & Jorge I.R., 2013. Bioécologie des *Oncideres ocularis* Thomson (Coleoptera: Cerambycidae) sur *Acacia mangium* Willd. (Fabaceae). *Kansas Entomological Society*, **86**(4), 307-317.
- Lemes P.G. et al., 2015. Cerambycidae and other Coleoptera Associated with Branches Girdled by *Oncideres saga* Dalman (Coleoptera: Cerambycidae: Lamiinae: Onciderini). *The Coleopterists Bulletin*, **69**, 159-166.
- Matter S.F. et al., 1999. Importance of floral phenology and florivore for *Tetraopes tetraphthalmus* (Coleoptera: Cerambycidae): tests at the population and individual level. *Environ. Entomol.*, **26**, 1044-1051.
- N'Dépo O.R. et al., 2017. Inventaire des insectes ravageurs du verger anacardier dans les régions de Bounkani, Gontougo et Indénié-Djuablin au Nord-Est en Côte d'Ivoire. *Afrique Science*, **13**, 333-343.
- Ouédraogo S.N., 2011. Dynamique spatio-temporelle des mouches des fruits (Diptera, Tephritidae) en fonction des facteurs biotiques et abiotiques dans les vergers de manguiers de l'ouest du Burkina Faso. Thèse de Doctorat : Université Paris Est. 156 p. + Annexes.
- Paulino-Neto H.F., 2016. A Review of the Biology and Ecological Interactions of *Oncideres* (Cerambycidae): Brazilian Wood Borers Species. *J Ecosyst Ecography*, **6**, 1-7.
- Paulino-Neto H.F., Neto V. & Guerreiro S.M.C., 2006. The biology of *Oncideres humeralis* Thoms (Coleoptera: Cerambycidae: Lamiinae) and new Cerambycidae-Melastomataceae host-plant associations. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, **41**, 227-233.

- Rahman K.A. & Khan A.W., 1941. A study of the life-history and control of *Batocera horsfieldi* Hope (Coleoptera: Lamiidae), a borer pest of walnut tree in the Punjab. *Proceedings of Indian Academy of Sciences, Section B*, **15**, 202-205.
- Rahman K.A. & Khan A.W., 1942. Bionomics and control of *Aeolesthes holosericea* F. *Proceedings of Indian Academy of Sciences, Section B*, **15**, 181-185.
- Rice M.E., 1995. Branch girdling by *Oncideres cingulate* (Coleoptera: Cerambycidae) and relative host quality of Persimmon, Hickory, and Elm. *Annals of the Entomological Society of America*, **88**, 451-455.
- Roberts H., 1962. Further observations on the biology of *Analeptes trifasciata* (P.) (Coleoptera: Lamiidae) with particular reference to the developmental stages. 5th Report West African Timber Borer Research Unit, 81-86.
- Tano K.C.D. et al., 2011. Étude de quelques paramètres biologiques de *Pseudothoraptus devastans* Distant (Heteroptera : Coreidae) sur les noix de *Cocos nucifera* L. de la variété PB 121+ à la station Marc Delorme (Côte d'Ivoire). *Sciences & Nature*, **8**, 13-2.
- Vasanthi. P. & Raviprasad T.N., 2013. Biology and Morphometrics of Cashew Stem and Root Borers (CSRB) *Plocaederus ferrugineus* and *Plocaederus obesus* (Coleoptera: Cerambycidae) Reared on Cashew Bark. *International Journal of Scientific and Research Publications*, **3**, 1-7.
- Way M.J., Cammell M.E. & Paiva M.R., 1992. Studies on egg predation by ants (Hymenoptera: Formicidae) especially on the eucalyptus borer *Phoracantha semipunctata* (Coleoptera: Cerambycidae) in Portugal. *Bull Entomol Res*, **82**, 425-432.

14. Suivi efficient du verger anacardier à travers la veille sanitaire en Côte d'Ivoire

Sibirina Soro^{(1)*}, Nakpalo Silué⁽²⁾, Gniré Mariam Ouattara^(3,4), Mamadou Chérif⁽²⁾, Brahim Camara⁽²⁾, Fatogoma Sorho⁽²⁾, Kouabenan ABO⁽⁵⁾, Mongomakè Koné⁽⁶⁾, Yatty Justin Kouadio⁽¹⁾, Daouda Koné⁽²⁾

*⁽¹⁾ Université Jean Lorougnon Guédé, UFR Agroforesterie, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

⁽²⁾ Université Félix Houphouët-Boigny, UFR Biosciences, 22 BP 582 Abidjan, Côte d'Ivoire

⁽³⁾ Université Alassane Ouattara, UFR Sciences Économiques, BP V 18 Bouaké 01, Côte d'Ivoire

⁽⁴⁾ Conseil du Coton et de l'Anacarde, 27 BP 604 Abidjan 27, Côte d'Ivoire

⁽⁵⁾ Institut National Félix Houphouët-Boigny, École supérieure d'Agronomie, BP 1313 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

⁽⁶⁾ Université Nangui Abrogoua, UFR Sciences de la Nature, 02 BP 801 Abidjan, Côte d'Ivoire

*E-mail auteur correspondant : sorosibiri.ujlog@gmail.com

Description du sujet. En Côte d'Ivoire, les premières plantations d'anacardiers (*Anacardium occidentale* L.) ont été créées dans les années 1960 dans un but de reforestation et de protection des sols. Cette extension du verger anacardier avec du matériel tout venant, a eu pour première conséquence une prédisposition aux infections parasitaires et un faible rendement des arbres (400 kg.ha⁻¹).

Objectifs. Prévenir la baisse de la production due aux dégâts causés par les ravageurs et les parasites par le suivi et l'évaluation syndromique depuis décembre 2016.

Méthode. Elle a consisté à mettre en place une ceinture d'épidémiologie-surveillance à travers une vingtaine de postes d'observation (PO) de l'anacardier dans la zone frontalière nord du pays. Les Conseillers Agricoles Anacarde (CAA) de l'ANADER ont été formés à la reconnaissance, la collecte d'information à travers des fiches de relevé sanitaire et à leur transmission à l'équipe de recherche. Un rapport mensuel a été rédigé pour le Conseil du Coton et de l'Anacarde pour les prises de décisions urgentes.

Résultats. Les incidences relevées dans le verger se situent en dessous du seuil de 25% d'infection. La sensibilité des anacardiers reste liée aux variations agro-climatiques en Côte d'Ivoire et la porosité des frontières.

Conclusions. Dans le souci de mieux protéger le verger anacardier ivoirien, la veille reste l'un des meilleurs moyens de prévention et devra être étendue à toute la zone de production de la cajouculture. Elle devra s'étendre aux autres pays pour régionaliser la stratégie de contrôle des anacardiers en Afrique.

Efficient follow-up of the orchard cashew through the health monitoring in Côte d'Ivoire

Description of subject. In Côte d'Ivoire, the first plantations of cashews (*Anacardium occidentale* L.) were created in the 1960s in a purpose of reforestation and protection of grounds. This extension of the orchard cashew with the material everything coming, had for first consequence a predisposition in the parasitic infections and the low yield on trees (400 kg.ha⁻¹).

Objectives. To prevent the reduction in the production due to the damages caused by the devastating and the parasites by a syndromic evaluation within the framework of the health monitoring introduced since December 2016.

Method. It consisted in setting up a belt of follow-up epidemic-control through about twenty observation posts (PO) of the cashew in the north border zone of the country. The Agricultural adviser Cashew (CAA) of ANADER was trained in the recognition, the collection of information through index cards of raised toilet and in the transmission of these index cards to the researchers team. A monthly report was be done for the Council of Cotton and Cashew and in case of urgent decision-making.

Results. The sensibility of cashew is correlative with the variation agro-climate change. The sensibility of cashews remains bound to the agro-climatic variations in Côte d'Ivoire and the porosity of the borders.

Conclusions. In a concern to protect better the orchard Côte d'Ivoire cashew, the day before stays one of the best ways of prevention and will have to be spread to all the zone of production. It shall have to extend in the other countries to regionalize the strategy of control of cashews in Africa.

1. INTRODUCTION

En Côte d'Ivoire, les premières plantations d'anacardiers (*Anacardium occidentale* L.) ont été créées dans les années 1960 dans un but de reforestation et de protection des sols (Goujon et al., 1973). Cette extension du verger anacardier avec du matériel tout venant a eu pour première conséquence une prédisposition aux infections parasitaires et un faible rendement des arbres (400 kg.ha⁻¹). Face à cette situation, le Conseil du Coton et de l'Anacarde a décidé de mettre en place depuis décembre 2016 un système de veille sanitaire de l'anacardier en Côte d'Ivoire impliquant l'Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan, l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa et l'ANADER (Kehe et al., 1997 ; Soro et al., 2015 ; Djaha et al., 2017).

La surveillance se caractérise, comparativement à la veille, par une organisation plus continue, un souci d'exhaustivité marqué par rapport à des événements ou des menaces connus, qu'il s'agisse de s'intéresser à un large spectre de maladies ou de couvrir les plantations (Teixera, 1988). Elle a besoin d'expertise et fonctionne à partir de systèmes d'alimentation prévus, dans un réseau établi à l'avance. Quel que soit le sujet d'étude, l'épidémiologie souffre d'un manque d'investissement dans les outils d'observation et de surveillance. La collecte d'informations en épidémiologie dans les plantations d'anacardier n'est pas encore dotée d'outils performants et reste insuffisamment exploitée (Afouda et al., 2013 ; Soro et al., 2015), alors que les réseaux et les systèmes de surveillance devraient faire preuve d'un plus grand intérêt, d'une plus grande mobilisation des agents techniques agricoles afin de mieux protéger les vergers d'anacardiers de Côte d'Ivoire.

Compte tenu du caractère stratégique de la veille sanitaire dans la prévention et le suivi des épidémies, rien ne devrait s'opposer à envisager les améliorations nécessaires de son système. L'objet de cette étude consiste à évaluer le système de veille sanitaire existant sur l'anacardier, dans le but de proposer des moyens permettant notamment de :

- renforcer la réactivité du dispositif et l'anticipation des situations d'urgence ou de crises épidémiologiques, en développant la prévision ;
- améliorer la surveillance des maladies infectieuses émergentes ;
- développer l'interface entre la surveillance et la recherche, notamment pour susciter les recherches adéquates et contribuer à évaluer les risques et les actions menées ;
- intégrer la dimension internationale, d'une part, en développant les liens avec les systèmes de veille sanitaire des pays voisins.

La présente étude a contribué à actualiser les informations sur le niveau parasitaire du verger anacardier dans la zone frontalière nord de la Côte d'Ivoire.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Sites d'étude

Les relevés sanitaires mensuels ont été effectués dans 20 postes d'observation (PO) au Nord de la Côte d'Ivoire. Ils ont été définis de commun accord avec la Coordination Nationale de l'ANADER et la Direction Technique du Conseil du Coton et de l'Anacarde (CCA).

L'étude s'est déroulée dans les régions frontalières ou les villes à grands échanges comme Bondoukou, Minignan, Bouna, Tanda, Tengrela, Odienné, Ferké et Korhogo (Figure 1). Le climat, la végétation et la pluviométrie varient dans ces régions suivant l'axe qui part du Nord-Est vers le Nord-Ouest. La moyenne des pluies est plus de 2 500 mm à l'est contre 2 000 mm à l'ouest avec des températures variant de 33 °C à 28 °C dans le même sens.

2.2. Matériel d'étude

Le matériel végétal qui a fait l'objet de cette étude est constitué des anacardiers (*Anacardium occidentale* L.) sur lesquels ont porté les observations dans les différents vergers visités. Un GPS et un appareil photographique à caméra de marque NIKON ont été utilisés pour relever les coordonnées géographiques et la prise des photos.

2.3. Méthodologie

Cette étude a été réalisée sur toute la zone frontalière du Nord de la Côte d'Ivoire. Une prospection a été effectuée chaque mois dans les différents vergers anacardiers afin de relever, selon la fiche sanitaire, les maladies et leur



Figure 1. Carte de distribution des postes d'observation du verger anacardier en Côte d'Ivoire – *Map of distribution of the observation posts of the orchard cashew in Côte d'Ivoire.*

niveau d'infection. L'observation des vergers a été réalisée de décembre 2016 à avril 2017 par les Conseillers Agricoles Anacarde (CAA) de l'ANADER. Les arbres observés ont été choisis de façon aléatoire sur la diagonale en suivant la démarche en zigzag dans le verger. Au total, 10 pieds ont été évalués par hectare au niveau de chaque verger. L'observateur relève le nombre de pieds infectés pour les maladies qui attaquent le tronc et le niveau de l'infection sur les feuilles pour les maladies qui attaquent le système foliaire. Il reporte ensuite sur la feuille de notation, le niveau de l'arbre ou de l'organe infecté en pourcentage (variant de 0 à 100 %) (Groth et al. 1999).

Ces valeurs ont été ensuite utilisées pour calculer les incidences de chaque maladie observée dans le verger. L'indice de sévérité des maladies a été estimé à partir de la moyenne des valeurs affectées au verger selon la méthode revue de Cardoso et al. (2004).

2.4. Analyse statistique des données

Les données collectées ont été soumises à une analyse de variance à un critère de classification (ANOVA 1) à l'aide du logiciel Statistica 7.1. En cas de différence significative, le test de comparaison multiple de Newman-Keuls au seuil de 5 % a été utilisé pour classer les moyennes en groupes homogènes.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Résultats

Incidences des maladies observées dans le verger anacardier. Les incidences des maladies ont été évaluées sur les vergers visités. Les vergers à forte pression parasitaire ont été classés par région et par type d'attaque parasitaire. La nature des principales maladies sur l'anacardier, leurs répartitions et leurs indices de sévérité sur le cycle de production est connue.

L'Anthracnose. (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz. & Sacc.) est une maladie qui attaque toutes les parties aériennes de l'arbre. L'évolution de l'anthracnose varie pratiquement de la même manière pour toutes les régions et pour chaque mois. Néanmoins, les régions de Korhogo, Minignan et Odienné ressortent avec les plus forts taux d'incidence (Figure 2).

La pourriture des noix. (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz. & Sacc.) présente une incidence qui varie suivant les régions. Les régions de Bouna et Odienné ont relevé les plus forts taux d'incidence (12 %) (Figure 3).

Le Dieback. (*Phomopsis anacardii* Early & Punith.) ou le dessèchement foliaire varie de manière asynchrone avec le temps. La région de Korhogo a présenté le plus fort taux d'incidence durant les cinq mois d'observation (37,5 %) (Figure 4).

La gommose. (*Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griffon & Maubl.) a été observée dans presque tous les vergers suivis et son incidence est plus significative dans les régions de Korhogo (15 %) et Ferké (16 %) (Figure 5).

La bactériose. (*Xanthomonas axonopodis* pv. *mangiferaeindicae*) est une maladie dont l'incidence reste faible dans l'ensemble des vergers pendant la période de décembre à mai. Des seuils de plus de 15 % ont été observés dans la région de Minignan (Figure 6).

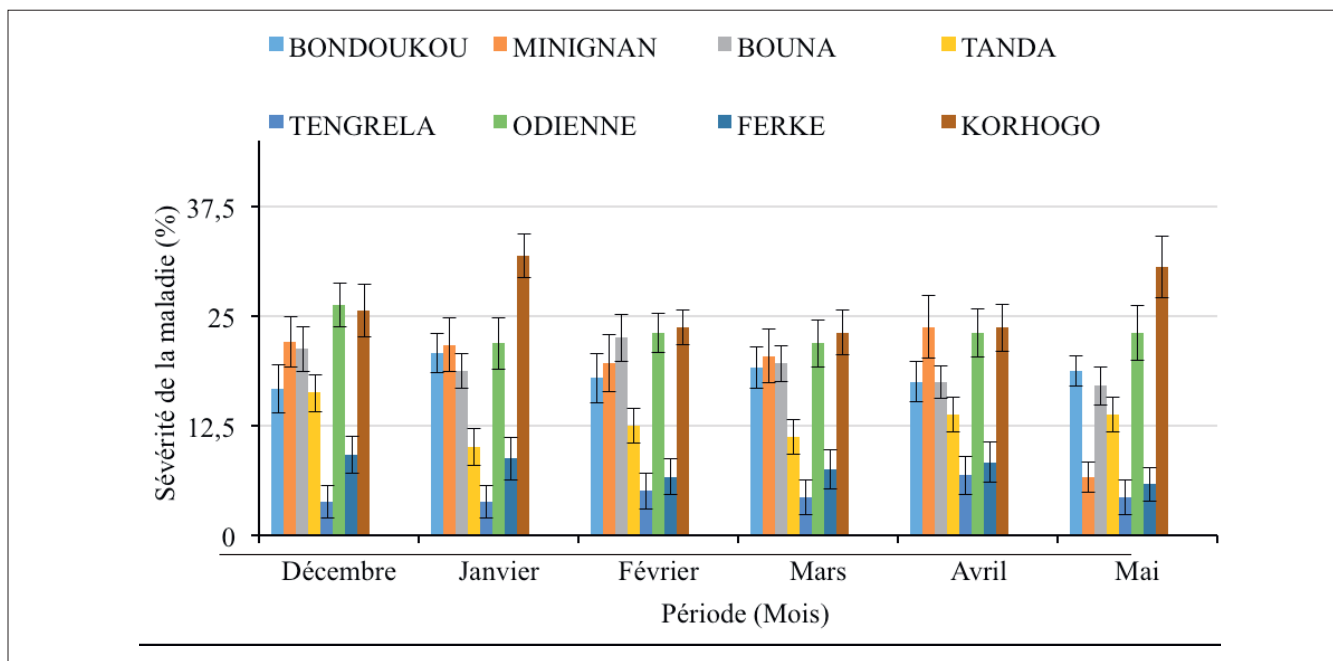


Figure 2. Incidence de l’anthraxose relevée sur les anacardiers de décembre 2016 à mai 2017 – *Incidence of anthracnose recorded on the cashew trees from December 2016 to May 2017.*

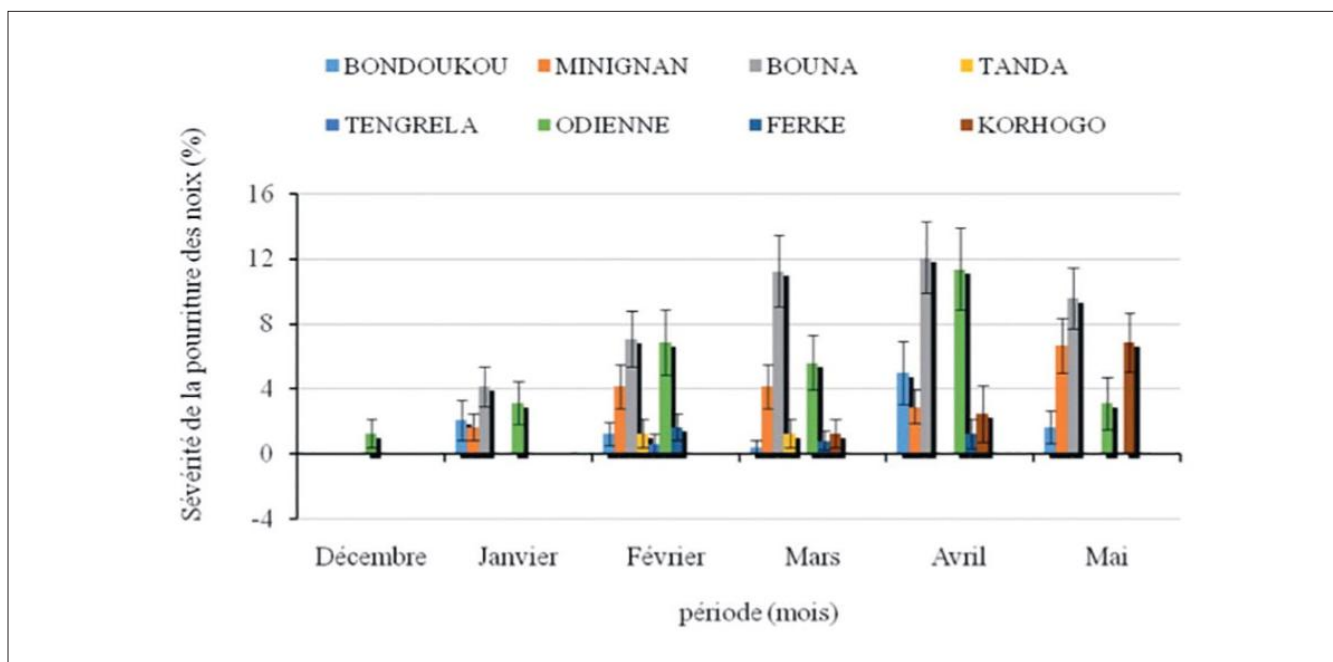


Figure 3. Incidence de la pourriture des noix relevée sur les anacardiers de décembre 2016 à mai 2017 – *Incidence of nut necrosis recorded on the cashew trees from December 2016 to May 2017.*

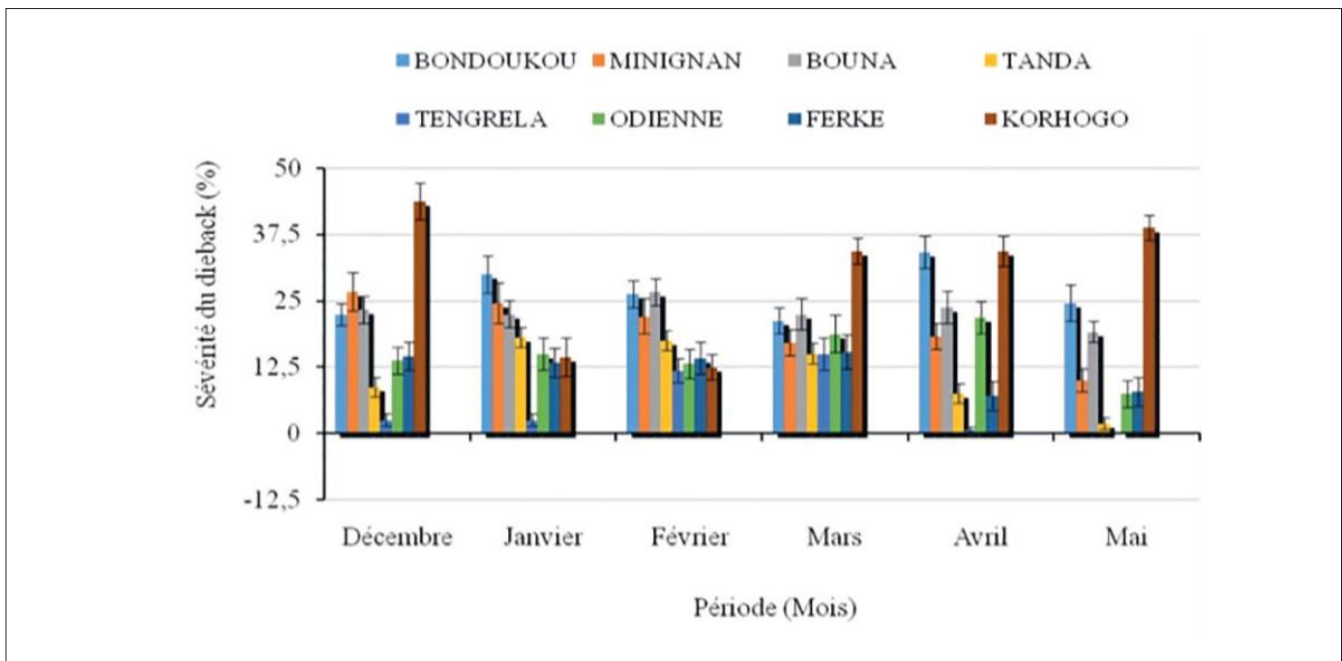


Figure 4. Incidence du dieback relevée sur les anacardiers de décembre 2016 à mai 2017 – *Incidence of dieback recorded on the cashew trees from December 2016 to May 2017.*

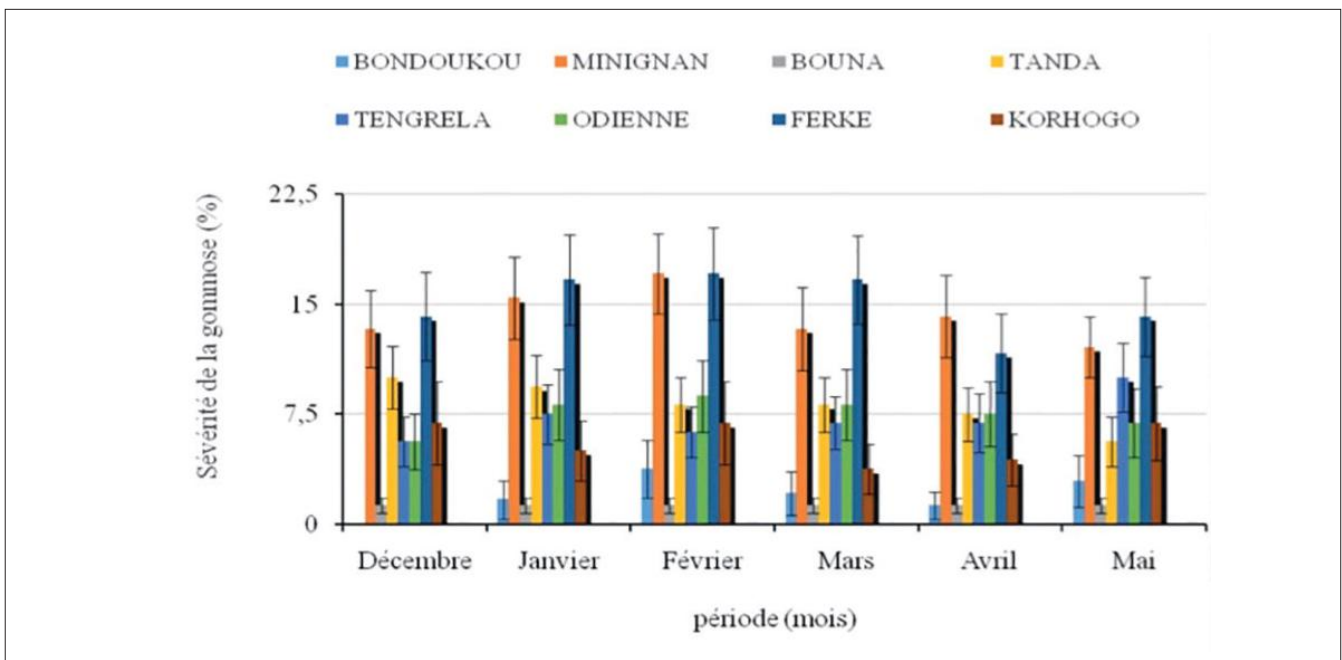


Figure 5. Incidence de la gommose relevée sur les anacardiers de décembre 2016 à mai 2017 – *Incidence of gummosis recorded on the cashew trees from December 2016 to May 2017.*

3.2. Discussion

Le suivi sanitaire du verger dans la zone frontalière nord du pays de décembre 2016 à mai 2017 a permis de ressortir la variation entre les maladies et les différentes régions. Cette surveillance a permis d'évaluer le niveau de risque sanitaire du verger anacardier en Côte d'Ivoire (Koné et al., 2015). En effet, dans toute la zone frontalière

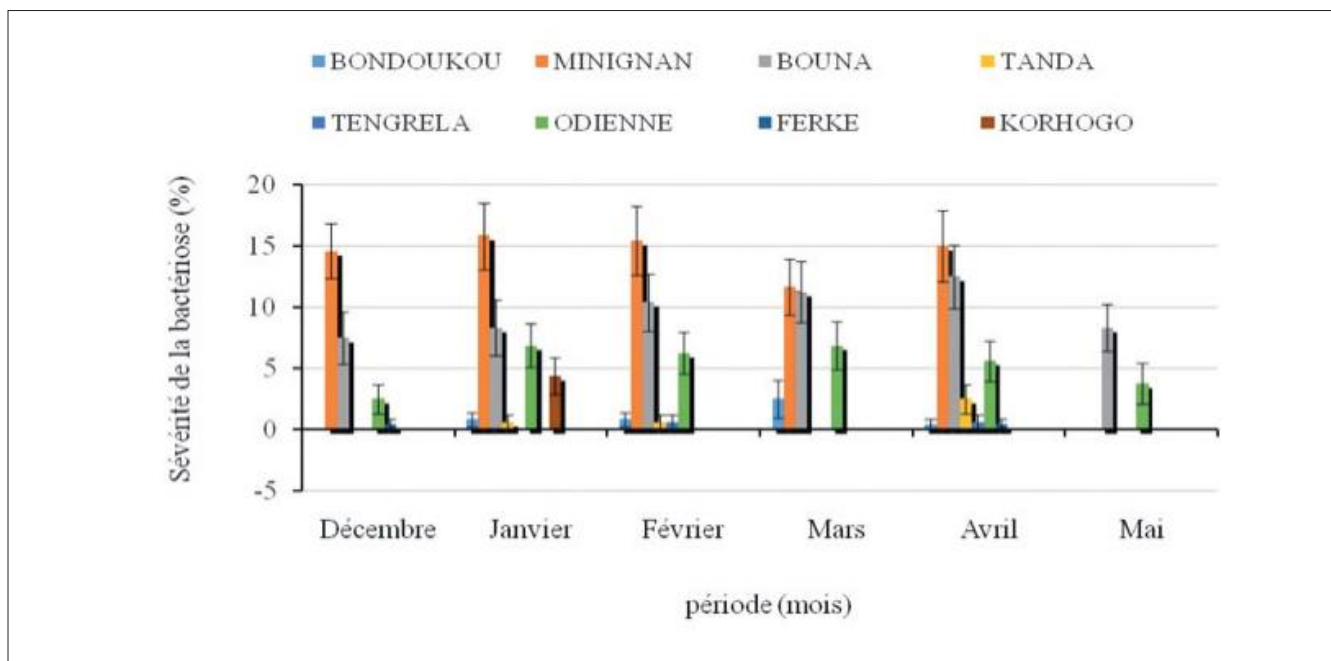


Figure 6. Incidence de la bactériose relevée sur les anacardiers de décembre 2016 à mai 2017 – *Incidence of bacteria recorded on the cashew trees from December 2016 to May 2017.*

les mêmes contraintes parasitaires ont été observées. Toutefois, l'évolution des maladies ne semble pas être liée à la région (Halle & Bruzon, 2006).

Les mêmes maladies ont été aussi observées à l'intérieur du pays en dehors des frontières. Cependant, il ressort que la variation des incidences serait liée aux variations environnementales (Halle & Bruzon, 2006; Gama et al., 2011; Uaciquete et al., 2013).

4. CONCLUSIONS

Il ressort de cette étude que les principales maladies d'anacardier sont présentes en Côte d'Ivoire avec divers niveaux d'incidence et de sévérité. Ainsi, la place de la veille sanitaire est plus qu'essentielle au centre du dispositif de protection préventive de l'anacardier en Côte d'Ivoire. Compte tenu du caractère stratégique de la veille sanitaire dans la prévention et le suivi des épidémies pour la protection des végétaux, elle reste la première méthode de lutte efficace contre les agents pathogènes à caractère épidémiologique.

Le personnel de veille doit se caractériser par sa disponibilité et sa présence continue sur le terrain. C'est pourquoi les Conseillers Agricoles Anacarde de l'ANADER doivent être appuyés par les producteurs capables de relever et d'informer l'équipe de recherche en temps réel sur les attaques parasitaires dans le verger anacardier en Côte d'Ivoire. Par ailleurs, le Conseil du Coton et de l'Anacarde doit, au terme de cette première étude sur la veille, procéder à la formation des producteurs en Agents Observateurs (AO) dans toute la zone frontalière de la Côte d'Ivoire. Le dispositif de veille actuel manque de producteurs capables de jouer le rôle d'agent observateur. Il faut donc consolider la mobilisation des agents de l'ANADER en renforçant encore les dispositifs de communication sur les observations des vergers identifiés.

Bibliographie

- Afouda L.C.A. et al., 2013. Inventaire des agents pathogènes de l'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) au Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, **73**, 13-19.
- Cardoso J.E., Santos A.A., Rossetti A.G. & Vidal J.C., 2004. Relationship between incidence and severity of cashew gummosis in semiarid north-eastern Brazil. *Plant Pathology*, **53**, 363-367.

- Djaha A.J.B. et al., 2017. *Bien produire des plants greffés d'anacardier en Côte d'Ivoire*. Fiche technique anacardier n° 2, CNRA, 4 p.
- Gama M.A.S. et al., 2011. Polyphasic characterization of pigmented strains of *Xanthomonas* pathogenic to cashew trees. *Plant Disease*, **95**, 793-802.
- Goujon P. et al., 1973. Études sur l'anacardier. *Revue Bois et Forêts des Tropiques*, **151**, 27-53.
- Groth J.V., Ozmon E.A. & Busch R.H., 1999. Repeatability and relationship of incidence and severity measures of scab of wheat caused by *Fusarium graminearum* in inoculated nurseries. *Plant Disease*, **83**, 1033-1038.
- Halle B. & Bruzon V., 2006. *Profil Environnemental de la Côte d'Ivoire. Rapport final*. Consortium AFC, AGRIFOR Consult, 133 p.
- Kehe M., N'da Adopo A., Rey J.Y., Koff E. & Nguetta K., 1997. L'anacardier, place de l'Afrique de l'Ouest et de la Côte d'Ivoire dans la production mondiale : diagnostic du verger ivoirien. In : *Symposium Anacarde, Promexa, PPDEA, CECI*, 12-14 juin 1997, Yamoussoukro, 9 p.
- Koné D. et al., 2015. *Établissement de la carte sanitaire du verger anacardier, contrôle et veille sanitaire en Côte d'Ivoire*. Rapport d'exécution du projet entre Le Conseil du Coton et de l'Anacarde et le Laboratoire de Physiologie Végétale de l'Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan, 303 p.
- Soro S., N'da Adopo A. & Koné D., 2013. Comportement des géotypes d'anacardiers (*Anacardium occidentale* L.) à l'antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) au Nord de la Côte d'Ivoire. *Première Conférence Internationale sur la Recherche Africaine en Agriculture, en Alimentation et en Nutrition, AGRAR 2013*. Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, 158-163.
- Soro S. et al., 2015. Investigations on Major Cashew Diseases in Côte d'Ivoire. Communication orale, 18-19 Septembre, 2015, *Naliendele Agricultural Research Institute*. Tanzanie, 158-166.
- Teixera L.M.S., 1988. Diseases. In: *Cashew tree culture in North East of Brazil*. Vide *P.M.S. of Lima* (ed.), Joraleza, Brazil, 157-179.
- Uaciquete A., Korsten L. & Van der Waals J.E., 2013. Epidemiology of cashew anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.) in Mozambique. *Crop Protection*, **49**, 66-72.

15. African farmers have amazing allies in their cashew plantations

Jean-François Vayssières^{(1,2)*}, Florence Anato⁽³⁾, Antonio Sinzogan⁽³⁾, Appolinaire Adandonon⁽⁴⁾, Rosine Wargui⁽³⁾, Hermance Houngbo⁽³⁾, Issa Ouagoussounon⁽³⁾, Anaïs Chailleux⁽⁵⁾, Pascal Danthu⁽²⁾, Georg Goergen⁽⁶⁾, Achille Adopo⁽⁷⁾, Manuele Tamo⁽⁶⁾, Joachim Offenberg⁽⁸⁾

⁽¹⁾ Campus agronomique de Kourou, CIRAD, Kourou-Pariacabo, 97310, France

⁽²⁾ MUSE, Université de Montpellier - CIRAD, UPR HortSys, 34398 - Montpellier, France

⁽³⁾ UAC, Université d'Abomey Calavi, FSA, 03BP 2819, Cotonou, Bénin

⁽⁴⁾ ENSTA - Kétou, Université d'Agriculture de Kétou, BP 43, Kétou, Bénin

⁽⁵⁾ MUSE - CIRAD, UPR HortSys, Biopass, ISRA-IRD, BP 1386, Dakar, Sénégal

⁽⁶⁾ IITA, Biological Control Unit for Africa, 08 BP 0932, Cotonou, Bénin

⁽⁷⁾ CNRA, 01 BP 1740 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

⁽⁸⁾ Université d'Aarhus, Vejlsovej 25, 8600 Silkeborg, Danemark

*E-mail corresponding author: jean-francois.vayssières@cirad.fr

Description. In West Africa, fruit trees are a crucial but often neglected component of people's lives and more than 50% of fruit crops are thought to be lost to insect pests every year. The relatively low adoption rate of old-IPM practices underpins the need to take up challenges and propose new pioneering control methods, such as using weaver ants in cashew plantations.

Literature. The genus *Oecophylla* is represented by two tropical species, *Oecophylla longinoda* (Latreille) and *Oecophylla smaragdina* (Fabricius), occurring in sub-Saharan Africa and Australasia, respectively. In southern China, but also in Vietnam, weaver ant husbandry is a centuries-old tradition. Positive ant-managing experiences from Asia have generated some recent interest in Africa. In sub-Saharan Africa, cashew production is severely constrained by infestations of several insect pests. Sap-sucking bugs, leaf miners and trunk-branch borers are pests that adversely affect yields (total losses of up to 80%) and the quality of harvestable nuts. Recent studies have highlighted the positive role of weaver ants against these insect pests in cashew plantations of Benin, Ghana and Tanzania. Finally, *O. longinoda* provided four comparative advantages for cashew production i) better yields, ii) larger nuts, iii) higher proportions of marketable kernel mass and iv) a potential fertilization effect.

Conclusions. The "weaver ant technology" could be more widely used in sub-Saharan Africa because it is i) effective, ii) low-cost, iii) labour-saving, iv) self-regenerating. It is thus particularly suitable for low-resource smallholder farmers in sub-Saharan cashew plantations and also for mango, citrus, guava plantations.

Les planteurs africains ont des alliées étonnantes dans leurs plantations d'anacardières

Description. En Afrique de l'Ouest, les fruitiers constituent une composante cruciale pour le développement des populations rurales mais une composante souvent sous-valorisée avec plus de 50% de pertes dues aux insectes. Le taux d'adoption relativement faible des anciennes méthodes de lutte intégrée pourrait être un argument supplémentaire pour faire face aux défis et proposer de nouvelles méthodes de lutte novatrices comme la gestion des fourmis oecophylles dans les plantations d'anacardières.

Littérature. Le genre *Oecophylla* est représenté par deux espèces tropicales *Oecophylla longinoda* (Latreille) et *Oecophylla smaragdina* (Fabricius), d'Afrique sub-Saharienne and d'Australasie, respectivement. Dans le sud de la Chine mais aussi au Vietnam l'élevage des oecophylles est une très vieille tradition (pluri-centenaire). Les expériences asiatiques positives d'utilisation des oecophylles ont éveillé l'intérêt du secteur rural Africain. En Afrique sub-Saharienne, la production d'anacarde est sévèrement pénalisée par les infestations de plusieurs types de ravageurs dont les punaises piqueuses des fruits, les mineuses des feuilles, les foreurs de troncs et branches, ravageurs qui affectent négativement les rendements (pertes globales jusqu'à 80%) et la qualité des noix. Des études récentes ont mis en évidence qu'*O. longinoda* était un agent de contrôle biologique efficace contre ces ravageurs au Bénin, au Ghana et en Tanzanie. Au final, *O. longinoda* fournit quatre avantages comparatifs aux producteurs d'anacardes à savoir i) l'augmentation des rendements, ii) une taille plus importante des noix, iii) une proportion plus importante des amandes commercialisables, et iv) une amélioration potentielle de la fertilisation.

Conclusions. La «technologie des fourmis oecophylles» pourrait être mieux valorisée en Afrique car elle est i) effective, ii) efficiente, iii) elle économise le travail du planteur, iv) elle s'auto-entretient. Elle est donc particulièrement adaptée aux plantations d'anacardiens comme à d'autres cultures fruitières (manguiers, agrumes, goyaviers) d'Afrique subsaharienne.

1. SIGNIFICANCE OF THIS STUDY

What is already known on this subject?

- There is a very ancient interest in using Asian weaver ants in Southeast Asia.
- A relatively recent interest in using African weaver ants has emerged in sub-Saharan Africa, especially in West Africa.

What are the new findings?

- In West Africa, several insect pests of economic significance were significantly controlled by weaver ants in cashew plantations.
- Both cashew yields and quality of the nuts were significantly improved in cashew plantations harboring weaver ants.

What is the expected impact on horticulture?

This review provides useful information that could be used by growers in pest management targeting cashew bio-agressors with weaver ants.

2. INTRODUCTION

The cashew tree, *Anacardium occidentale* L. (Sapindales: Anacardiaceae) is an important crop for West African growers, mainly because of strong international demand. It originates from South America (Brazil) and was introduced into Benin in the sixteenth century by Europeans (McLaughlin et al., 2008), spreading widely thereafter throughout the agro-ecological zones of the country. It was planted in West Africa as it could mainly serve as i) a cash crop (Monteiro et al., 2017), ii) a way of controlling desertification (Soro et al., 2011), iii) a sign of land occupancy in association with mango trees (Vayssières et al., 2008), and iv) because it had proven hardiness. Above all, West African growers attribute particular importance to the nuts, but also to the apples and shells for those also involved in processing. Cashew is an important value chain in West Africa and, in economic terms, it is a highly profitable cash crop for a number of African countries.

Over the 2010-2014 period, the African continent supplied almost 50% of world cashew nut production (FAO, 2017). These statistics highlight the major effort made over the last decade by the producing countries of sub-Saharan Africa (Nigeria, Ivory Coast, Benin, Guinea Bissau, Guinea, Burkina, Mozambique, Tanzania, etc.) to increase their production. International demand for the West African cashew nut lies in its particular flavour appreciated by consumers, and the absence of pesticide treatments, as in Benin (Tanjiékpon et al., 2010).

Unfortunately, the vegetative organs and fruits of the cashew tree are severely affected by many insect pests (Dwomoh et al., 2009; Agboton et al., 2014; Anato et al., 2015). These Hemiptera, Coleoptera and Lepidoptera pests belong to the families Miridae (damage to the annual flush), Coreidae-Alydidae (damage to nuts and apples), Bostrichidae (damage to branches and trunks), and Thripidae and Gracillariidae (damage to leaves); they cause cashew nut losses each year in West Africa, seriously penalizing the growers involved.

Outside China, the effectiveness of weaver ants as natural control agents in protecting cashew trees has been shown in Australia (Peng et al., 1995; Peng et al., 1997a), Vietnam (Peng et al., 2014) and very recently in some African countries. These last data are relatively new. A map of the world (Figure 1) indicates the main cashew nut producing zones and the potential for their protection using the two species of weaver ants.

To date, the cashew supply chain in West Africa has remained of the Organic Farming type, or in certain zones a sector with very few pesticide applications. This opportunity may enable better use to be made of the potential offered by biological control agents. This involves weaver ants, or *Oecophylla* ants, which are of great interest for protecting West African fruit crops using the African weaver ant (*Oecophylla longinoda* (Latreille)).

This documentary research was aided by the fact that we have been working on this subject for around ten years in West Africa, focusing on fruit fly control with African weaver ants (Vayssières et al., 2016).

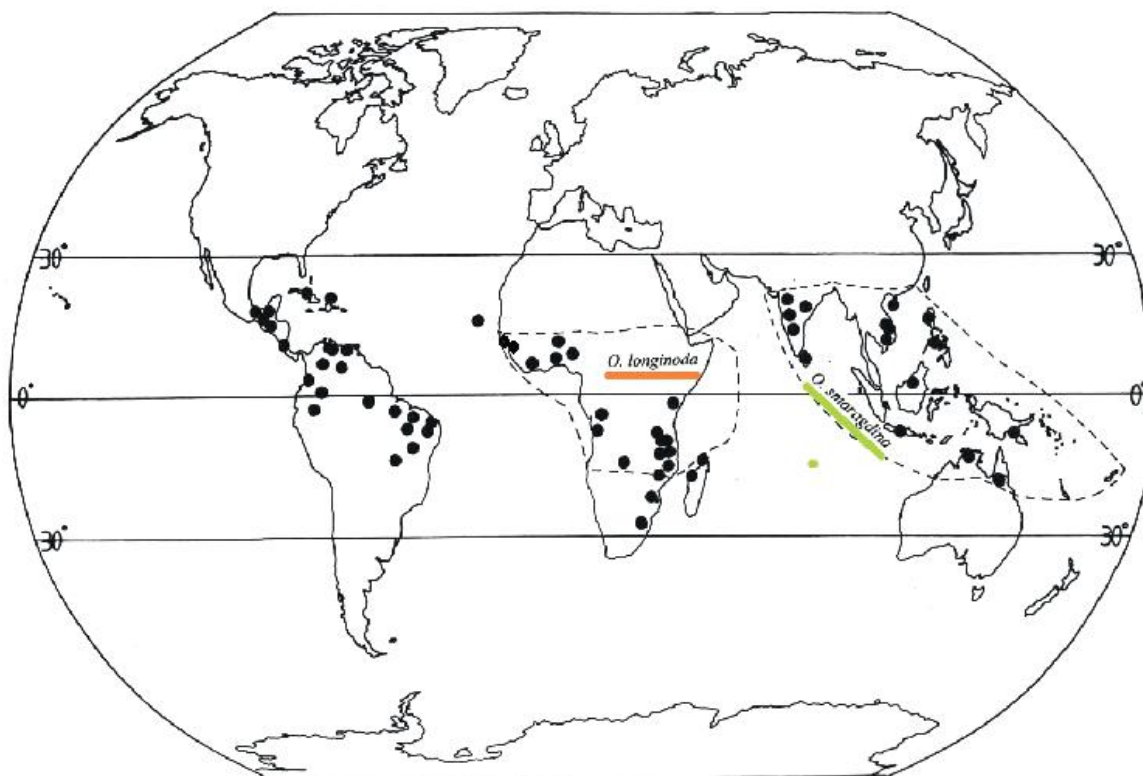


Figure 1. Distribution of two weaver ant species, *O. longinoda* and *O. smaragdina*, depending on world cashew production zones (•) (update of a map by R. Peng) – *Distribution des deux espèces d'écophylles, O. longinoda et O. smaragdina, en fonction des zones mondiales de production d'anacardier* (•).

3. LITERATURE

Weaver ants are dominant as predators of many arthropods in terrestrial and arboreal ecosystems of tropical and sub-tropical zones (Hölldobler & Wilson, 1990). The members of a colony constantly interact and work together in their own territory by way of different types of pheromones. Like most ant species, weaver ants live in a society, in trees including fruit trees (Figures 2a, b, c, d), inside nests made of leaves woven together by their larvae. The members of a colony (tens of thousands of individuals) live in several nests built in several trees.

They chase off other invertebrates from their trees, but also over an area of several hundred m² below their canopies. Weaver ants are generalist predators that feed especially on insects, particularly crop pests such as tephritid larvae (Figure 3) or cashew bugs (Figure 4). For a colony of twelve nests, Dejean (1991) estimated that weaver ants brought back 45,000 prey per year in Cameroon.

It is even more interesting that the predation practised by weaver ants on other invertebrates is the repellent effect against pests that they generate in fruit crops (Adandonon et al., 2009; Van Mele et al., 2009a). Among the complex signals emitted by weaver ants, it would particularly seem to be their semiochemical signals that play a major role in protecting tropical fruit crops.

Weaver ants are especially fond of biotopes with abundant rainfall and a luxuriant perennial vegetation. Trees with broad, supple leaves, or trees with small but abundant leaves, are preferred for building their silken nests.

Traditional use of weaver ants (*O. smaragdina*) in Asia. The Asian weaver ant, *O. smaragdina*, also called “living insecticide”, is the most ancient example of biological control in the world, in Southeast Asia (Groff & Howard 1924; Hölldobler & Wilson, 1990). Two thousand years ago, the Asian weaver ant was already being used in southern China to control Citrus pests (Chen, 1962; Yang, 1982; Huang & Yang, 1987). Its use was abandoned in the 1960s when synthetic insecticides came onto the market in Southeast Asia.

However, this beneficial insect acquired its credentials later in Australia than in China or Vietnam. In Australian cashew orchards, the University of Darwin demonstrated that *O. smaragdina* effectively controlled some major pests, such as the bugs *Helopeltis pernicialis* Stonedahl Malipatil & Houston, *Amblypelta lutescens* Distant, as well as the moth *Anigraea ochrobasis* (Hampson) (Peng et al., 1997b; Peng & Christian, 2005).



Figure 2. *O. longinoda* nests on a) mango (Anacardiaceae), b) pomelo (Rutaceae), c) cashew (Anacardiaceae), d) guava (Myrtaceae) (Jean-François Vayssières, credit) – *Nids d'O. longinoda* sur a) manguier, b) pomelo, c) anacardier, d) goyavier.



Figure 3. Capture of mango fruit fly larvae (Diptera: Tephritidae) on a mango cv Eldon in the department of Borgou – Benin (Jean-François Vayssières, credit) – *Capture de larves de Tephritidae* sur une mangue cv Eldon dans le département du Borgou-Bénin.



Figure 4. Capture of *Pseudotheraptus devastans* (Hemiptera: Coreidae) on cashew inflorescences in the department of Borgou – Benin (Jean-François Vayssières, credit) – *Capture de Pseudotheraptus devastans* (Hem.: Coreidae) sur des inflorescences d'anacardier dans le département du Borgou-Bénin.

Relatively recent interest in using weaver ants (*O. longinoda*) in sub-Saharan Africa. In sub-Saharan Africa, studies on *O. longinoda* effectiveness against pests have existed for several decades, but on fruit trees other than cashew. In Ghana, Room (1971) and Majer (1972) showed that *O. longinoda* significantly reduced damage by *Distantiella theobroma* (Distant) in cacao trees. In Tanzania, Way (1951) and Vanderplank (1960) also highlighted the efficiency of *O. longinoda* against *Pseudotheraptus wayi* Brown in coconut palms. Some studies undertaken in Ghana showed that the presence of *O. longinoda* reduced the incidence of two major cacao diseases transmitted by mirid bugs captured by weaver ants (Leston, 1973).

More recently, some studies have shown the very important role played by *O. longinoda* in fruit tree plantations as a biological control agent against various pests in Ghana, Tanzania, Senegal and Benin (Van Mele et al., 2007; Ativor et al., 2012; Olutu et al., 2013; Diamé et al., 2015; Anato et al., 2015).

Let us consider cashew:

In Ghana, Dwomoh et al. (2008) and Aidoo (2009) showed the fundamental role played by *O. longinoda* in controlling cashew bugs. The bugs targeted by *O. longinoda* were *Anoplocnemis curvipes* (Fabricius), *Helopeltis schoutedeni* Reuter, and *Pseudotheraptus devastans* (Distant).

In Tanzania, Oluthu et al. (2013) and Abdullah et al. (2016) showed the fundamental role played by *O. longinoda* in controlling cashew bugs. The bugs targeted by *O. longinoda* were *Helopeltis* spp. and *Pseudotheraptus wayi* Brown.

In Benin, studies repeated over two years showed that 3 treatments of cashew trees with weaver ants produced 78%, 122% and 151% more nuts than the control cashew trees, i.e. without weaver ants (Anato et al., 2015). In addition, the quality of the nuts produced on the cashew trees with weaver ants was better than on the control trees, and their average size was larger (Anato et al., 2015; Anato et al., 2017). The cashew bugs targeted by *O. longinoda* were *A. curvipes*, *H. schoutedeni*, *Mirperus jaculus* (Thnb.), *P. devastans*, and *Tupalus fasciatus* (Dallas).

Other advantages. Apart from insects (Vayssières et al., 2015), weaver ants attack and/or put off other types of pests, such as rats, snakes, fruit bats and... thieves, as reported in Guinea (Van Mele et al., 2009b) and Benin. Indeed, some Beninese planters from Borgou have introduced these splendid weaver ants into their orchards to protect their fruits from unscrupulous people.

The consequences for fruit quality and yields are substantial. According to some women harvesters (in Guinea and Benin), fruits from trees with weaver ants keep better and are sweeter. For instance, mangoes picked from trees with weaver ant nests are of better quality, as was shown in Cotonou by Houngbo (2011), who launched a PhD thesis on this subject. Along the same lines, Asian producers have found the fruits of Citrus trees harbouring weaver ants to be juicier, sweeter and glossier.

Another expected advantage of weaver ants in cashew trees concerns the fertilization of trees harbouring weaver ant nests. It was recently shown that host trees could recover nitrogen via their leaves from the faeces of weaver ants, thereby increasing their leaf nitrogen content (Vidkjaer et al., 2015; Pinkalski et al., 2015). Some studies have revealed important nutrient flows (nitrogen, carbon, etc.) between weaver ants and their host plants, as a fundamental component of ant-plant mutualism (Pinkalski et al., 2016).

Economic costs. In Australia, results from field experiments (1998-1999) showed that the cost of chemical insecticide treatments was 515 A\$/ha/year (excluding labour, machinery and fuel costs), while the cost of introducing and managing weaver ants was 360 A\$/ha/year (including the cost of labour, various materials and local transportation of colonies). The saving was therefore 155 A\$/ha/year (Peng et al., 2004).

To be complete, it needs to be added that once colonies had been introduced into cashew plantations, they remained there for several years running, meaning that the cost of introducing and managing weaver ants was much cheaper than annual chemical insecticide treatments. Taking yields into account, orchards protected by weaver ants earned profits of a little over 1,000 A\$/ha/year, compared to orchards protected by chemical pesticides (Peng et al., 2004).

The cost-benefit ratio, like other financial indicators, was positive in plots with weaver ants in Tanzania (William et al., 2015).

4. CONCLUSIONS

Using weaver ants as a biological control agent is taking on increasing importance in sub-Saharan Africa and may thus bring an Organic Farming label for cashew crops (Abdullah et al., 2016), as for mangoes or Citrus fruits (Van Mele & Vayssières, 2007a). One of our main aims is to provide all stakeholders in the fruit supply chains, at different levels, with practical information on using weaver ants to control cashew pests.

Managing and using weaver ant colonies is a means of action that is well suited to the sustainable development of perennial fruit systems (cashew, but also mango and Citrus, etc.) in sub-Saharan Africa, thanks to their effectiveness, constant availability, and their wide distribution (Van Mele & Vayssières, 2007b; William et al., 2015). In fact, they are biological control agents that are as efficient as they are effective. In addition, it is not inconceivable to imagine the potential rearing of queens and workers of this African species for food purposes, as has been the case for several decades in Asia (Offenberg & Wiwatwitaya, 2010).

Using weaver ants offers many comparative advantages: i) very low cost, ii) enables labour savings in plantations, iii) self-maintaining, iv) requires very little intervention and v) its efficiency is crucial. These conservation biological control advantages have been developed over the last decade in Benin, as well as in Ghana and Tanzania, through different R4D projects funded by EU-WTO, WAEMU and DANIDA.

Acknowledgements

We thank the West African Fruit Fly Initiative (WAFFI) staff of Benin and Peter Biggins for translation. Thanks are also due to donors EU-WTO, WAEMU, DANIDA and institutions of IITA and CIRAD.

Bibliography

- Abdullah N.R. et al., 2016. Potential of *Oecophylla longinoda* Latreille (Hymenoptera: Formicidae) in managing major insect pests in organic cashew production systems. *Organic Agriculture*, **7**, 95-104.
- Adandonon A. et al., 2009. Density of pheromone sources of the weaver ant *Oecophylla longinoda* (Hymenoptera: Formicidae) affects oviposition behaviour and damage by mango fruit flies (Diptera: Tephritidae). *International Journal of Pest Management*, **55**, 85-292.
- Agboton C. et al., 2014. Insect fauna associated with *Anacardium occidentale* (Sapindales: Anacardiaceae) in Benin, West Africa. *Journal of Insect Science*, **14**, DOI: 10.1093/jisesa/ieu091.
- Aidoo K.S., 2009. Boosting cashew production in Ghana. *Bees for Development – Information Portal Article*. [http://www.beesfordevelopment.org/portal/print.php?id=1819\[18-02-2013 15:20:19\]](http://www.beesfordevelopment.org/portal/print.php?id=1819[18-02-2013 15:20:19]).
- Anato F. et al., 2015. Reducing losses inflicted by insect pests on cashew, using weaver ants as efficient biological control agent. *Agricultural and Forest Entomology*, **17**, 285-291.
- Anato F. et al., 2017. *Oecophylla longinoda* (Hymenoptera: Formicidae) lead to increased cashew kernel size and kernel quality. *Journal of Economic Entomology*, doi: 10.1093/jee/tox054
- Ativor I.N., Afreh-Nuamah K., Billah M. & Obeng-Ofori D., 2012. Weaver Ant *Oecophylla longinoda* (Latreille) (Hymenoptera: Formicidae) activity reduces fruit fly damage in citrus orchards. *Journal of Agricultural Science and Technology*, **A2**, 449-458.
- Chen S., 1962. The oldest practice of biological control: the culture and efficacy of *Oecophylla smaragdina* Fabr. in orange orchards. *Acta Entomologica Sinica*, **11**, 401-407.
- Dejean A., 1991. Adaptation d'*Oecophylla longinoda* (Formicidae-Formicinae) aux variations spatio-temporelles de proies. *Entomophaga*, **36**, 29-54.
- Diamé L. et al., 2015. Influence of *Oecophylla longinoda* Latreille (Hymenoptera: Formicidae) on mango infestation by *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae) in relation to Senegalese orchard design and management practices. *African Entomology*, **23**, 294-305.
- Dwomoh E.A. et al., 2009. Investigations on *Oecophylla longinoda* Latreille (Hymenoptera: Formicidae) as a biocontrol agent in the protection of cashew plantations. *Pest Management Science*, **65**, 41-46.
- FAO - Food and Agricultural Organization. 2017. Country-wise production of cashew nuts in 2010-2014. (<http://faostat.fao.org>) (accessed 11 July 2017).
- Groff W.G. & Howard C.W., 1924. The cultured citrus ant of South China. *Lingnan Agricultural Review*, **2**, 108-114.
- Hölldobler B. & Wilson E.O., 1990. *The ants*. Harvard University Press, Cambridge, Ma, USA, 732 p.
- Huang H.T. & Yang P., 1987. The ancient cultural citrus ant, a tropical ant, is used to control insect pests in southern China. *Bioscience*, **37**, 665-671.
- Houngbo H., 2011. *Évaluation de la qualité nutritionnelle, microbiologique et organoleptique de la mangue (Mangifera indica) protégée par les fourmis rouges (Oecophylla longinoda)*. Mémoire du Master en Normes, Contrôle de Qualité et Technologie Alimentaire. U.A.C. Cotonou. 64 p.
- Leston D., 1973. The ant mosaic, tropical tree crops and the limiting of pests and diseases. *Ans*, **19**(3), 311-341.
- Majer J.D., 1972. The ant-mosaic in Ghana cocoa farms. *Bulletin of Entomological Research*, **62**, 151-160.
- McLaughlin J., Balerdi C. & Jonathan C., 2008. *Cashew-apple fruit growing in the Florida home landscape*. Document HS1127; Series of the Horticultural Sciences Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.
- Monteiro F. et al., 2017. Cashew as a high agricultural commodity in West Africa: insights towards sustainable production in Guinea-Bissau. *Sustainability*, **9**, 1666, <http://dx.doi.org/10.3390/su9091666>
- Offenberg J. & Wiwatwitaya D., 2010. Sustainable weaver ant (*Oecophylla smaragdina*) farming: harvest yields and effects on worker ant density. *Asian Myrmecology*, **3**, 55-62.
- Olotu M.I. et al., 2013. Efficacy of the African weaver ant *Oecophylla longinoda* (Hymenoptera: Formicidae) in the control of *Helopeltis* spp. (Hemiptera: Miridae) and *Pseudothrips wayi* (Hemiptera: Coreidae) in cashew crop in Tanzania. *Pest Management Science*, **69**, 911-918.
- Peng R., Christian K. & Gibb K., 1995. The effect of the green ant, *Oecophylla smaragdina* (Hymenoptera Formicidae), on insect pests of cashew trees in Australia. *Bulletin of Entomological Research*, **85**, 279-284.
- Peng R., Christian K. & Gibb K., 1997a. Control threshold analysis for the tea mosquito bug, *Helopeltis pernicialis* (Hemiptera Miridae) and preliminary results concerning the efficiency of control by the green ant, *Oecophylla smaragdina* (F.) (Hymenoptera: Formicidae), in northern Australia. *International Journal of Pest Management*, **43**, 233-237.
- Peng R., Christian K. & Gibb K., 1997b. Distribution of the green ant, *Oecophylla smaragdina* (F.) (Hymenoptera: Formicidae), in relative to native vegetation and the insect pests in cashew plantations in Australia. *International Journal of Pest Management*, **43**, 203-211.
- Peng R., Christian K. & Gibb K., 2004. *Implementing ant technology in commercial cashew plantations and continuation*

- of transplanted green ant colony monitoring. A report for the Rural Industries Research and Development Corporation. RIRDC Project No UNT-5A, 42 p.
- Peng R., Christian K. & Gibb K., 2005. Ecology of the fruit spotting bug, *Amblypelta lutescens lutescens* Distant (Hemiptera: Coreidae) in cashew plantations, with particular reference to the potential for its biological control. *Australian Journal of Entomology*, **44**, 45-51.
- Peng R., Lan L.P. & Christian K., 2014. Weaver ant role in cashew orchards in Vietnam. *Journal of Economic Entomology*, **107**, 1330-1338.
- Pinkalski C. et al., 2015. Quantification of ant manure deposition in a tropical agroecosystem: implications for host plant nitrogen acquisition. *Ecosystems*, **18**, 1373-1382.
- Pinkalski C. et al., 2016. Macronutrient exchange between the Asian weaver ant *Oecophylla smaragdina* and their host plant. *Ecosystems*, **19**, 1418-1428.
- Room P.M., 1971. The relative distributions of ant species in Ghana's cocoa farms. *Journal of Animal Ecology*, **40**, 735-741.
- Soro D. et al., 2011. The cashew (*Anacardium occidentale*) industry in Côte d'Ivoire: analysis and prospects for development. *Fruits*, **66**, 237-245.
- Tanjékpon A.M., 2010. *Analysis of the Benin cashew sector value chain*. African cashew initiative (ACi), GTZ International Fondation, Eschborn, Germany, 32 p.
- Vanderplank F.L., 1960. The bionomics and ecology of the red ant tree, *Oecophylla* sp., and its relationship to the coconut bug *Pseudothertaptus wayi* Brown (Coreidae). *Journal of Animal Ecology*, **29**, 15-33.
- Van Mele P. et al., 2007. Effects of an African weaver ant, *Oecophylla longinoda*, in controlling mango fruit flies (Diptera Tephritidae) in Benin. *Journal of Economic Entomology*, **100**, 695-701.
- Van Mele P. et al., 2009a. Ant cues affect the oviposition behaviour of fruit flies (Diptera Tephritidae) in Africa. *Physiological Entomology*, **34**, 256-261.
- Van Mele P., Camara K. & Vayssières J.-F., 2009b. Thieves, bats and fruit flies: local ecological knowledge on the weaver ant *Oecophylla longinoda* in relation to three 'invisible' intruders in orchards in Guinea. *International Journal of Pest Management*, **55**, 57-61.
- Van Mele P. & Vayssières J.-F., 2007a. Weaver ants help farmers to capture organic markets. *Alternatives Pesticides News*, **75**, 9-11.
- Van Mele P. & Vayssières J.-F., 2007b. West Africa's mango farmers have allies in the trees. *Biocontrol News and Information*, **28**, 56-58.
- Vayssières J.-F. et al., 2008. The mango tree in northern and central Benin: cultivar inventory, yield assessment, early infested stages of mangoes and economic loss due to the fruit fly (Diptera Tephritidae). *Fruits*, **63**(6), 335-348.
- Vayssières J.-F. et al., 2015. Seasonal pattern in food gathering of the weaver ant *Oecophylla longinoda* (Hymenoptera: Formicidae) in mango orchards in Benin. *Biocontrol Science and Technology*, **25**, 1359-1387.
- Vayssières J.-F. et al., 2016. The use of weaver ants in the management of fruit flies in Africa. In: Ekese S., Mohamed S. & de Meyer M. (eds). *Fruit Fly Research and Development in Africa, Towards a Sustainable Management Strategy to Improve Horticulture*. Springer, p. 389-434.
- Vidkjær N.H. et al., 2015. Are ant feces nutrients for plants? A metabolomics approach to elucidate the nutritional effects on plants hosting weaver ants. *Metabolomics*, **11**, 1013-1028.
- Way M.J., 1951. An insect pest of coconuts and its relationship to certain ant species. *Nature*, **168**, 302.
- William J.G. et al., 2015. Benefit-cost analysis of alternative insect pest management in cashew and mango orchards. *Quarterly Journal of Econometrics Research*, **1**, 32-44.
- Yang P., 1982. Biology of the yellow citrus ant, *Oecophylla smaragdina*, and its utilization against insect pests. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, **3**, 102-105.

16. Activité antibactérienne d'extraits de six plantes aromatiques contre *Xanthomonas citri* pv. *mangiferaeindicae*, bactérie responsable de la maladie des taches noires de l'anacardier et du manguier au Burkina Faso

Cyrille Zombré^{(1)*}, Oumarou Traoré⁽²⁾, Issa Wonni⁽¹⁾, Oumarou Z. Dianda⁽¹⁾, Fousseni Boro⁽¹⁾, Agathe Allibert⁽³⁾, Roger Honorat Charles Nébié⁽²⁾, Léonard S. Ouédraogo⁽¹⁾

⁽¹⁾ Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Station de Farako-Ba, Bobo Dioulasso, Burkina-Faso

⁽²⁾ Institut de Recherche en Sciences Appliquées et Technologies (IRSAT), Ouagadougou, Burkina Faso

⁽³⁾ Faculté de Médecine Vétérinaire, Université de Montréal, Saint-Hyacinthe, Canada

*E-mail auteur correspondant : cyrille.zombre@yahoo.fr

Description du sujet. Le manguier et l'anacardier sont deux espèces attaquées par une même maladie causée par la bactérie *Xanthomonas citri* pv. *mangiferaeindicae*.

Objectifs. Dans l'optique de rechercher des solutions durables contre l'agent bactérien, un test d'efficacité antibactérienne d'huiles essentielles de *Cymbopogon nardus*, de *Cymbopogon citratus*, de *Ocimum gratissimum*, de *Ocimum basilicum*, de *Mentha piperita*, et de *Eucalyptus camaldulensis* sur *X. citri* pv. *mangiferaeindicae* a été fait.

Méthode. Le produit Idefix, à base d'hydroxyde de cuivre Cu(OH)₂ est utilisé comme témoin bactéricide. Les tests de l'activité antibactérienne des huiles essentielles sont effectués avec trois concentrations 1/5, 1/10 et 1/20 (v/v) sur les souches LM6.1 et LH127.2 de *X. citri* pv. *mangiferaeindicae*, isolées respectivement de l'anacardier et du manguier. Le témoin bactéricide a été utilisé à la dose de 2,5 g/l. Les observations portant sur le diamètre moyen des zones d'inhibition sont effectuées du 2^{ème} jusqu'au 8^{ème} jour après incubation.

Résultats. Les résultats ont montré que les six huiles essentielles et le témoin bactéricide ont révélé une activité antibactérienne sur les deux souches LM6-1 et LH127-2. La concentration de 1/5 des huiles essentielles s'est montrée plus efficace par rapport aux deux autres concentrations. Deux huiles essentielles, à savoir *Ocimum gratissimum*, et *Cymbopogon citratus*, ont montré une efficacité largement supérieure au témoin bactéricide et aux autres huiles essentielles quelle qu'en soit la concentration.

Conclusions. Ces huiles essentielles pourraient être utilisées dans un programme de lutte biologique contre la maladie des taches noires de l'anacardier et du manguier. Mais avant toute recommandation, il serait judicieux de confirmer leur efficacité en milieu réel et de proposer la meilleure formulation.

Antibacterial activity of extracts of six aromatic plants against *Xanthomonas citri* pv. *mangiferaeindicae*, bacterium responsible for black spot disease of cashew and mango trees in Burkina Faso

Description of the subject. Cashew and mango are two host species affected by a single disease outbreak caused by *X. citri* pv. *mangiferaeindicae* in Burkina Faso.

Objectives. In order to find durable solutions against the bacterial agent, essential oils with many antibacterial properties could be used as an alternative to the use of chemicals.

Method. We undertook to evaluate the antibacterial activity of plant essential oils from *Cymbopogon nardus*, *C. citratus*, *Ocimum gratissimum*, *O. basilicum*, *Mentha piperita*, and *Eucalyptus camaldulensis* against *X. citri* pv. *mangiferaeindicae*. The conventional product Idefix, based copper hydroxide, is used as a control antibacterial. Tests of antibacterial activity of essential oils were carried out with three concentrations of 1/5, 1/10 and 1/20 (v /v) on strains LM6.1 and LH127.2 of *X. citri* pv. *mangiferaeindicae*, isolated respectively from cashew and mango. The control antibacterial was used at 2.5 g/l. Observations on the mean diameter of the zones of inhibition are carried out from 2nd to the 8th day after incubation.

Results. The results showed that the six essential oils and the bactericidal control revealed antibacterial activity on the two strains LM6-1 and LH127-2. The 1/5 concentration was more effective than the other two concentrations. Two essential oils, namely *Ocimum gratissimum* and *Cymbopogon citratus*, have proven to be much more effective than the bactericidal control and other essential oils of any concentration.

Conclusions. These essential oils could be used in a biological control program against bacterial black spot of cashew and mango. It would also be interesting to confirm their effectiveness in real environments.

1. INTRODUCTION

Le Burkina Faso, pays sahélien et enclavé, dispose d'un potentiel important en matière de production fruitière. La superficie de la plantation fruitière est évaluée à environ 142 400 ha. Les anacardiens et les manguiers occupent l'essentiel des superficies fruitières avec respectivement 70,2 % et 24,7 % de la superficie nationale. La production fruitière est évaluée à environ 389 250 tonnes au niveau national. Plus de la moitié, soit 62,50 % de cette production, est constituée de mangues. La production d'anacarde occupe 22,80 % de la production fruitière totale (DPSAA, 2012).

À l'instar des autres cultures, le manguiers et l'anacardier sont attaqués par de nombreux ennemis, dont les agents phytopathogènes, les insectes et les acariens (FAO, 1999). Parmi les agents phytopathogènes, la récente émergence de la bactérie *Xanthomonas citris* pv. *mangiferaeindicae* dans tous les bassins de production des mangues en Afrique de l'Ouest est devenue de nos jours un nouveau fléau en termes de qualité de production et de sécurité pour l'approvisionnement des marchés africains et européens. La bactérie *X. citris* pv. *mangiferaeindicae* a été récemment identifiée en Afrique de l'Ouest : en 2010 sur le manguiers au Ghana (Pruvost et al., 2011a), au Burkina Faso (Pruvost et al., 2011b), au Mali (Pruvost et al., 2012); en 2014 en Côte-d'Ivoire (Pruvost et al., 2014) et au Bénin (Zombre et al., 2015). Cette bactérie constitue une grave menace à la culture de la mangue avec des pertes enregistrées allant jusqu'à 50 % dans les vergers non traités (Pruvost et al., 1995). Elle cause une baisse de fruits par arbre de l'ordre de 10-70 %, engendre des pertes de rendement de 10-80 % et provoque la putréfaction des fruits durant le stockage jusqu'à 100 % (Ploetz & Ploetz, 2003). L'anacardier a été identifié comme plante hôte naturelle de cette bactérie au Burkina Faso. Les symptômes sont couramment rencontrés sur les feuilles et les noix d'acajou. Les infections sévères réduisent la qualité et la valeur marchande des noix d'acajou et provoquent la chute prématurée des fruits. Les symptômes peuvent se produire sur les rameaux sous forme de chancre (Zombre et al., 2016).

Le manguiers et l'anacardier sont deux espèces attaquées par la bactérie *X. citris* pv. *mangiferaeindicae*. La gestion de cette bactérie au Burkina Faso doit prendre en compte ces deux plantes qui pourraient constituer des réservoirs d'inoculum et amplifier ainsi la propagation de la bactérie (Zombre et al., 2016). Face à ce constat, la mise en œuvre d'une stratégie de lutte intégrée s'avère nécessaire pour réduire l'incidence de la bactériose du manguiers à un seuil économiquement acceptable. La lutte intégrée pourrait prendre en compte l'application de mesures prophylactiques, l'utilisation de variétés résistantes ou tolérantes, et associées à des interventions à l'aide de formulations chimiques ou biologiques. Elle a pour but de rompre le cycle biologique de l'agent pathogène, en éliminant toute source d'inoculum ou en inhibant sa multiplication (Pruvost et al., 1989).

Les seuls bactéricides reconnus efficaces contre les bactéries phytopathogènes sont les produits à base de cuivre. Dans le cas de la bactériose de manguiers, les sels cupriques utilisés à des doses variant de 1 000 à 2 000 ppm de cuivre métal présentent une efficacité relativement élevée (Manicom et al., 1981; Mayers et al., 1984). Cependant, on note de plus en plus de bactéries ayant acquis des gènes de résistance au cuivre du fait de l'intensification des traitements.

Par ailleurs, plusieurs études menées au cours des dernières décennies ont démontré que l'utilisation des pesticides présente des dangers pour la santé humaine et pour l'environnement. Les pesticides de synthèse à usage agricole sont aujourd'hui au cœur d'une problématique d'ordre aussi bien sanitaire qu'environnemental à l'échelle mondiale. Au Burkina Faso, des études ont révélé plusieurs cas d'intoxications et de contamination des sols et des eaux liés à l'utilisation des pesticides agricoles (Toé et al., 2004; Savadogo et al., 2006; MESRSI, 2016). Au regard des nuisances occasionnées par l'utilisation des pesticides, l'utilisation de substances aromatiques et volatiles appelées huiles essentielles impliquées dans la protection naturelle des végétaux contre les ravageurs et les maladies représente une alternative à l'emploi des pesticides de synthèse dans les petites exploitations agricoles familiales majoritaires au Burkina Faso.

La croissance des agents fongiques ou bactériens peut être inhibée ou tuée complètement par les extraits de plantes ou les huiles essentielles. Ainsi, les huiles essentielles de *Cymbopogon citratus*, d'*Eucalyptus citriodora*, de *Hyptis suaveolens*, de *Lippia multiflora*, de *Melaleuca quinquenervia* et *Ocimum gratissimum* ont permis d'inhiber la croissance radiale de *Mycosphaerella*, champignon infectant les bananiers et bananiers plantains en Côte d'Ivoire (Tuo, 2017). Aussi, l'activité antibactérienne des huiles essentielles de *Cymbopogon citratus*, de *Mentha piperita* et d'*Eucalyptus camaldulensis* a déjà été développée contre *X. oryzae* pv. *oryzae*, et *X. oryzae* pv. *oryzicola*, respectivement responsables de la bactériose vasculaire du riz, et de la bactériose à strie foliaire du riz

au Burkina Faso (Wonni et al., 2016).

Ces huiles essentielles qui se sont montrées efficaces contre les agents bactériens du riz pourraient aussi se révéler efficaces contre *X citri* pv. *mangiferaeindicae*, affectant à la fois l'anacardier et le manguier au Burkina Faso. La présente étude a pour but d'évaluer l'activité antibactérienne des huiles essentielles de *Cymbopogon citratus*, de *C. nardus*, d'*Ocimum gratissimum*, d'*O. basilicum*, de *Mentha piperita*, et d'*Eucalyptus camaldulensis* sur deux souches pathogènes de *X citri* pv. *mangiferaeindicae*, obtenues sur anacardier et manguier au Burkina Faso. Elle s'inscrit dans la perspective de la valorisation des huiles essentielles produites par le Département de Substances Naturelles (DSN) de l'Institut de Recherche en Sciences Appliquées et Technologies (IRSAT) du Burkina Faso en vue de leur utilisation contre les ennemis des cultures.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Matériel

Matériel végétal. Le matériel végétal étudié est constitué des feuilles fraîches des plantes aromatiques de *Cymbopogon citratus*, de *C. nardus*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Occimum gratissimum*, *O. basilicum* et *Mentha piperita*. Ces feuilles ont été récoltées dans la zone péri-urbaine de Bobo-Dioulasso en 2016. Bobo-Dioulasso est située dans la partie Ouest du Burkina Faso et bénéficie d'un microclimat favorable à la culture de ces plantes aromatiques (1 000 mm de pluviométrie, des températures moyennes mensuelles dépassant rarement 32°C et une humidité relative abondante atteignant souvent les 85%) (Boubacar, 2012). Le matériel végétal a été identifié au département production forestière de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) à l'aide de l'herbier national.

En plus des plantes aromatiques, un produit conventionnel (Idefix) dont la matière active est de l'hydroxyde de cuivre $\text{Cu}(\text{OH})_2$, a été utilisé comme témoin bactéricide. Idefix est un fongicide-bactéricide à large spectre d'action utilisé contre les agents fongiques et bactériens des cultures maraîchères et fruitières.

Matériel biologique. Deux souches de *X. citri* pv. *mangiferaeindicae*, obtenues sur anacardier (LM6.1) et sur manguier (LH127.2), ont été utilisées pour évaluer l'activité antibactérienne des huiles essentielles et du témoin bactéricide. Ces deux souches ont été génotypées à l'aide du schéma MLVA-12 ciblant 12 microsattellites (Zombre et al., 2016) et dont les caractéristiques VNTRs figurent dans le Tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques VNTRs de deux souches de *X. citri* pv. *mangiferaeindicae*, obtenues sur anacardier et manguier dans la province de la Comoé au Burkina Faso – VNTRs characteristics for two strains of *X. citri* pv. *mangiferaeindicae* on cashew tree and mango, province of Comoé, Burkina Faso.

		Caractéristiques VNTRs												
Souche	Hôte	Année	XL6	XL10	XL11	XL2	XL8	XL7	XL5	XL3	XL9	XL1	XL4	XL13
LM6-1	Anacardier	2015	6	3	6	46	6	5	11	13	4	12	24	10
LH127-2	Manguier	2010	6	3	6	44	6	6	10	14	4	12	24	10

2.2. Méthodes

Extraction des huiles essentielles. L'extraction des huiles essentielles (HE) a été effectuée par hydrodistillation à l'aide d'un appareil de type Clevenger pendant 3 h au Laboratoire du Département Substance Naturelle de l'Institut de Recherches en Sciences Appliquées et Technologies (IRSAT). Avant extraction, les feuilles fraîches des six plantes aromatiques échantillonnées ont été séchées à l'ombre sur des séchoirs pendant sept jours. Les huiles essentielles sont collectées par décantation et conservées dans des flacons à l'abri du soleil et des températures excessives avant leur utilisation.

Activité antibactérienne des huiles essentielles. L'activité antibactérienne des six huiles essentielles a été évaluée *in vitro* selon la méthode décrite par Nguefack et al., (2005) modifiée. Le milieu LPGA (7 g d'extrait de levure, 7 g de peptone, 7 g de glucose, 18 g d'agar, 1 000 ml d'eau distillée ; pH 7,2) a été utilisé pour les cultures bactériennes.

Cinquante microlitres de la suspension bactérienne conservée au congélateur dans des cryotubes est prélevée puis étalée en trois secteurs sur le milieu LPGA. Les cultures sont mises ensuite en incubation à 27 °C pendant 48-72 h. Trois concentrations (1/5, 1/10 et 1/20) par HE ont été préparées dans des tubes stériles de 15 ml. Ces concentrations sont obtenues par un mélange d'HE et d'eau gélosée ou Eau-Agar (EA) stérile (à 0,1 %, préalablement préparée) dans les ratios 1:5, 1:10 et 1:20 (v/v). Les tubes contenant les différentes concentrations sont ensuite conservés au réfrigérateur pour leur réutilisation.

Une suspension bactérienne de 10^8 bactéries.ml⁻¹ a été préalablement préparée à partir d'une culture pure de chaque souche. La suspension bactérienne obtenue est ensuite mélangée dans un milieu LPGA liquide (75 %) à raison de 15 µl de suspension pour 4,5 ml de LPGA. À l'aide d'une micropipette, 4,5 ml du mélange sont prélevés et coulés de façon uniforme à la surface du milieu LPGA (100 %) solidifié contenu dans des boîtes de Pétri. Après solidification du mélange, un dépôt de 10 µl de chaque concentration d'HE et du témoin bactéricide est déposé dans chacune des trois boîtes de Pétri. Un témoin négatif ne reçoit qu'un dépôt d'eau gélosée. Après diffusion des dépôts effectués, les cultures ont été mises en incubation à 30 °C en position renversée.

Paramètre étudié et analyse de données. Le paramètre étudié est le diamètre moyen de la zone d'inhibition par souche, par huile essentielle et par concentration. Il est mesuré à l'aide d'une règle graduée en faisant la moyenne des deux diamètres perpendiculaires de la zone d'inhibition. Une dose unique du témoin bactéricide a été utilisée dans tout l'essai quelle qu'en soit la souche. Les observations sont faites aux 2^{ème}, 3^{ème}, 4^{ème}, 5^{ème}, 6^{ème}, 7^{ème}, et 8^{ème} jours après incubation (JAI). L'expérience a été répétée une fois. Les données obtenues ont été analysées avec le logiciel R, version 3.4.1. Le test post-hoc de comparaison multiple de Tukey (package multcomp) des diamètres de la zone d'inhibition de toutes les paires des différentes huiles essentielles et du témoin bactéricide a été utilisé dans le cas où le test d'analyse de variance (ANOVA) est significatif au seuil de 0,05.

3. RÉSULTATS

3.1. Activité antibactérienne des huiles essentielles

Les diamètres moyens des zones d'inhibition des six huiles essentielles et du témoin bactéricide en fonction de leur concentration sur les deux souches bactériennes de *X. citri* pv. *mangiferaeindicae* sont présentés dans le tableau 2. L'analyse des résultats obtenus indique que les six huiles essentielles et le témoin bactéricide ont une activité antibactérienne sur la croissance des deux souches (LH127.2 et LM6.1). Cependant, l'activité antibactérienne diffère en fonction de l'huile essentielle, de la concentration et de la souche. Les diamètres moyens des zones d'inhibition les plus élevés ont été enregistrés avec la concentration 1/5 (v/v). Parmi toutes les huiles essentielles, l'activité antibactérienne de *O. gratissimum* est la plus forte quelle qu'en soit la concentration et la souche. Le diamètre moyen de zone d'inhibition de *O. gratissimum* est de 19,85 mm pour la souche LH127.2 et 17,97 mm pour la souche LM6.1 à la concentration 1/5 ; 14,85 mm pour la souche LH127.2 et 13,54 mm pour la souche LM6.1 à la concentration 1/10 ; 11,5 mm pour la souche LH127.2 et 9,42 mm pour la souche LM6.1 à la concentration 1/20. L'huile essentielle de *C. citratus* a un effet similaire ou plus élevé que le témoin bactéricide. Les plus faibles activités antibactériennes ont été constatées avec les huiles essentielles d'*E. camaldulensis* et *O. basilicum*.

3.2. Évolution de l'activité antibactérienne des huiles essentielles

Pour apprécier la durée selon laquelle l'activité des huiles essentielles demeure toujours efficace sur la croissance bactérienne des deux souches LH127.2 et LM6.1 de *X. citri* pv. *mangiferaeindicae*, des figures donnant l'évolution du diamètre moyen des zones d'inhibition des six huiles essentielles et du témoin bactéricide en fonction du nombre de jours après incubation ont été réalisées. À la concentration 1/5, les courbes d'évolution des huiles essentielles d'*O. gratissimum*, de *C. citratus* et de *C. nardus* sont largement au-dessus du témoin bactéricide et des autres huiles essentielles. L'huile essentielle d'*O. gratissimum* a atteint un diamètre des zones d'inhibition de 25,16 mm pour la souche LH127.2 et 23,50 mm pour la souche LM6.1 (Figures 1 et 2). À la concentration 1/10, ce sont les courbes d'évolution d'*O. gratissimum* et de *C. citratus* qui sont au-dessus du témoin bactéricide et des autres huiles essentielles quelle qu'en soit la souche (Figures 3 et 4). À la concentration 1/20 (Figures 5 et 6), trois niveaux d'activité antibactérienne se hiérarchisent :

- Le premier niveau est l'huile essentielle d'*O. gratissimum*, largement au-dessus du témoin bactéricide et des autres huiles essentielles. Son diamètre moyen de zone d'inhibition le plus élevé est de 14 mm pour la souche

LH127.2 et 11,33 pour la souche LM6.1 enregistré au 3^{ème} jour après incubation ; et le plus faible est de 8,50 mm pour la souche LH127.2 et 7 mm pour la souche LM6.1 enregistré au 8^{ème} JAI. La photo 1 illustre même les zones d'inhibition induites par le bactéricide et de l'huile essentielle d'*O. gratissimum* sur la croissance bactérienne de souche LM6.1 de *X. citri* pv. *mangiferaeindicae* au 8^{ème} jour après incubation ;

- Le deuxième niveau regroupe l'huile essentielle de *C. citratus* et du témoin bactéricide. Ils ont une efficacité similaire et la même tendance d'évolution du 3^{ème} jour au 8^{ème} jour après incubation ;
- Le troisième niveau regroupe les huiles essentielles de *Cymbopogon nardus*, *Ocimum basilicum*, *Mentha piperita* et *Eucalyptus camaldunensis*. Leur activité antibactérienne diminue progressivement avec le temps jusqu'à s'annuler au 8^{ème} jour après incubation au même titre que le témoin négatif.

Tableau 2. Diamètres moyens des zones d'inhibition (mm) des six huiles essentielles et d'un bactéricide (Idefix) en fonction de leur concentration sur les deux souches bactériennes de *X. citri* pv. *mangiferaeindicae* (LH127.2 et LM6.1) – *Average diameters of the zones of inhibition (mm) of six essential oil and bactericide (Idefix) according to their concentration on both bacterial strains of X. citri pv. mangiferaeindicae (LH127.2 and LM6.1).*

Concentration	Produits	Diamètre d'inhibition			
		LH127.2		LM6.1	
C1	<i>O. gratissimum</i>	19.85a (3.63)	cb	17.97 (3.38)	e
	<i>C. citratus</i>	12.92 (3.06)	b	11.26 (2.49)	d
	Idefix	7.35 (2.33)	a	7.83 (2.24)	c
	<i>M. piperita</i>	6.90 (2.24)	a	6.54 (2.33)	bc
	<i>C. nardus</i>	9.90 (1.90)	a	10.73 (2.19)	cd
	<i>E. camaldunensis</i>	5 (2.54)	a	5.26 (2.10)	ab
	<i>O. basilicum</i>	5.97 (2.05)	a	5.14 (1.59)	a
C2	<i>O. gratissimum</i>	14.85 (2.19)	e	13.54 (1.94)	e
	<i>C. citratus</i>	9.21 (1.41)	cd	9.02 (2.26)	cd
	Idefix	7.35 (2.33)	d	7.83 (2.24)	d
	<i>M. piperita</i>	5.45 (0.86)	ab	3.64 (1.94)	ab
	<i>C. nardus</i>	5.76 (2.02)	c	6.5 (1.84)	c
	<i>E. camaldunensis</i>	4.11 (2.04)	b	3.07 (2.20)	b
	<i>O. basilicum</i>	2.92 (1.52)	a	2.90 (1.91)	a
C3	<i>O. gratissimum</i>	11.5 (1.88)	c	9.42 (1.56)	d
	<i>C. citratus</i>	6.85 (1.83)	b	6.38 (1.56)	c
	Idefix	7.35 (2.33)	c	7.83 (2.24)	d
	<i>M. piperita</i>	3.69 (1.98)	a	2.57 (1.88)	a
	<i>C. nardus</i>	4.52 (1.55)	a	3.80 (2.25)	b
	<i>E. camaldunensis</i>	3.97 (1.73)	a	2.85 (2.01)	a
	<i>O. basilicum</i>	3.90 (1.85)	a	2.57 (1.86)	a

C1: 1/5 (V/V), C2: 1/10 (V/V), C3: 1/20 (V/V)

^a valeurs des diamètres moyens des zones d'inhibition sur un milieu semi-sélectif LPGA, obtenues à partir de la moyenne des deux répétitions, du 2^{ème} jour jusqu'au 8^{ème} jour après incubation. Les erreurs standards sont entre parenthèses – *Values of the mean diameters of the inhibition zones on a semi-selective LPGA medium, obtained from the average of the two repetitions, from the 2nd day to the 8th day after incubation. Standard errors are in brackets.*

^b Comparaisons multiple de Tukey de l'effet des huiles essentielles et du bactéricide sur chacune des deux souches. Les valeurs des diamètres moyens des zones d'inhibition avec la (les) même(s) lettre(s) ne diffèrent pas significativement ($p=0,05$) – *Multiple Tukey comparisons of the effect of essential oils and bactericide on each pf the two strains. The values of the mean diameters of the inhibition zones with the same letter(s) do not differ significantly ($p=0.05$).*

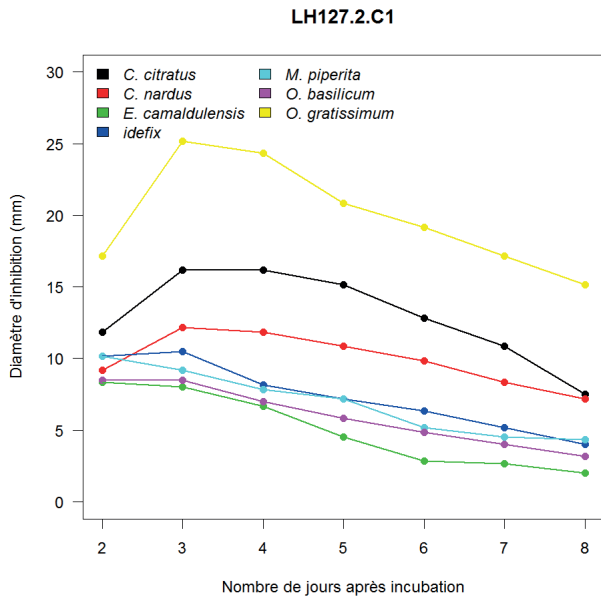


Figure 1. Évolution de l'effet de six huiles essentielles à la dose 1/5 (v/v) et d'un bactéricide (Idefix) sur la croissance bactérienne de la souche LH127.2 de *X. citri* pv. *mangiferaeindicae* du 2^{ème} jusqu'au 8^{ème} jour après incubation – Evolution of the effect of six essential oil in the dose 1/5 (v/v) and of a bactericide (Idefix) on the bacterial growth of the strain LH127.2 of *X. citri* pv. *mangiferaeindicae* from the 2nd to the 8th day after incubation.

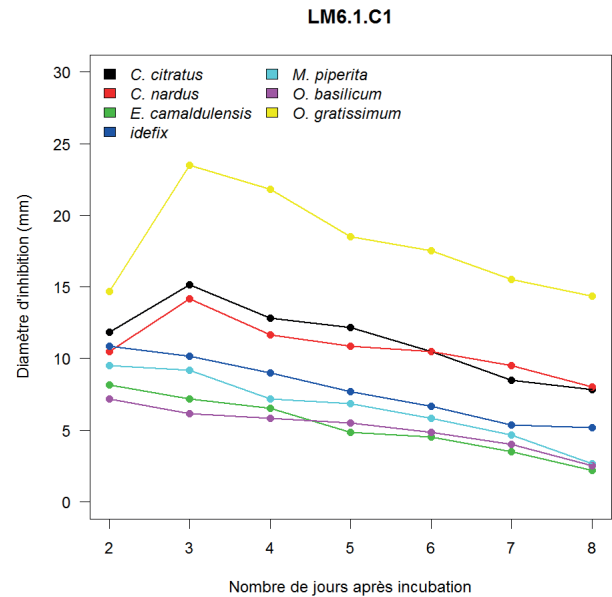


Figure 2. Évolution de l'effet de six huiles essentielles à la dose 1/5 (v/v) et d'un bactéricide (Idefix) sur la croissance bactérienne de la souche LM6.1 de *X. citri* pv. *mangiferaeindicae* du 2^{ème} jusqu'au 8^{ème} jour après incubation – Evolution of the effect of six essential oil in the dose 1/5 (v/v) and of a bactericide (Idefix) on the bacterial growth of the strain LM6.1 of *X. citri* pv. *mangiferaeindicae* from the 2nd to the 8th day after incubation.

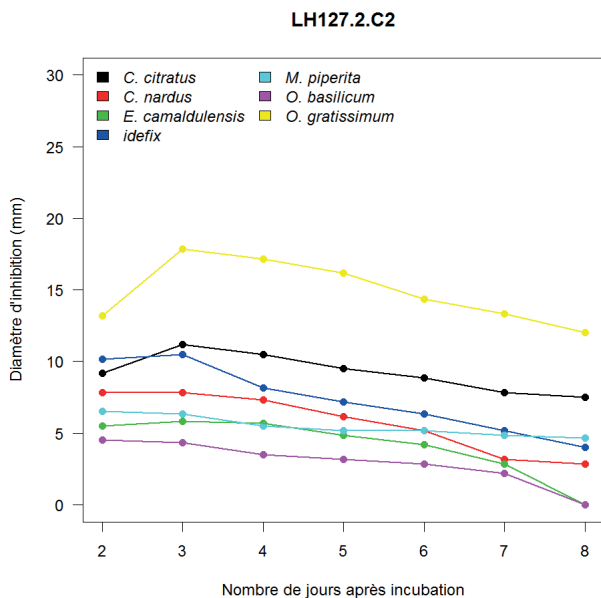


Figure 3. Évolution de l'effet de six huiles essentielles à la dose 1/10 (v/v) et d'un bactéricide (Idefix) sur la croissance bactérienne de la souche LH127.2 de *X. citri* pv. *mangiferaeindicae* du 2^{ème} jusqu'au 8^{ème} jour après incubation – Evolution of the effect of six essential oil in the dose 1/10 (v/v) and of a bactericide (Idefix) on the bacterial growth of the strain LH127.2 of *X. citri* pv. *mangiferaeindicae* from the 2nd to the 8th day after incubation.

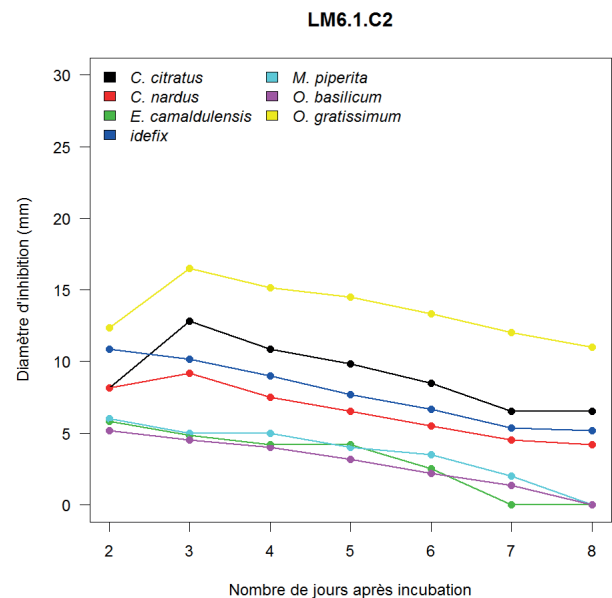


Figure 4. Évolution de l'effet de six huiles essentielles à la dose 1/10 (v/v) et d'un bactéricide (Idefix) sur la croissance bactérienne de la souche LM6.1 de *X. citri* pv. *mangiferaeindicae* du 2^{ème} jusqu'au 8^{ème} jour après incubation – Evolution of the effect of six essential oil in the dose 1/10 (v/v) and of a bactericide (Idefix) on the bacterial growth of the strain LM6.1 of *X. citri* pv. *mangiferaeindicae* from the 2nd to the 8th day after incubation.

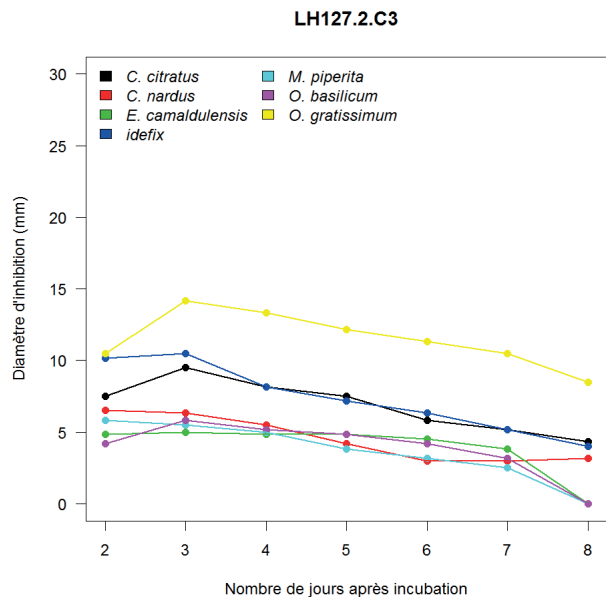


Figure 5. Évolution de l'effet de six huiles essentielles à la dose 1/20 (v/v) et d'un bactéricide (Idefix) sur la croissance bactérienne de la souche LH127.2 de *X. citri* pv. *mangiferaeindicae* du 2^{ème} jusqu'au 8^{ème} jour après incubation – Evolution of the effect of six essential oil in the dose 1/20 (v/v) and of a bactericide (Idefix) on the bacterial growth of the strain LH127.2 of *X. citri* pv. *mangiferaeindicae* from the 2nd to the 8th day after incubation.

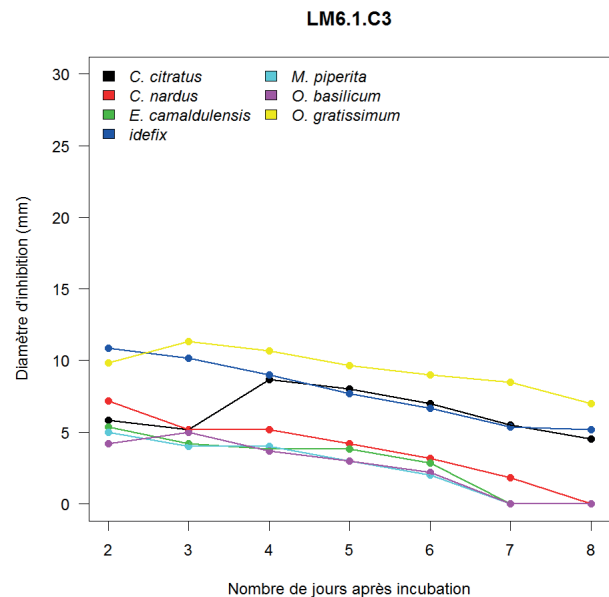


Figure 6. Évolution de l'effet de six huiles essentielles à la dose 1/20 (v/v) et d'un bactéricide (Idefix) sur la croissance bactérienne de la souche LM6.1 de *X. citri* pv. *mangiferaeindicae* du 2^{ème} jusqu'au 8^{ème} jour après incubation – Evolution of the effect of six essential oil in the dose 1/20 (v/v) and of a bactericide (Idefix) on the bacterial growth of the strain LM6.1 of *X. citri* pv. *mangiferaeindicae* from the 2nd to the 8th day after incubation.

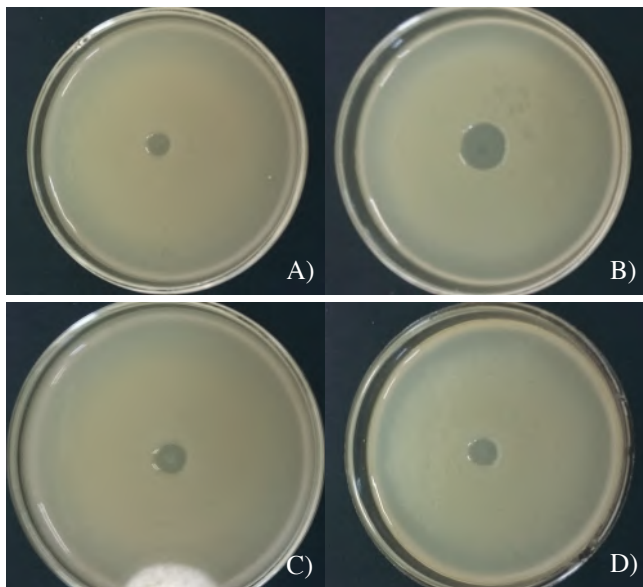


Photo 1. Zones d'inhibition induites par le bactéricide et de l'huile essentielle de *O. gratissimum* sur la croissance bactérienne de la souche LM6.1 de *X. citri* pv. *mangiferaeindicae* au 8^{ème} jour après incubation – Zones of inhibition inferred by the bactericide and some essential oil of *O. gratissimum* on the bacterial growth of the strain LM6.1 of *X. citri* pv. *mangiferaeindicae* in the 8th day after incubation. A) la dose conventionnelle du bactéricide (Idefix); B), C) et D) représentent respectivement la concentration 1/5, 1/10 et 1/20 de de l'huile essentielle de *O. gratissimum* – A) the conventional dose of the bactericide (Idefix); B), C) and D) represent respectively the concentration 1/5, 1/10 and 1/20 of *O. gratissimum* essential oil.

4. DISCUSSION

Cette étude révèle une importance capitale dans la mesure où elle s'inscrit dans une dynamique de gestion durable et efficace des maladies émergentes à travers l'utilisation des substances naturelles. L'agriculture biologique est de plus en plus recommandée de nos jours, tant pour les consommateurs que pour la réhabilitation des sols dégradés au regard des nuisances liées à l'utilisation des pesticides. Les plantes aromatiques où sont extraites les huiles essentielles étaient traditionnellement utilisées dans la pharmacopée avant que l'on s'intéresse de plus en plus à leur application dans la médecine et dans la protection des ennemis de cultures.

De toutes les huiles essentielles mises en évidence dans cette étude, celle d'*O. gratissimum* s'est révélée la plus efficace pour inhiber la croissance bactérienne des deux souches de *X. citri* pv. *mangiferaeindicae*. L'activité antibactérienne de l'HE d'*O. gratissimum* s'est poursuivie au-delà du 8^{ème} jour après incubation même à la concentration la plus faible, empêchant toute recolonisation de l'agent bactérien malgré la forte concentration bactérienne utilisée dans cette étude. Certaines études avaient déjà rapporté une activité antibactérienne intéressante des extraits aqueux et de l'huile essentielle du genre *Ocimum* en médecine humaine et vétérinaire. Saha et al. (2013) ont révélé l'activité antibactérienne des huiles essentielles d'*O. gratissimum*, *O. basilicum* et *O. kilimandscharicum* Guerke contre les bactéries de Gram négatif à savoir *Pseudomonas aeruginosa*, *Shigella dysenteriae*, *Escherichia coli*, *Vibrio cholera* et *Shigella flexneri*. Kpodekon et al. (2013) ont montré que l'HE d'*O. gratissimum* est plus efficace que celle d'*O. basilicum* contre les souches bactériennes de *Salmonella enterica* impliquées dans la mortalité de pintades dans les élevages au Nord du Bénin. Une étude réalisée au Bénin a montré que l'huile essentielle d'*O. gratissimum* a même permis de conserver les poissons fumés pendant une durée moyenne de 10 jours, sans prolifération microbienne et sans altération visible de la chair des poissons (Degnon et al., 2013).

En défense des cultures, Nguefack et al. (2005) ont démontré l'efficacité des HE d'*O. gratissimum* et de *Thymus vulgaris* sur la croissance bactérienne de *X. oryzae* pv. *oryzicola*, responsable de la bactériose à strie foliaire du riz. Cependant, au Burkina Faso l'HE d'*O. gratissimum*, n'avait pas encore été testée sur l'agent bactérien de la maladie des taches noires de l'anacardier et du manguier. C'est donc la première fois qu'une efficacité intéressante de cette HE a été révélée sur la bactérie *X. citri* pv. *mangiferaeindicae*. Pourtant, dans certains pays comme la Côte d'Ivoire, des formulations à base de cette huile ont fait leur preuve contre les agents fongiques. Ainsi, l'application du biofongicide NECO à base d'HE d'*O. gratissimum* *in vivo* a permis de réduire considérablement la sévérité de *Mycosphaerella fijiensis*, champignon responsable de la maladie des raies noires du bananier plantain en Côte d'Ivoire (Kassi et al., 2014). De plus, l'HE d'*O. gratissimum* a montré *in vitro* et *in vivo* de meilleurs résultats sur les différents stades de vie de *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*, assurant ainsi la protection des plants de tomate par rapport aux fongicides conventionnels tels que le Mancozèbe et le callicuivre (Dombouya et al., 2012 ; Soro et al., 2011). Notre étude a aussi confirmé une efficacité forte de l'HE *O. gratissimum* par rapport au témoin bactéricide dont la matière active est l'hydroxyde de cuivre, préconisé dans le traitement des maladies bactériennes. Cette activité antibactérienne pourrait être due aux composés majoritaires de l'HE *O. gratissimum* que sont le thymol et le β -terpinène (Tatsadjieu et al., 2008 ; Soro et al., 2011).

En plus d'*O. gratissimum*, certaines HE comme *C. citratus*, *C. nardus*, *O. basilicum*, *M. piperita*, et *E. camaldulensis* ont révélé une activité antibactérienne dans cette présente étude, l'HE de *C. citratus* ayant obtenu une efficacité similaire au témoin bactéricide par rapport aux autres huiles essentielles. Des études antérieures au Burkina Faso avaient montré une activité antibactérienne *in vitro* et *in vivo* des huiles essentielles de *C. citratus*, de *M. piperita* et d'*E. camaldulensis* sur *X. oryzae* pv. *oryzae* et *X. oryzae* pv. *oryzicola*, respectivement responsable de la bactériose vasculaire du riz, et de la bactériose à strie foliaire du riz (Wonni et al., 2016).

Cette étude s'est limitée aux conditions *in vitro*. Il serait intéressant pour la valorisation de ces huiles essentielles de poursuivre l'expérience en conditions contrôlées et en milieu réel en vue de confirmer l'activité antibactérienne de ces huiles. De plus, une nécessité demeure, celle de trouver la meilleure formulation n'entraînant pas un effet toxique sur les plants d'anacardiers et de manguiers, mais capable d'assurer une meilleure protection de ces plants contre les bactérioses.

5. CONCLUSIONS

La présente étude a été initiée dans le but de rechercher des substances naturelles capables de réduire la croissance bactérienne de *X. citri* pv. *mangiferaeindicae*, responsable de la maladie des taches noires de l'anacardier et du manguier au Burkina Faso. Les huiles essentielles et le témoin bactéricide mis en évidence dans cette étude possèdent une activité antibactérienne sur la bactérie. L'huile essentielle d'*O. gratissimum* s'est révélée la plus efficace pour inhiber la croissance bactérienne des deux souches de *X. citri* pv. *mangiferaeindicae*. Son activité s'est poursuivie au-delà du 8^{ème} jour après incubation quelle que soit sa concentration. Elle est suivie de l'huile essentielle de *C. citratus* ayant une efficacité similaire au témoin bactéricide. Les autres huiles telles que *C. nardus*, *O. basilicum*, *Mentha piperita*, et *Eucalyptus camaldulensis* ont aussi révélé une activité antibactérienne mais dont l'effet diminue avec le temps jusqu'à s'annuler au 8^{ème} jour après incubation.

Cette étude a dès lors permis de montrer que l'utilisation des extraits naturels de plantes constitue une alternative efficace dans la lutte contre les bactérioses des cultures fruitières. Cette expérience qui s'est réalisée *in vitro* pour la première fois sur des souches de *X. citri* pv. *mangiferaeindicae* doit se poursuivre en condition contrôlée et en milieu réel pour confirmer l'efficacité de ces huiles essentielles. Aussi, nécessité demeure de trouver la meilleure

formulation de ces huiles essentielles n'entraînant pas un effet toxique sur les plants d'anacardiens et de manguiers au Burkina Faso.

Remerciements

Les auteurs expriment leurs sincères remerciements à tout le personnel du Laboratoire de phytopathologie de l'INERA Farako-ba pour leur participation active à la réalisation de la présente étude, en particulier le Dr Ouédraogo S. Léonard, Directeur de recherche et responsable du laboratoire. Ils voudraient aussi témoigner leur gratitude à Agathe Allibert pour sa précieuse collaboration.

Bibliographie

- Boubacar I., 2012. *Caractérisation des saisons de pluies au Burkina Faso dans un contexte de changement climatique et évaluation des impacts hydrologiques sur le bassin du Nakanbé*. Thèse de doctorat : Hydrologie, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI.
- Degnon R.G. et al., 2013. Efficacité comparée des huiles essentielles de deux plantes aromatiques dans la conservation post-fumage du Chinchard (*Trachurus trachurus*). *Journal of Animal and Plant Sciences*, **19**(1), 2831-2839.
- Doumbouya M. et al., 2012. Activités comparées *in vitro* de deux fongicides de synthèse et de deux huiles essentielles, sur des champignons telluriques des cultures maraîchères en Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, **50**(1997-5902), 3520-3532.
- DPSAA, 2012. *Rapport d'analyse du module arboriculture*. Direction de la Prospective et des Statistiques Agricoles et Alimentaires, bureau centrale de recensement général de l'Agriculture, Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique. Burkina Faso.
- F.A.O., 1999. Cahier de production et protection intégrées appliquée à la culture du manguiers en Afrique soudano-sahélienne. Projet G.C.P./RAF/244/BEL, 70 p.
- Kassi F.M et al., 2014. Action du fongicide naturel NECO contre la cercosporiose noire (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) chez le bananier plantain (AAB) en Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, **75**, 6183-6191.
- Kpodekon M.T. et al., 2013. Composition chimique et test d'efficacité *in vitro* des huiles essentielles extraites de feuilles fraîches du basilic commun (*Ocimum basilicum*) et du basilic tropical (*Ocimum gratissimum*) sur *Salmonella enterica* sérotype Oakland et *Salmonella enterica* sérotype Legon. *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie*, **35**, 41-48.
- Manicom B. & Wood R., 1981. Attempts to control bacterial black spot on mangoes. *Subtropical*, **2**(11), 12-14.
- Mayers P., Hutton D. & Saranah J., 1984. Integrated control of bacterial black spot of mangoes in Southeast Queensland. *In: Proceedings of the First Australian Mango Research Workshop*. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), Melbourne, Australia, p. 258-260.
- MESRSI, 2016. *Utilisation des pesticides agricoles dans trois régions à l'ouest du Burkina Faso et évaluation de leur impact sur la santé et l'environnement : cas des régions de la boucle du Mouhoun, des Cascades et des Hauts-Bassins*. Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche Scientifique et de l'Innovation. Rapport final, 100.
- Nguefack J., Somda I. & Mortensen CN A.Z.P., 2005. No Title Evaluation of five essential oils from aromatic plants of Cameroon for controlling seed-borne bacteria of rice (*Oryza sativa* L.). *Seed Science and Technology*, **33**, 397-407.
- Ploetz R. & Ploetz R., 2003. Diseases of mango. *In: Ploetz R.C. (ed.). Diseases of Tropical Fruit Crops*. CABI International, Wallingford, 327-363.
- Pruvost O., Couteau A., Luisetti J. & Vernière C., 1995. Biologie et épidémiologie de l'agent de la maladie des taches noires de la mangue. *Fruits*, **50**(3), 183-189.
- Pruvost O. et al., 2011a. First Report in Ghana of *Xanthomonas citri* pv. *mangiferaeindicae* Causing Mango Bacterial Canker on *Mangifera indica*. *Plant Disease*, **95**, 774.
- Pruvost O. et al., 2011b. First Report in Burkina Faso of *Xanthomonas citri* pv. *mangiferaeindicae* Causing Bacterial Canker on *Mangifera indica*. *Plant Disease*, **95**(10), 1312.
- Pruvost O., Couteau A. & Luisetti J., 1989. Efficacité de différentes formulations chimiques pour lutter contre la maladie des taches noires de la mangue (*Xanthomonas campestris* pv. *mangiferaeindicae*). *Fruits*, **44**(6), 343-350.
- Pruvost O. et al., 2014. First report of *Xanthomonas citri* pv. *mangiferaeindicae* Causing Mango Bacterial Canker on *Mangifera indica* L. in Ivory Coast. *Plant Disease*, **98**, 1740.
- Pruvost O. et al., 2012. First report in Mali of *Xanthomonas citri* pv. *mangiferaeindicae* Causing Mango Bacterial Canker on *Mangifera indica* L. *Plant Disease*, **96**(4), 581.
- Saha S. et al., 2013. Biological Activities of Essential Oils and Methanol Extracts of Five *Ocimum* Species against Pathogenic Bacteria. *Czech Journal of Food Sciences*, **31**(2), 194-202.

- Savadogo W. et al., 2006. Variation de la teneur en résidus de pesticides dans les sols de la zone cotonnière du Burkina Faso. *Journal Africain des Sciences L'Environnement*, **1**, 29-39.
- Soro S. et al., 2011. Comparaison de l'efficacité antifongique de l'huile essentielle d'*Ocimum gratissimum* L. et du fongicide de synthèse mancozèbe contre le mycopathogène tellurique, *Fusarium oxysporum* f. sp. *Radicis-lycopersici* en cultures de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) sous abri en Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, **23**(1), 43-52.
- Tuo S., 2017. Distribution, diversité et incidence des cercosporioses noire et jaune dans les systèmes de culture du bananier plantain en Côte d'Ivoire : Mise en œuvre d'approches de gestion durable alternatives à la lutte chimique. Thèse de Doctorat Unique de l'Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody, UFR Biosciences, Laboratoire de Physiologie Végétale, 242 p.
- Tatsadjieu N.L., Etoa F., Mbofung C.M.F. & Ngassoum M.B., 2008. Essential Oils on Growth of *Aspergillus flavus* and Aflatoxin B1 Production. *Tropicultura*, **26**(2), 78-83.
- Toé A. et al., 2004. Le non respect des bonnes pratiques agricoles dans l'utilisation de l'endosulfan comme insecticides en culture cotonnière au Burkina Faso : quelques conséquences pour la santé humaine et l'environnement. *Revue Africaine de Santé et de Productions Animales*, **2**(34), 275-278.
- Wonni I. et al., 2016. Antibacterial activity of extracts of three aromatic plants from Burkina Faso against rice pathogen, *Xanthomonas oryzae*. *African Journal of Microbiology Research*, **10**(20), 681-686.
- Zombre C. et al., 2015. First Report of *Xanthomonas citri* pv. *mangiferaeindicae* Causing Mango Bacterial Canker on *Mangifera indica* L. in Benin. *Plant Disease*, **99**, 1854.
- Zombre C. et al., 2016. Natural Infection of Cashew (*Anacardium occidentale* L.) by *Xanthomonas citri* pv. *mangiferaeindicae* in Burkina Faso. *Plant Disease*, **100**(4), 718-723.

Thème 4.

Biotechnologie

17. Propagation by stem cuttings and *in vitro* adventitious shoots and roots formation in cashew (*Anacardium occidentale* L.)

Kouakou Laurent Kouakou*, Kouakou Camille, Kone Mongomake, Zoro BI Irie Arsene

Université Nangui Abrogoua, UFR Sciences de la Nature, Laboratoire de Biologie et Amélioration des Productions Végétales, 02 BP 801 Abidjan, Côte d'Ivoire

*E-mail corresponding author: kk_laurent@yahoo.fr

Description of the subject. Cashew production in different agroecological zones in Côte d'Ivoire is characterized by poor yield and a high susceptibility to pathogens. Main production derived from orchards obtained with unselected trees.

Objectives. This work aims to contribute to the improvement of the cashews productivity. Thus, a successful cuttings propagation method and *in vitro* adventitious shoots and roots formation protocol were developed.

Method. Propagation by cuttings was performed using softwood and semi-hardwood cuttings collected from young seedlings. Cuttings were treated with Indole-butyric-acid (IBA) and set in non-mist polypropagator. Concerning micropropagation, vitroplantlets were cut into three parts (proximal, median, and distal) and cultured on Murashige and Skoog medium supplemented with various concentrations of Benzyl-aminopurine (BAP) and IBA. Times required for buds and leaf emissions were estimated for both technics of propagation. Number of roots and emission times were also registered.

Results. Results revealed that the highest percentages of sprouting (95%) were obtained with semi-hardwood cuttings set in non-mist polypropagator. The best average emergence times of buds (7 days) and leaves (13 days) were obtained with the same cutting type treated with IBA against 10 and 16 days respectively for the control. Moreover, proximal and median parts induced three to six shoots per explant on Murashige and Skoog (MS) medium supplemented with BAP. Eighty four percent of proximal explants produce shoots against 63% and 50% for median and apical parts, respectively. In addition, proximal part produces more than 10 roots per explants when MS medium is supplemented with 22.5 mg.l⁻¹ IBA.

Conclusions. *Anacardium occidentale* is amenable to vegetative propagation using stem cuttings and tissue culture.

Multiplication végétative par bouturage et par culture *in vitro* de l'anacardier (*Anacardium occidentale* L.)

Description du sujet. La production de l'anacarde en Côte d'Ivoire est caractérisée par un faible rendement et une forte sensibilité aux maladies et pathogènes.

Objectifs. Ce travail vise à contribuer à l'amélioration de la productivité de l'anacardier. À cet effet, des essais de bouturage et de micropropagation ont été initiés.

Méthode. Le bouturage a été réalisé sur des boutures aoutées et semi-aoutées prélevées sur des jeunes plants. Les boutures ont été traitées à l'acide indole butyrique (AIB) et plantées dans un polypropagateur. Concernant la micropropagation, les vitroplants obtenus des graines ont été découpés en trois parties (proximale, médiane et apicale) et cultivés sur milieu de base de Murashige et Skoog (MS) supplémenté de Benzyl-aminopurine (BAP) et d'IBA. Le temps d'émission des pousses et de déploiement des feuilles ont été évalués.

Résultats. Les résultats ont révélé que 95 % des boutures semi-aoutées développent des pousses. Les meilleurs temps moyens de bourgeonnement (7 jours) et de déploiement de feuille (13 jours) ont été obtenus avec ces boutures semi-aoutées traitées à l'AIB, contre 10 et 16 jours, respectivement, pour le contrôle. Les parties proximales et médianes ont induit trois à six pousses par explant sur MS supplémenté de BAP. Quarante-vingt-quatre pourcent des explants proximaux ont produit des pousses contre 63 % et 50 % pour les explants médians et apicaux, respectivement. En outre, les parties proximales ont produit plus 10 racines par explant lorsque le milieu de culture MS est additionné de 22,5 mg.l⁻¹ d'AIB.

Conclusions. Ce travail montre que le bouturage et la culture *in vitro* peuvent constituer une alternative à la régénération de *A. occidentale*.

1. INTRODUCTION

Considered as a forest species to combat erosion and desertification, the cashew tree (*Anacardium occidentale* L.) is now recognized as presenting opportunities for income diversification for the rural populations of central and northern Côte d'Ivoire. Thus, from an essentially ecological role, the implantation of the cashew tree has changed to a socio-economic role since the 1990s, due to the increasing demand for cashew on the international market. Production of cashews has increased remarkably with production of raw nuts which has increased from 19,000 tons in 1990 to 700,000 tons in 2016. All of this Ivorian production is provided by an orchard composed of unselected trees from various origins with heterogeneous agronomic and technological characteristics, making them highly vulnerable to insect pests and diseases. These constraints result in a low yield of these trees (350 to 500 kg/ha) compared to those of India and Brazil (1,000 to 5,000 kg/ha).

To achieve the goal of doubling Ivorian production, it is important to provide producers with high-performance seedlings. Varietal improvement trials are essentially based on traditional methods of selecting characteristics of agronomic interest such as nut size and weight, sex ratio (Mneney et al., 2001).

Moreover, this important cash crop is propagated mainly by air layering, grafting and cuttings, these methods being not as fast as micropropagation. Tissue culture offers prospects for faster multiplication of elite trees. Unfortunately, cashew is highly recalcitrant to in vitro culture and cutting propagation. Micropropagation is affected by excessive contamination, phenolic exudation, slow growth, difficulty in elongation and microshoots rooting. It has been established that the limited potential to form adventitious roots may in part results from inappropriate time of propagation or the physiological state of tissues (Ermel et al., 2000; Cameron et al., 2001). According to Stankova & Panetsos (1997) and Voyiatzi et al. (2002), some species may be slow to form adventitious roots and the cutting may fail prior to the formation of functional roots. In "slow-to-root species", reasons for cutting failure are sometimes associated with tissue dehydration, loss or an inability to photosynthesis new carbohydrates (Grange & Loach, 1983; Del Rio et al., 1991; Aminah, 2003) and a limited response to exogenous auxins. Many investigations revealed that leafy 'softwood' cuttings need to form adventitious roots quickly (Howard & Harrison-Murray, 1995; Aiello & Graves, 1998)

Limited successes have been achieved on cashew (Leva & Falcone, 1990; Ananthkrishnan et al., 1999; Thimmappaiah et al., 1999). African cashew and particularly Ivorian orchards are less documented. To our knowledge, there is no report on cuttings and in vitro adventitious shoot formation from African cashew. We therefore tried to develop an in vitro regeneration and cutting propagation system for Ivorian elite cultivars.

To circumvent these difficulties, non-mist polypropagators which ensure a greater uniformity of moisture content is used for cuttings macropropagation (Leakey, 1990; Newton & Jones, 1993; Kouakou et al., 2016) on the one hand, and micropropagation using different concentrations of auxin and cytokinin for shoots and roots production, on the other hand, was achieved.

The aim of this work is to develop efficient methods of clonal propagation of *A. occidentale* in order to contribute to the improvement of the productivity of the cashews by making available to the producers efficient plant materials.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Sites of study

The experiments were carried out in Abidjan, at University Nangui Abrogoua (former University Abobo-Adjame) research station (05°23'N, 04°00'W, forest zone). Seeds were collected in field at Yamoussoukro (district of Yamoussoukro) situated 250 km north of Abidjan. This site is located in the savane zone.

2.2. Plant material

Two types of plant materials were used (stems and in vitro seedlings). Stem cuttings were collected from young seedlings (24 months old) in the nursery, at the research station. Stem cuttings were divided into two categories: the semi-hardwood or lignified portion and the softwood or non-lignified. Vitroplants of 10 to 15 days old (10 to 20 cm in height) obtained from seed vitrogermination were divided in three parts: proximal, median and apical part as explants.

2.3. Methods

Propagation by stem cuttings. Stems were excised from plants with a disinfected pair of secateurs. The average length of semi-hardwood and softwood cuttings was 10.2 ± 2.2 cm and 9.7 ± 1.8 cm, respectively. The average

diameters of semi-hardwood and softwood stems were 1.5 ± 0.2 cm and 1.20 ± 0.5 cm, respectively. The cuttings propagation method was a non-mist polypropagator set in a nursery, measuring $200 \times 120 \times 150$ cm modified from the design of Leakey (2014) and Kouakou et al. (2016). This propagator was a wooden frame enclosed in clear polythene covered, at the base, with a thin layer of fine river sand to prevent it from being perforated by the stones and successive layers of small stones. According to Leakey et al. (1990; 2014) and Kouakou et al. (2016), this culture condition reduces the post-severance physiological stress resulting from water loss. Relative humidity and air temperature registered under this nursery were 95% and 29 ± 2 °C, respectively.

In order to stimulate root formation, stem cuttings were treated with a commercial 'rooting' hormone, indole-3-butyric acid (IBA, Sigma-Aldrich Co, St Louis, USA), or left as untreated (Control). Cuttings were then planted out vertically, with the apical end up (Kouakou et al., 2016). The cuttings were watered one times per week.

Experiment was laid out in a randomized block design with two treatments: the cutting type (softwood/semi-hardwood), and IBA application (sprinkled) with 60 cuttings arranged in three replicates (20 cuttings per replicate block) were planted out directly on the substrate.

Five quantitative traits, generally studied in vegetative propagation, were investigated: (1) The viability estimated 60 days after planting (cuttings remained green and alive, or dead); (2) and (3) the percentage of sprouting and rooting, (4) the mean numbers of sprouts produced per cutting, (5) the mean emergence time of first leaves.

The cutting was said to be sprouted when they had one bud exceeding 0.5 cm in length. Sprouting was assessed every 2 days and final percentages were calculated 60 days after planting.

Micropropagation. Mature seeds of cashew were surface sterilized in 70% ethanol for 2 min followed by 30% sodium hypochlorite for 30 min and rinsed three times in sterile distilled water. The seeds were then decocted and cotyledons were trimmed to half. The basal part containing embryos was cultured on Murashige & Skoog (1962) basal medium (MS), supplemented with 30 g.l^{-1} sucrose and 0.7% agar, and incubated in growth chamber for germination. In vitro seedlings of 25 to 30 days old (Figure 1) were used for micropropagation. Indeed, these vitroplants were divided in three parts (proximal, median and apical). Explants were cultured on MS basal medium supplemented with various concentrations of BAP (22.5 and $50 \mu\text{g.l}^{-1}$) and IBA ($50, 75, 100, 125, 150, 150, 175 \mu\text{g.l}^{-1}$). The pH of the media was adjusted to 5.7 before autoclaving at 121 °C for 30 min and 1×10 Pa (1.1 kg.cm^{-2}). Three replicates were performed by the all type of explant (proximal, median and apical part) whatever the media, each consisting of one rack with 15 explants. Cultures were incubated in growth chamber at 24 ± 2 °C and illuminated with cool-white fluorescent lights (PPFD: $25 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) under 14 h photoperiod and 60–75% humidity.

After 12 weeks of culture, (1) the percentage of explants inducing shoots with 0.3 cm height, (2) the mean number of shoots produced per explants, (3) the mean number of shoot produced roots and (4) the mean time of leaves emergence were recorded.



Figure 1. Plantlets of *Anacardium occidentale* L. (30 days old) developed from seeds cultivated on MS basal medium – *Jeunes plants d'Anacardium occidentale* (âgés de 30 jours) obtenus par graines cultivées sur milieu de base MS.

Statistical analyses. Data were analysed using Statistical package version 9.1 (SAS, 2004) statistical software. After checking the normal distribution of data by using Kolmogorov-Smirnov test, one-way analysis of variance (ANOVA1) was performed for assessing the influence of cutting types and different media on the traits. When the null hypothesis of ANOVA1 was rejected, multiple comparisons using the Least Significant Difference (LSD) test were carried out to test for significant pairwise differences between cuttings and media. All LSD tests were carried out at $\alpha = 0.05$ significance level.

3. RESULTS

3.1. Propagation by stem cuttings

Effect of cutting type and IBA application on sprouting ability of stem cuttings and subsequent shoot growth. Cutting types affected significantly sprouting, sprouts and leaves emergence. The shortest time until sprouting was 7 ± 2.3 days and 13 ± 3.5 days for leaf emergence from IBA-treated semi-hardwood cuttings, versus 9 ± 4 and 15 ± 2.5 days for bud and leaf emergence in control cuttings in a non-mist propagator. The mean numbers of sprouts (2.8 ± 0.4) per cutting were higher from semi-hardwood (Figure 2) cuttings treated or not against 1.6 ± 0.7 buds for softwood.



Figure 2. Multiple shoots of *Anacardium occidentale* L. induced from semi-hardwood cuttings – *Production de pousses par les boutures semi-aoutées d'Anacardium occidentale* L.

Effect of cutting type and IBA application on rooting ability of stem cuttings. Three weeks after planting, the basal part of all the cuttings was covered with a whitish powder characterizing fungus attacks. None of the stem cuttings cultured (IBA treated and control) has regenerated root. Leaves have dropped and cuttings, whatever the diameter, died 65 days after planting.

3.2. Micropropagation

Effect of BAP on shoots and roots production. The type of explant has a significant effect on shoots (Figure 3) and roots production ($p < 0.01$). Whatever BAP concentration, proximal part gave the highest percentages (84 to 92%) of explants bearing shoot and mean number of shoot per explant (7 to 8 shoots). The lowest values were obtained with apical and median parts. Concerning roots production, only 11% of proximal part induced roots. Median and apical parts, whatever BAP content, were unable to produce root (Table 1).



Figure 3. Multiple shoots of *Anacardium occidentale* L. induced from explants: A. proximal part of plantlets, B. median and apical part of plantlets – *Production de multiple pousses d'Anacardium occidentale* L. à partir d'explants de différentes parties de vitroplants : A. partie proximale, B. parties médiane et apicale.

Effect of IBA on shoots and roots production. According to table 2, sprouting is lowest in presence of IBA contrary to cuttings treated with BAP (Table 1). None of apical and median part have induced root. All the proximal parts, whatever IBA concentration, promoted significantly roots induction (Figure 4). Therefore, the highest percentage of roots production was obtained with proximal parts cultured on $100 \mu\text{g.l}^{-1}$ IBA. In addition, the highest values of the mean number of shoots per explant as well as the number of explants bearing shoots were obtained with the

proximal parts. IBA high concentrations inhibited the production of shoots and roots. Cytokinin (BAP) and auxine (IBA) didn't affect significantly leaves emergence, regardless of the type of explant. Therefore, leaves were emerged from shoots produced from basal and median parts. The mean time for leaf emergence, after shoot sprouting, was 29.5 ± 7.0 days for both these types of explants.

Table 1. Combined effect of BAP and explant type on sprouting and roots induction – *Effet combiné entre le BAP et le type d'explant sur l'induction de pousses et de racines.*

Hormones	Concentrations ($\mu\text{g l}^{-1}$)	Type of explant	Mean percentage of explant bearing shoots	Mean number of shoots per explant	Mean percentage of explants bearing roots
BAP	22.5	Apical	50 \pm 12c	2 \pm 0.1c	-
		Median	62.96 \pm 23b	4 \pm 1.0b	-
		Proximal	84 \pm 17a	7 \pm 3.2a	11.22 \pm 5.3d
	50	Apical	47.11 \pm 15c	3 \pm 0.9bc	-
		Median	61.33 \pm 13b	4 \pm 1.1b	-
		Proximal	92 \pm 18a	8 \pm 2.2a	11.09 \pm 8.4d

Mean values in a column followed by the same letters are not significantly different at $p=0.05$ – *Les moyennes dans une même colonne suivie de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de $p=0,05$.*

Table 2. Combined effect of IBA and explants type on sprouting and roots induction – *Effet combiné entre l'AIB et le type d'explant sur l'induction de pousses et de racines.*

Hormones	Concentrations ($\mu\text{g l}^{-1}$)	Type of explant	Mean percentage of explant bearing shoots	Mean number of shoots per explant	Mean percentage of explants bearing roots
IBA	50	Apical	22.22 \pm 13de	1.9 \pm 1.1c	-
		Median	30.66 \pm 11d	2.4 \pm 1.2c	-
		Proximal	66.66 \pm 23b	5.7 \pm 3.2ab	68.34 \pm 23.1ab
	75	Apical	20.03 \pm 18de	2.3 \pm 1.9c	-
		Median	28.57 \pm 14d	4.2 \pm 1.1b	-
		Proximal	47.12 \pm 22c	6.8 \pm 3.2a	66.65 \pm 17.5b
	100	Apical	23.33 \pm 13de	1.1 \pm 1.9cd	-
		Median	22.24 \pm 21de	2.1 \pm 1.6c	-
		Proximal	61.56 \pm 15b	4.7 \pm 3.9b	78.81 \pm 27.4a
	125	Apical	19.20 \pm 17de	0.9 \pm 0.5cd	-
		Median	31.01 \pm 23d	2.2 \pm 1.1c	-
		Proximal	57.07 \pm 24b	2.8 \pm 1.2c	65.23 \pm 18.4b
	150	Apical	33.56 \pm 18d	1.3 \pm 0.6cd	-
		Median	45.12 \pm 22c	1.9 \pm 1.6cd	-
		Proximal	49.61 \pm 10c	2.7 \pm 3.9c	33.76 \pm 21.8c
	175	Apical	07.56 \pm 01f	0.5 \pm 0.5d	-
		Median	18.33 \pm 11e	1.2 \pm 0.9cd	-
		Proximal	22.14 \pm 09de	1.8 \pm 1.2cd	19.53 \pm 5.2d

Mean values in a column followed by the same letters are not significantly different at $p=0.05$ – *Les moyennes dans une même colonne suivie de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de $p=0,05$.*



Figure 4. Rooted proximal part of plantlets treated with indole-3-butyric acid (56 days after incubation) – *Plantules enracinées sur milieu enrichi à l'acide indole-butyrique (56 jours après la mise en culture).*

4. DISCUSSION

4.1. Stem cuttings regeneration

The chronological age differences in cutting morphology between softwood and semi-hardwood significantly affected propagation in terms of rooting ability, numbers of roots, sprouting and leaf emergence (Kouakou et al., 2016). Vegetative regeneration is generally best with leafy, softwood cuttings from young seedlings. This emphasises the importance of the physiological state of the stockplant to regenerate (Leahey, 2014).

The failure of stem cuttings to regeneration is always attributed to several factors like the age-related physiology and morphology of donor plants and their phenology (Snedden et al., 2010; Teklehaimanot et al., 2012) including factors such as plant carbohydrate and nutrient contents and the content of growth regulators (Maile & Nieuwenhuis, 2010). According to several authors, physiological stress caused by the time between the collections of cuttings in field and planting in nursery could induce the loss of water and carbohydrate reserves from the tissues due to transpiration and respiration during this period (Sanoussi et al., 2012; Leahey, 2014). In this study, cuttings have been cultured the same day they were harvested. The stem failure could probably be due to fungus attacks. Indeed, although substrate have been treated with a fungicide (mancozeb Callivoire-Abidjan 880 W in water at 15 g.l⁻¹), stem cuttings were not treated. The fungal spores present on stem cuttings would be responsible for infections observed at the base of cuttings and which would have caused the obstruction of conducting vessels of stems and their deterioration. Also, non-emission of roots by the cuttings would lead to a depletion of water and carbohydrate reserves present in these stems. This has favoured the rapid splitting of leaves emitted by these cuttings. The significant emission of leaves for semi-hardwood cuttings could be explain by the fact that this type of cuttings contains more carbohydrate reserve than softwood and hardwood cuttings and water which ensure the first metabolisms processes before their deterioration.

4.2. Micropropagation

Reports on cashew indicate low rates of regeneration and abnormal morphogenetic responses. Several factors such as tissue source and age, and composition of the culture media, influence regeneration frequency (Ananthkrishnan et al., 2002). Application of cytokinin at relatively high doses has been recommended for *in vitro* cashew bud development in microshoots and cotyledonary nodes (Lievens et al., 1989; Das et al., 1996). BAP is the most widely used cytokinin for multiple shoots induction of several plant species such as rattan (Goh et al., 2001; Kouakou et al., 2009a; 2009b) or *Hibiscus* (Samanthi et al., 2004). According to Samanthi et al. (2004), a single exposure of *Hibiscus cannabinus* L. explants to a low concentration of BAP improves the development of the shoots. In this present study, BAP was effective in inducing shoots bud from proximal explant (basal part of seedling bearing cotyledon).

The root initiation is visible only when the adventitious buds differentiated into well-developed shoots. The interaction between auxin and carbohydrates has been recognised as vital for root formation (Sorin et al., 2005). Indeed, root formation is stimulated by IBA which hydrolyses the polysaccharides, thus increasing the metabolic activities required to provide vital energy for the formation and elongation of meristematic tissues responsible for root production and sprouting (Georges et al., 2007; Husen et al., 2007).

The proximal explant is the part of the seedling that ends with the radicle. The proximal part contains cells already differentiated and predisposed to roots production unlike median and apical parts of the seedlings. As auxin is the specialized hormone in root production, the concentrations of AIB used or the nature of this auxin, used in this study, would be inadequate for the neoformation of roots on both parts. The production of roots would also be promoted by the high number of shoots produced on this part.

5. CONCLUSIONS

This preliminary work on West African *Anacardium occidentale* micropropagation gives quite promising results. In fact, this plant has always been regarded as recalcitrant to micropropagation, because of the difficulties in rooting. The significant production of shoots and roots of the proximal part of the seedlings is a significant step towards the exponential cultivation of cultivars with intersecting agronomic characteristics.

Further research is needed to determine the optimal conditions for robust and larger scale propagation of *A. occidentale*. Efficient conditions of culture such as temperature, relative humidity and a further improvement of culture medium composition and substrate is required to increase the time of rooting as well as in nursery and *in vitro* culture. Studies on the survival and growth of plantlets under nursery and field conditions are necessary.

Bibliography

- Aiello A.S. & Graves W.R., 1998. Success varies when using subirrigation instead of mist to root softwood cuttings of woody taxa. *Journal of Environmental Horticulture*, **16**, 42-47.
- Aminah H., 2003. Vegetative propagation of *Endospermum malaccense* by leafy stem cuttings: effects of indole butyric acid (IBA) concentrations and propagation systems (mist and non-mist). *Journal of Tropical Forest Sciences*, **15**, 249-258.
- Ananthkrishnan G., Ravikumar R., Girija S. & Ganapathi A., 2002. *In vitro* adventitious shoot formation from cotyledon explants of cashew (*Anacardium occidentale* L.). *Scientia Horticulturae*, **93**, 343-355.
- Ananthkrishnan G. et al., 1999. Induction of somatic embryogenesis from nucellus-derived callus of *Anacardium occidentale* L. *Scientia Horticulturae*, **79**, 91-99.
- Cameron R.W.F., Harrison-Murray R.S., Ford Y.-Y. & Judd H.L., 2001. Ornamental shrubs: effects of stock plant management on the rooting and establishment of cuttings. *Journal of Horticultural Sciences Biotechnology*, **76**, 489-496.
- Das S., Jha T.B. & Jha S., 1996. *In vitro* propagation of cashewnut. *Plant Cell Report*, **15**, 615-619.
- Del Rio C., Rallo L. & Caballero J.M., 1991. Effects of carbohydrate content on the seasonal rooting of vegetative and reproductive cuttings of olive. *Journal of Horticultural Sciences*, **66**, 301-309.
- Dick J.McP. et al., 2004. Influence of nutrient application rate on the growth and rooting potential of the West African hardwood *Triplochiton scleroxylon*. *Tree Physiology*, **24**(1), 35-44.
- Ermel F.F. et al., 2000. Mechanisms of primordium formation during adventitious root development from walnut cotyledon explants. *Planta*, **211**, 563-574.
- Goh D.K.S. et al., 2001. *In vitro* somatic embryogenesis in two major rattan species: *Calamus merrillii* and *Calamus subinermis*. *In Vitro Cellular and Developmental Biology Plant*, **37**(3), 375-381.
- George E.F., 2007. Plant tissue culture background. In: George E.F., Hall M.A. & De Klerk G.-J. (eds). *Plant propagation by tissue culture 3rd edition*. Springer, Netherlands, 1-29.
- Grange R.I. & Loach K., 1983. The water economy of unrooted leafy cuttings. *Journal of Horticulture Sciences*, **58**, 9-17.
- Howard B.H. & Harrison-Murray R.S., 1995. Responses of dark-preconditioned and normal light-grown cuttings of *Syringa vulgaris* 'Madame Lemoine' to light and wetness gradients in the propagation environment. *Journal of Horticultural Sciences*, **70**, 989-1001.
- Husen A. & Pal M., 2007. Metabolic changes during adventitious root primordium development in *Tectona grandis* Linn. f. (teak) cuttings as affected by age of donor plants and auxin (IBA and NAA) treatment. *New Forests*, **33**(3), 309-323.
- Kouakou L.K. et al., 2009a. Rapid seedlings regeneration from seeds and vegetative propagation with sucker and rhizome of *Eremospatha macrocarpa* (Mann & Wendl.) Wendl and *Laccosperma secundiflorum* (P. Beauv.) Kuntze. *Scientia Horticulturae*, **120**, 257-263.
- Kouakou L.K. et al., 2009b. Direct regeneration of rattan seedlings from apical meristem and axillary bud explants. *Belgian Journal of Botany*, **142**, 60-67.
- Kouakou L.K. et al., 2016. Propagation of *Garcinia kola* (Heckel) by stem and root cuttings. *Silva Fennica*, **50**(4) .
- Leakey R.R.B., 2014. Plant cloning: macropropagation. In: van Alfen N. ed. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*. Elsevier Publishers, San Diego, USA, 349-359.

- Leakey R.R.B. et al., 1990. Low-technology techniques for the vegetative propagation of tropical trees. *Commonwealth Forestry Review*, **69**, 247-257.
- Leva A.R. & Falcone A.M., 1990. Propagation and organogenesis *in vitro* of *Anacardium occidentale* L. *Acta Horticulturae*, **280**, 143-145.
- Lievens C., Pylyser M. & Boxus P., 1989. Clonal propagation of *Anacardium occidentale* by tissue culture. *Fruits*, **44**, 553-557.
- Maile N. & Nieuwenhuis M., 2010. Vegetative propagation of *Eucalyptus nitens* using stem cuttings. *South African Forestry Journal*, **175**, 29-34.
- Mnenedy E.E., Mantell S.H. & Bennett M., 2001. Use of random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers to reveal genetic diversity within and between populations of cashew (*Anacardium occidentale* L.). *Journal of Horticultural Sciences and Biotechnology*, **76**, 375-383.
- Murashige T. & Skoog F., 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiology Plant*, **15**, 473-497.
- Newton A.C. & Jones A.C., 1993. Characterization of microclimate in mist and non-mist propagation systems. *Journal of Horticultural Science*, **68**(3), 421-430.
- Samanthi P., Herath S.P., Suzuki H.T. & Hattori K., 2004. Multiple shoot regeneration from young shoots of kenaf (*Hibiscus cannabinus*). *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, **77**, 49-53.
- Sanoussi A., Ahoton L.E. & Odjo T., 2012. Propagation of Black Plum (*Vitexdonania* Sweet) using stem and root cuttings in the ecological conditions of South Benin. *Tropicultura*, **30**, 107-112.
- Snedden J., Landhäusser S.M., Lieffers V.J. & Charleson L.R., 2010. Propagating trembling aspen from root cuttings: impact of storage length and phenological period of root donor plants. *New Forests*, **39**(2), 169-182.
- Sorin C. et al., 2005. Auxin and light control of adventitious rooting In *Arabidopsis* require ARGONAUTE1. *The Plant Cell*, **17**(5), 1343-1359.
- Stankova T. & Panetsos K., 1997. Vegetative propagation of *Cupressus sempervirens* L. of Cretan origin by softwood stem cuttings. *Silvae Genetica*, **46**, 137-144.
- Teklehaimanot Z., Mwang'ingo P.L., Mugasha A.G. & Ruffo C.K., 2004. Influence of the origin of stem cutting, season of collection and auxin application on the vegetative propagation of African Sandalwood (*Osyris lanceolata*) in Tanzania. *South African Forestry Journal*, **201**(1), 13-24.
- Thimmappaiah & Samuel S.R., 1999. *In vitro* regeneration of cashew (*Anacardium occidentale* L.) *Indian Journal of Experimental Biology*, **37** (4), 384-390.
- Voyiatzi C. et al., 2002. Rooting capacity of cuttings as a criterion for the evaluation of the progeny of five olive cultivars. *Acta Horticulturae*, **586**, 927-930.

Thème 5.

**Transformation, Valorisation et
Équipements**

18. Effets de la fortification à l'amande de cajou sur la valeur nutritive et sensorielle de la farine de banane plantain

Ibrahim Fofana^{(1)*}, Doudjo Soro⁽²⁾, Mohamed Anderson Yeo⁽³⁾, Ernest Kouadio Koffi⁽¹⁾

⁽¹⁾ Université Félix Houphouët-Boigny, UFR Biosciences, Laboratoire de Biochimie Sciences des Aliments, UFHB 01 BP V 34 Abidjan, Côte d'Ivoire

⁽²⁾ Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB), UMRI Sciences des Procédés Alimentaire et Environnementaux, BP 1313 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

⁽³⁾ Université de Man, UFR d'Ingénierie agronomique, Forestière et Environnementale, BP 20 Man, Côte d'Ivoire

*E-mail auteur correspondant : fofibrahim85@gmail.com

Description du sujet. L'insuffisance de protéine dans l'alimentation infantile, particulièrement dans les pays en développement, a dicté la recherche de nouvelles sources disponibles de protéines pour substituer ou pour compléter les sources existantes dans la formulation des farines infantiles.

Objectifs. Ces expériences ont été conduites dans l'optique d'évaluer les effets de la fortification à l'amande de cajou sur la valeur nutritive de la farine de banane plantain dans la formulation d'une farine infantile répondant aux besoins nutritionnels des enfants.

Méthode. À cet effet, la noix d'anacarde a été transformée en farine et incorporée à la farine de banane plantain, à différentes proportions (10, 15 et 20 %). Les paramètres biochimiques, fonctionnels et sensoriels des formulations ont été déterminés.

Résultats. Les résultats ont montré que la fermentation provoque une augmentation significative des teneurs en protéines, en lipides, en cendres, en énergie et en composés phénoliques proportionnellement au taux d'incorporation. Pour une incorporation de 20 %, les teneurs en protéine et énergie augmentent respectivement de $3,33 \pm 0,02$ g/100 g à $9,33 \pm 0,05$ g/100 g et de $369,23 \pm 3,77$ kcal/100 g à $404,22 \pm 0,52$ kcal/100 g. L'étude des pouvoirs de gonflement et des indices de solubilité des farines ont montré une diminution proportionnelle au taux d'anacarde incorporé. Des tests sensoriels ont permis de limiter le niveau maximal d'incorporation de farine d'amande de cajou à 15 %.

Conclusions. La farine d'amande de cajou pourrait servir de source de protéines dans la formulation d'aliments de complément et contribuer à la lutte contre la malnutrition protéino-énergétique.

Cashew kernel fortification effects on plantain flour nutritive and sensory value

Description of the subject. The insufficiency of protein in the infantile food particularly in the developing countries, dictated the search for new sources available of protein to substitute or supplement the existing sources in the infantile formulation of the flours.

Objectives. These experiments were carried out in order to evaluate the effects of cashew kernel fortification on the nutritive and sensory value of plantain flour in the formulation of infant flour that meets the nutritional needs of children.

Method. To this end, cashew nut was transformed into flour and incorporated in the plantain flour, with various proportions (10, 15 and 20%) and the biochemical, functional and sensory parameters of the formulations were given.

Results. The results showed that fortification causes a more significant increase in the content of protein, lipids, ash, energy and the total phenolic content of the formulations proportionally at the rate of incorporation. Indeed, for an incorporation of 20% the contents of protein and energy respectively increase ($3.33 \pm 0.02\%$ at $9.33 \pm 0.05\%$) and energy (369.23 ± 1.77 kcal/100 g at 404.22 ± 0.52 kcal/100 g). The study of the swelling powers and the solubility indices of the flours showed a decrease proportional to the level of cashew kernel flour incorporated. Sensory tests allowed limiting the maximum level of incorporation of cashew kernel flour to 15%.

Conclusions. In conclusion, Cashew kernel flour could serve as a source of proteins in infant feeding and contribute to the fight against protein-energy malnutrition.

1. INTRODUCTION

La malnutrition protéino-calorique et les carences en micronutriments (fer, zinc, iode, vitamine A) chez les enfants de moins de cinq ans constituent un problème majeur de santé publique et de bien-être social dans le monde (OMS, 2000). En Afrique subsaharienne, plus d'un tiers de la mortalité et de la morbidité chez les enfants sont attribuables à la malnutrition (Black, 2008). En Côte d'Ivoire, la prévalence de la malnutrition chez les enfants de moins de 5 ans est de 29,8 % avec 12 % de forme sévère (EDSCI-III, 2012). L'insuffisance pondérale touche 14,9 % des enfants, avec 4,3 % de forme sévère (EDSCI-III, 2012). Sa survenue est en rapport avec la période cruciale de sevrage et de diversification alimentaire où elle est étroitement imbriquée avec les infections (OMS, 2004).

Durant cette période, les mères nourrissent généralement leurs enfants avec des bouillies préparées à partir de farines simples ou composées provenant de céréales et/ou de tubercules qui pourraient leur fournir suffisamment d'énergie, de protéines et d'oligoéléments (Dupont, 2005). Cependant, les aliments complémentaires traditionnels dans les pays en développement, la Côte d'Ivoire inclus, sont connus pour être de faible valeur nutritive et sont caractérisés par de faibles teneurs en protéines et en énergie (Dooshima et al., 2015). Ces bouillies sont visqueuses, indigestes, de consistances lourdes et difficiles à avaler pour l'enfant du fait de l'amidon qui a la capacité de gonfler pendant la cuisson. La qualité des farines infantiles utilisées pendant cette période est de ce fait d'une grande importance. En Afrique, des farines infantiles de hautes qualités pour répondre aux besoins nutritionnels des nourrissons existent sur le marché mais ce sont des produits industriels importés et d'un coût élevé. Pour répondre à cette préoccupation majeure, la FAO et l'OMS encouragent et soutiennent l'utilisation des aliments traditionnels disponibles, accessibles et de valeur nutritive suffisante pour couvrir les besoins nutritionnels dans la formulation des aliments de complément (FAO/OMS, 2008). En Côte d'Ivoire, la banane plantain est le troisième produit vivrier avec une production de 1 600 000 tonnes (Perrin et al., 2015). La consommation annuelle est parmi la plus élevée au monde, d'environ 120 kg/habitant (Kouamé, 2013). La farine est l'une des formes les plus courantes de préservation des bananes. Elle a une teneur élevée en amidon et est largement utilisée dans l'alimentation des nourrissons en tant que source d'énergie (Martinez et al., 2009). En général, les bananes plantain possèdent de fortes teneurs en glucides (32 %), en minéraux, en vitamines et de faibles teneurs en lipides (0,1 à 0,3 %) et en protéines (0,8 à 1,3 %) d'où la nécessité de l'enrichir (Bonnet-Bruno, 2012). L'insuffisance de protéines dans l'alimentation, et particulièrement dans les pays en voie de développement, a dicté la recherche de nouvelles sources de protéines pour substituer ou pour compléter les sources existantes dans la formulation des farines infantiles. Beaucoup de plantes habituellement sous la forme d'extraits de protéines ou de farines de graines sont étudiées et testées pour de nouveaux produits tels que les aliments fabriqués à faible coût, à haute valeur nutritive, attrayants et acceptables pour les consommateurs. En effet, de nombreux autres produits agricoles utilisables dans la formulation des aliments de compléments sont disponibles en Afrique sub-saharienne. Cependant, la méconnaissance de leur valeur alimentaire limite leur emploi. Parmi ces matières premières locales figure l'anacarde (*Anacardium occidentale* L.). La Côte d'Ivoire est le premier producteur mondial de noix brutes de cajou depuis 2015 avec une production de 702 510 tonnes (CCA, 2016). Cependant la quasi-totalité de la production (+90 %) est exportée vers le Vietnam et l'Inde car elle n'est pas suffisamment transformée industriellement en Côte d'Ivoire. Il est bien documenté que les noix de cajou contiennent des nutriments essentiels comme les protéines (20-24 g/100 g), les lipides (40-57 g/100 g), les glucides (23-25 g/100 g) (Ogunwolu et al., 2009; Yang et al., 2006; Nascimento et al., 2010) et des quantités appréciables de minéraux (Akinhanmi et al., 2008). Malgré les avantages nutritionnels de la noix de cajou, son utilisation comme nourriture est limitée aux collations.

La présente étude vise à mener des recherches sur la valeur nutritive et sensorielle de la farine de banane plantain enrichie à l'amande de cajou.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Matériel

Le matériel végétal de l'étude est constitué de farines produites à base de bananes plantain tournant (stade 3 de mûrissement) fraîches et intactes, cultivar Corne 1.

Les bananes ont été sélectionnées et achetées chez des grossistes au marché du quartier Moh faitai dans la ville de Yamoussoukro, capitale politique de la Côte d'Ivoire, région des lacs, située entre la zone forestière et la zone savanicole.

Les amandes de cajou utilisées pour l'enrichissement sont collectées au sein de l'atelier de génie mécanique de l'Institut National Polytechnique Félix houphouët-boigny (inp-hb), Yamoussoukro, Côte d'Ivoire.

Deux farines infantiles de commerce sont utilisées comme référence. BLELINE* est constitué d'un mélange de banane et de lait, produite par Blédina SAS et FARINOR* est produite par le laboratoire Nutribon.

2.2. Méthodes

Production des farines

Farine de plantain. La farine de banane plantain est produite selon le procédé de Pérez-Sira (1997) (légèrement modifié) pour la prévention du brunissement enzymatique (Figure 1). Les bananes, fraîches et mures, sont lavées et cuites dans une cocotte-minute à une température comprise entre 98 et 100°C pendant 15 minutes jusqu'à tendreté. Les bananes précuites sont ensuite pelées puis découpées en cossettes à une épaisseur moyenne de 1 cm en utilisant un couteau. Les cossettes sont séchées à l'air dans des armoires (BR185H, Gallenkamp, Yorkshire, Royaume-Uni) du four à une température de 65°C pendant 24 heures. Les cossettes séchées sont enfin broyées dans un broyeur à marteaux pour obtenir de la farine précuite de banane plantain.

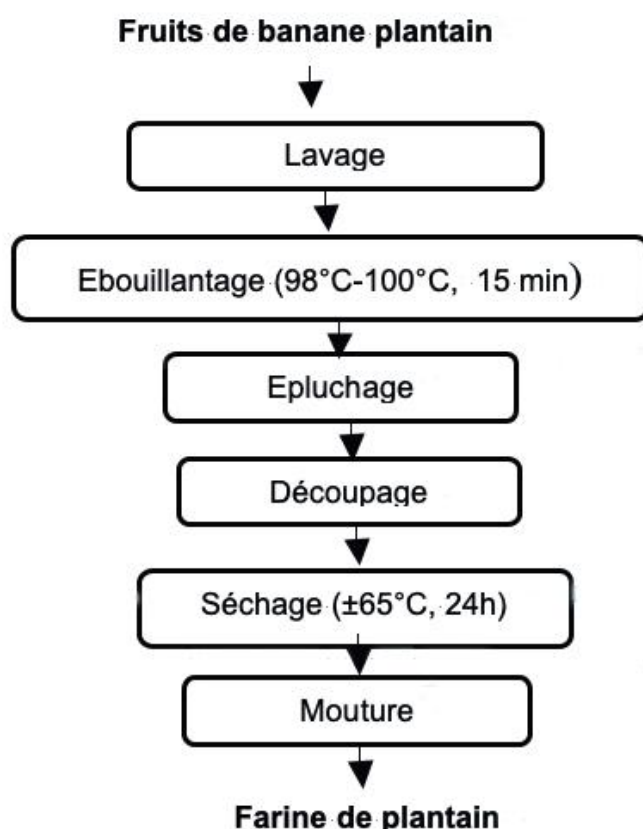


Figure 1. Diagramme de production des farines plantain – *Production diagram of plantain flour.*

Farine d'amande de cajou. Le traitement des noix de cajou a été inspiré du procédé Falade et al. (2004) modifié. Un lot de noix de cajou triées et calibrées est cuit dans un cuiseur à vapeur à 115°C pendant 45 min, puis laissé sécher à température ambiante pendant 48 h. Les noix de cajou séchées sont coupées en deux moitiés égales à l'aide d'un décortiqueur manuel. Les amandes sont ensuite séparées des coques à l'aide de petits couteaux et séchées à l'air dans des armoires (BR185H, Gallenkamp, Yorkshire, Royaume-Uni) du four à une température de 85°C pendant 2 h puis dépelliculées. Les amandes dépelliculées sont séchées au four à 65°C pendant 24 h pour que l'humidité soit comprise entre 5 et 6%. La farine d'amande de cajou produite a été inspirée par la méthode décrite par Sze-Tao & Sathe (2004) modifiée. Les amandes de cajou précédemment traitées sont concassées à l'aide d'un broyeur semi-artisanal. L'huile des amandes a été ensuite extraite avec du n-hexane deux fois de suite au rapport de 1:1 (p/p), dans une cuve en inox par macération continue pendant 30 min. La cuve hermétiquement fermée est portée à ébullition pendant 50 minutes sur une plaque chauffante à 130°C. Après 24 h d'incubation, le surnageant contenant

l'huile et l'hexane est retiré, les tourteaux sont collectés dans un tissu blanc en coton et mis sous presse pendant 24 h. Les tourteaux dégraissés sont ensuite étalés sur un plateau en acier inoxydable et mis à l'étuve à 70 °C pendant 12 h afin d'éliminer les traces de solvant. Les tourteaux sont enfin broyés pour obtenir la farine de granulométrie 150 µm. Elle est emballée dans des sachets en plastique polyéthylène et conservée (Figure 2).

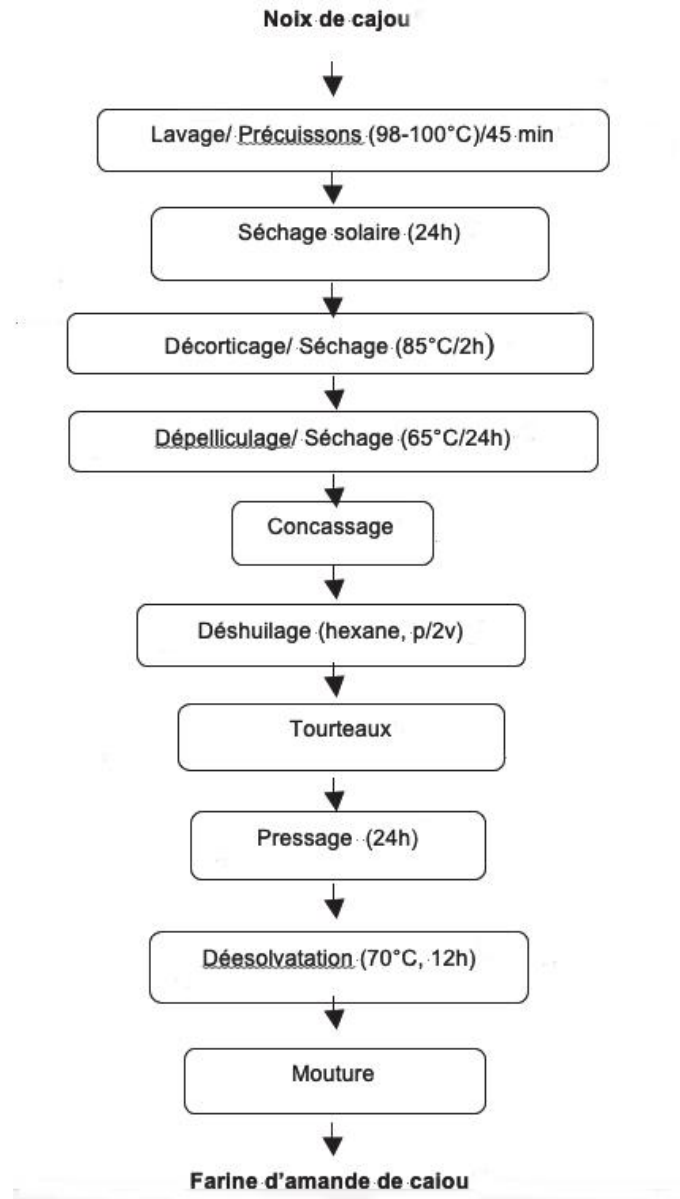


Figure 2. Diagramme de production de la farine d'amande de cajou – *Production Diagram of Cashew Kernel Flour.*

Formulation des farines infantiles : plantain/amande de cajou. Les farines composites plantain et amande de cajou sont obtenues par l'incorporation de proportions de 10, 15 et 20 % de farine d'anacarde dans la farine de plantain. Chaque formulation est soigneusement mélangée dans un mixeur, ensuite répartie en fractions de 250 g dans des sachets plastiques en polyéthylène, puis stockées pour les analyses.

2.3. Analyses

Compositions physico-chimiques. Le taux d'humidité est déterminé par séchage des échantillons dans une étuve (Memmert 854 Schwabach, Allemagne) à 105 °C pendant 24 h (AOAC, 1990). Le pourcentage de protéine brute est déterminé en utilisant la méthode de Kjeldahl avec l'unité Kjeltex 8400 de l'analyseur (FOSS, Suède). Le

pourcentage d'azote (% N) obtenu est utilisé pour calculer le pourcentage de protéines brutes (%P) en utilisant la relation : $\%P = \%N \times 6,25$ (AOAC, 1990). La teneur en lipides est déterminée en utilisant l'extraction par l'hexane dans un extracteur de type Soxhlet (Unid Tecator, System HT2 1045, Suède). Après évaporation du solvant et séchage de la capsule à l'étuve (Memmert 854 Schwabach, Allemagne) à 105 °C pendant 30 min, la différence de poids donne la teneur en lipides de l'échantillon (AOAC, 1990). Le pourcentage de cendres est déterminé en incinérant des échantillons dans un four à moufle (Nabertherm GmbH Bahnhofstr. 20, 28865 Lilienthal/Bremen, Germany) à 600 °C pendant 6 heures. Les échantillons sont refroidis dans un dessiccateur et pesés (AOAC, 1990). Pour les fibres brutes, 1 g d'échantillon de farine séchée est digéré avec de l'acide sulfurique 1,25 N et une solution d'hydroxyde de sodium 1,25 N. Le résidu insoluble obtenu est lavé à l'eau chaude et séché dans une étuve (Memmert 854 Schwabach, Allemagne) à 105 °C pendant 24 h. Le résidu séché est ensuite incinéré au four (Nabertherm GmbH Bahnhofstr. 20, 28865 Lilienthal/Bremen, Germany) à 600 °C pendant 6 h et pesé pour la détermination de la teneur en fibres brutes. Les glucides et la valeur énergétique sont calculés en utilisant les formules suivantes (AOAC, 1990) :

Glucides : $100 - (\% \text{ d'humidité} + \% \text{ de protéines} + \% \text{ de lipides} + \% \text{ de cendres})$,
 Valeur énergétique : $(\% \text{ de protéines} \times 4) + (\% \text{ d'hydrates de carbone} \times 4) + (\% \text{ de lipides} \times 9)$.

Détermination des phénols totaux. Les phénols totaux ont été extraits selon la Méthode AOAC (1990) utilisant le réactif de Folin Ciocalteu. Pour l'extraction, 1 g de farine est placé dans un bécher dans lequel sont ajoutés 100 ml d'acide oxalique à 0,3 % (g/v). Le mélange est agité à l'aide d'un agitateur magnétique pendant 30 min. L'ensemble est centrifugé à 3000 tr/min pendant 15 min. Ensuite l'extrait est filtré sur du papier Whatman n° 41. Pour le dosage, 1 ml de l'extrait dilué dans 8 ml d'eau distillée est ajouté dans un tube, plus 0,5 ml de réactif de Folin Ciocalteu dilué (1/10), et 1,5 ml de solution de carbonate de sodium (7,5 %). Le mélange est laissé à l'obscurité pendant 1 h à température ambiante. La lecture est faite à une absorption de 765 nm au spectrophotomètre. Une gamme étalon a été réalisée avec l'acide gallique à différentes concentrations (0 à 1 mg/ml). La teneur en composés phénoliques de chaque échantillon est ensuite calculée à partir de la courbe d'étalonnage et exprimée en g d'équivalent d'acide gallique pour 100 g de matière sèche.

Teneurs en minéraux et dosage de la vitamine C. Les teneurs en minéraux ont été déterminées par spectrométrie d'absorption atomique à flamme selon la méthode (AOAC, 1990). Environ 0,25 g de farine est pesé et calciné à 600 °C pendant 4 h dans un four à moufle. Les cendres sont récupérées et dissoutes avec de l'acide nitrique et de l'acide chlorhydrique concentré puis complétées avec de l'eau distillée. Différentes concentrations de solution étalon sont préparées à l'aide d'un étalon conventionnel de 1000 ppm. Le dosage est effectué par spectrométrie d'absorption atomique à flamme avec un appareil de type Pelkin Elmer (PE 3110, Norwalk USA).

L'acide ascorbique ou vitamine C a été extrait en présence d'une solution d'acide métaphosphorique/acide acétique et dosé par le 2,6-dichlorophénol indophénol étalonné par la vitamine C standard de concentration connue (Poncracz et al., 1971).

Propriétés fonctionnelles. Le pH de tous les échantillons a été déterminé en utilisant la méthode AOAC (1990).

Dix grammes de farine ont été délayés dans 100 ml d'eau distillée. L'ensemble est macéré pendant 30 min. Le mélange obtenu est centrifugé à 3500 rpm pendant 30 min à l'aide d'une centrifugeuse (TAI SHI LI XIN JI TDL-4, en Chine). Le pH est déterminé selon la méthode potentiométrique en utilisant l'électrode d'un compteur pH (HI1230 PH 13). Dix millilitres du surnageant précédemment obtenu est prélevé et le pH est mesuré au moyen d'un pH-mètre (HANNA INSTRUMENTS HI8424). La valeur du pH est lue directement sur l'écran du pH-mètre.

La capacité de gonflement et l'indice de solubilité à l'eau des farines sont déterminés par gravimétrie (Corke & Li, 1999). Une suspension de farine (0,3 g + 15 ml d'eau distillée) est chauffée de 50 °C à 95 °C, puis maintenue à 95 °C pendant 15 min sous agitation maximale et centrifugée à 2800 rpm à l'aide d'une centrifugeuse (TAI SHI LI XIN JI TDL-4, en Chine). Le surnageant est prélevé et séché à 105 °C pendant 24 h puis le résidu est pesé. Le pourcentage de farine dissous dans l'eau détermine la solubilité (S) :

$$S(\%) = (E \times 100) / m$$

E = masse du surnageant après étuvage et m = masse de l'échantillon prélevé.

Le culot est immédiatement pesé, séché à l'étuve (MEMMERT UM 500, MEMMERT GmbH+Co.KG, Allemagne-Schwabach) à 105 °C pendant 24 h et repesé. Le pouvoir de gonflement (G) est déterminé selon la formule :

$$G(\text{ge/gMS}) = (mh - ms) / ms$$

mh = masse du culot humide ; ms = masse du culot séché à l'étuve (g).

Analyses sensorielles

Préparation des bouillies. Des essais préliminaires avec des dégustateurs (non entraînés) ont permis de retenir la cuisson de 50 g de farine dans 250 ml d'eau du robinet. Cette quantité a tenu compte de la fluidité de la bouillie. La cuisson a duré 7 min sur feu doux et du sucre de table a été ajouté au taux de 6% en fin de cuisson. Les bouillies ont été mises à refroidir à la température ambiante dans la salle de préparation jusqu'à 50°C environ avant d'être servies.

Tests d'acceptabilité. Le panel est constitué de 60 personnes non entraînées (jeunes filles et garçons, femmes et hommes adultes), recrutées sur la base de leur disponibilité. Les échantillons de bouillies codés (avec 3 chiffres) sont présentés simultanément à chaque panéliste dans un ordre randomisé. Le plaisir perçu par chaque panéliste est marqué sur une échelle hédonique à 9 points. Les notes allant de 9 (extrêmement plaisant) à 1 (extrêmement déplaisant) sont affectées aux différentes modalités de l'échelle (Meilgaard et al., 1999).

Test descriptif. La méthode consiste à évaluer et quantifier les descripteurs appropriés (odeur, goût, consistance, couleur et texture) selon une échelle de catégorie. Les bouillies préparées à base des farines de banane plantain enrichies ou non à 10, 15 et 20% de farine d'anacarde ainsi que celles des farines infantiles de commerce BLEDINE et FARINOR sont présentées à un jury de 10 personnes recrutées et initiées à la méthodologie d'analyse. Ces bouillies sont codées (avec 3 chiffres) et présentées simultanément dans un ordre randomisé (Meilgaard et al., 1999).

Analyses statistiques des données. L'analyse statistique a été réalisée par le logiciel « Statistical Program for Social Sciences » version 7.1. La variabilité des paramètres étudiés a été testée selon le taux d'enrichissement. Une analyse de variance (ANOVA) a été effectuée et la significativité des différences entre les échantillons de farines a été déterminée au risque d'erreur $\alpha=0,05$ selon le test de Duncan.

3. RÉSULTATS

3.1. Caractéristiques physico-chimiques des farines

Les caractéristiques physico-chimiques et leurs valeurs recommandées des farines sont présentées dans le tableau 1. Tous les paramètres physicochimiques des farines composées présentent une différence significative ($p<0,05$) comparés aux paramètres de la farine de banane. À l'analyse de ces résultats, une augmentation de la teneur en cendres, en fibres, en protéines et en matières grasses est observée au fur et à mesure que le taux de substitution augmente. Les teneurs varient respectivement de $2,00\pm 1\%$ à $2,27\pm 0,01\%$ pour les cendres, de $0,59\pm 0,02\%$ à $1,55\pm 0,2\%$ pour les fibres. Les effets les plus significatifs de la fortification ($p<0,05$) sur la composition chimique des farines de banane plantain se situent au niveau des teneurs en protéines et en lipides. Les teneurs en protéines ont varié respectivement de $3,33\pm 0,02\%$ à $9,33\pm 0,05\%$ à 20% d'incorporation de farine d'anacarde. Celles de la farine d'anacarde et de la farine de commerce BLEDINE présentent des teneurs en protéines respectivement de $24,18\pm 0,01\%$ et $13,69\pm 0,05\%$. Par contre, la teneur en glucides totaux a diminué. Les teneurs en glucides totaux sont passées de $87,63\pm 0,97\%$ dans la farine de plantain à $77,33\pm 0,07\%$ à 20% d'incorporation de la farine d'amandes de cajou. Quant au taux d'humidité des farines, une diminution proportionnellement au taux d'incorporation de la farine d'anacarde a aussi été observée. Ces valeurs sont comprises entre $6,43\pm 0,05\%$ et $3,06\pm 0,01\%$ de farine.

La fortification à l'anacarde entraîne une augmentation de la teneur en polyphénols totaux proportionnellement au taux d'incorporation. Les teneurs en polyphénols sont comprises entre $320,61\pm 0,00$ mgEAG/100 gMS et $454,22\pm 0,34$ mgEAG/100 gMS. Les teneurs en polyphénols des farines de plantain enrichies ou non à l'anacarde sont significativement supérieures ($p<0,05$) à celle de la farine de commerce BLEDINE ($173,87\pm 0,60$ mgEAG/100 gMS).

3.2. Teneurs en minéraux et en vitamine C des farines

La fortification à l'anacarde a eu des effets variés sur les concentrations minérales de la farine de banane. Les teneurs en minéraux des mélanges ont augmentés à mesure que la proportion d'anacarde augmente. Les résultats ont également montré que les teneurs en minéraux des farines sont variables et sont pour la plupart inférieures à celle de la farine témoin BLEDINE.

Tableau 1. Composition chimique des farines à base de banane plantain et de noix de cajou – *Chemical composition of the flours containing banana plantain and cashew nut.*

Formulations à base de farines de banane plantain et de noix de cajou							
Paramètres	FB	FCNF	FB10FCNF	FB15FCNF	FB20FCNF	BLELINE	NORME
Humidité (%)	6,43±0,05f	3,06±0,23a	5,70±0,1e	5,26±0,05d	4,70±0,05c	4,16±0,05b	≤5
Protéines (%)	3,33±0,02a	24,18±0,01f	7,15±0,02b	8,03±0,03c	9,33±0,05d	13,69±0,05e	11 – 21
Lipides (%)	0,59±0,05a	29,25±0,02f	2,92±0,01b	4,92±0,02c	6,39±0,04e	6,01±0,02d	8
Glucides (%)	87,63±0,97e	39,83±0,90a	82,13±0,09d	79,62±0,04c	77,33±0,07a	72,81±0,28b	64± 4
Fibres (%)	0,59±0,02a	4,97±0,01f	1,22±0,11c	1,40±0,03d	1,55±0,2e	2,29±0,05b	≤5*
Cendres (%)	2,00±1a	3,66±1,15ab	2,08±0,01ab	2,15±0,01ab	2,27±0,01ab	3,33±0,57c	≤3*
Polyphénol (mgEAG/100gMS)	320,61±0,00c	481,36±0,95a	353,47±0,61bc	387,63±0,60abc	454,22±0,34ab	173,87±0,60d	-
Potassium (mg/100 g)	350,75±0,46a	206,01±0,35e	325,75±0,16b	319,25±0,13c	281,25±0,15d	167,5±0,07f	408,7
Calcium (mg/100 g)	24,96±0,15f	68,36±0,07b	27,07±0,15e	28,20±0,06d	30,24±0,05c	159,75±0,15a	341,2
Zinc (mg/100 g)	0,61±0,23a	0,40±0,54a	0,58±0,11a	0,54±0,12a	0,49±0,25a	0,97±0,18a	3,7
Magnésium (mg/100 g)	34,50±0,17e	88,25±0,33a	42,75±0,04d	45,25±0,08c	47,01±0,06b	23,24±0,26f	48,7
Manganèse (mg/100 g)	0,09±0,21d	0,18±0,12b	0,11±0,12cd	0,12±0,12c	0,13±0,27c	0,95±0,17a	8,5
Vitamine C (mg/100g)	0,51±0,44a	3,77±00c	1,03±0,03a	1,29±0,18ab	2,06±0,21b	25,13±0,9d	20

Toutes ces valeurs sont les moyennes de trois déterminations. Les notes de la même ligne portant en exposant des lettres différentes sont statistiquement différentes à $p \leq 0,05$. FB=Farine de banane plantain; FCNF=Farine d'anacarde; FB10FCNF=Farine de banane plantain enrichie à 10% d'anacarde; FB15FCNF=Farine de banane plantain enrichie à 15% d'anacarde; FB20FCNF=Farine de banane plantain enrichie à 20% d'anacarde; Blédine=Farine du commerce – *All these values are the averages of three determinations. The notes of the same line with different letters superscripted are statistically different at $p \leq 0,05$. FB = plantain banana flour; FCNF = cashew nut flour; FB10FCNF = plantain banana flour enriched with 10% cashew nuts; FB15FCNF = plantain banana flour enriched with 15% cashew nuts; FB20FCNF = plantain banana flour enriched with 20% cashew nuts; Bledine = commercial flour.*

Quant aux teneurs en vitamine C des farines formulées, elles ont très peu varié et sont restées significativement inférieures à celle de la farine témoin BLELINE (25,13±0,9 mg/100 g). Les teneurs en vitamine C des farines oscillent entre 1,03±0,03 mg/100 g et 2,06±0,21 mg/100 g. Celles des farines de banane et d'anacarde sont respectivement de 0,51±0,44 mg/100 g et 3,77±00 mg/100 g.

3.3. Propriétés fonctionnelles

Les caractéristiques fonctionnelles des farines sont présentées dans le tableau 2. Tous les paramètres fonctionnels des farines composées présentent une différence significative ($p < 0,05$) comparés aux paramètres de la farine de banane. La présente étude montre que l'enrichissement entraîne une diminution proportionnellement au taux d'incorporation d'anacarde du pouvoir de gonflement des farines de plantain. Les valeurs de la capacité de gonflement des différentes farines passent de 8,78±0,01 ge/gMS à 8,06±0,01 ge/gMS à 20% d'incorporation. Quant aux valeurs de l'indice de solubilité à l'eau, elles ont suivi la même tendance que la capacité de gonflement. Ces valeurs sont comprises entre 20,33±1,54 % et 14,66±0,57 %. Malgré la diminution significative des capacités de gonflement des farines formulées, elles sont restées supérieures à celle de la farine témoin (4,34±0,01 ge/gMS).

Une augmentation de la valeur énergétique est observée au fur et à mesure que le taux de substitution augmente. Les valeurs en énergie métabolisable des farines oscillent entre 369,23±1,77 et 404,22±0,52 kcal/100 g de farine et celle de la farine témoin de commerce BLELINE est de 400,09±1,44 kcal/100 g. Quant au pH, il a très peu varié et est resté inférieur à 7 malgré l'augmentation du taux de substitution en farine d'anacarde. Les pH des farines sont compris entre 5,39±0,11 et 6,15±0,05.

Tableau 2. Propriétés fonctionnelles des farines à base de banane plantain et de noix de cajou – *Functional properties of the flours containing banana plantain and cashew nut.*

Paramètres				
Formulations	pH	Énergie (kcal/100g)	Gonflement (ge/gMS)	Solubilité (%)
FB	5,39±0,11a	369,23±1,77a	8,78±0,01e	20,33±1,54c
FCNF	6,15±0,05e	519,33±1,79e	-	-
FB10FCNF	5,46±0,05b	383,47±0,51b	8,26±0,01d	18,39±1,73b
FB15FCNF	5,50±0,05c	394,92±0,40c	8,11±0,01c	16,66±0,57ab
FB20FCNF	5,57±0,01d	404,22±0,52d	8,06±0,11b	14,66±0,57a
BLEDINE	6,24±0,1c	400,09±1,44d	4,34±0,01a	33,33±0,15d
NORME	-	344,4 - 473,81	-	-

Toutes ces valeurs sont les moyennes de trois déterminations. Les notes de la même colonne portant en exposant des lettres différentes sont statistiquement différentes à $p \leq 0,05$ – *All these values are the averages of three determinations. The notes of the same line with different letters superscripted are statistically different at $p \leq 0.05$.*

3.4. Acceptabilité des bouillies

L'acceptabilité globale des bouillies, présentée dans le tableau 3, montre que les bouillies ont été diversement appréciées. Ce tableau montre que les bouillies des farines de plantain additionnées de farine d'anacarde ont des niveaux d'acceptabilité supérieurs à celle ne contenant pas d'anacarde. Les bouillies de farine de plantain additionnées de 15 % d'anacarde et de BLEDINE sont les plus appréciées de toutes les bouillies. Ces dernières ont des notes qui équivalent au niveau d'acceptabilité modérément plaisant (note de 7). Il n'a pas été observé une différence significative ($p < 0,05$) entre les bouillies à base des farines de plantain additionnées de 15 % d'anacarde et de BLEDINE. Toutes les autres bouillies, y compris celle à base de farine de plantain uniquement, sont légèrement acceptées (note de 6) sauf FARINOR qui a une acceptabilité modérément déplaisante (note 4).

Tableau 3. Acceptabilité globale des bouillies de farines composites à base de plantain/cajou déshuilé et de farines témoins – *Overall acceptability of porridges of plantain/cashew composites flours and control flours.*

Bouillies de farines	Appréciation générale
FB	6,10±1,21b
FB10FCNF	6,54±1,21ab
FB15FCNF	7,07±1,51a
FB20FCNF	6,67±1,52ab
BLEDINE	7,36±1,52a
FARINOR	4,28±1,78c

Les notes de la même colonne portant en exposant des lettres différentes sont statistiquement différentes à $p \leq 0,05$ selon le test de Duncan – *All these values are the averages of three determinations. The note of the same line with different letters superscripted are statistically different at $p \leq 0.05$ following Duncan test.*

3.5. Profils sensoriels

Les profils sensoriels des bouillies à base des farines de commerce et des farines plantain/anacarde (FB10FCNF, FB15FCNF et FB20FCNF) sont présentés dans la figure 3. Les résultats des tests descriptifs montrent que les critères sensoriels qui ont influencé l'acceptabilité des bouillies sont le goût, l'arôme, la couleur et la texture. Le goût sucré des formulations est plus prononcé que celui des farines de commerce. La farine de plantain contenant 15 % de farine d'anacarde, présentant des caractéristiques proches de celle de BLEDINE, est la plus cotée pour les caractères lisse et crémeux des bouillies avec persistance de l'odeur de banane. Une diminution de la viscosité est observée proportionnellement à l'incorporation de l'anacarde, ce qui se traduit par la réduction de la note des panelistes.

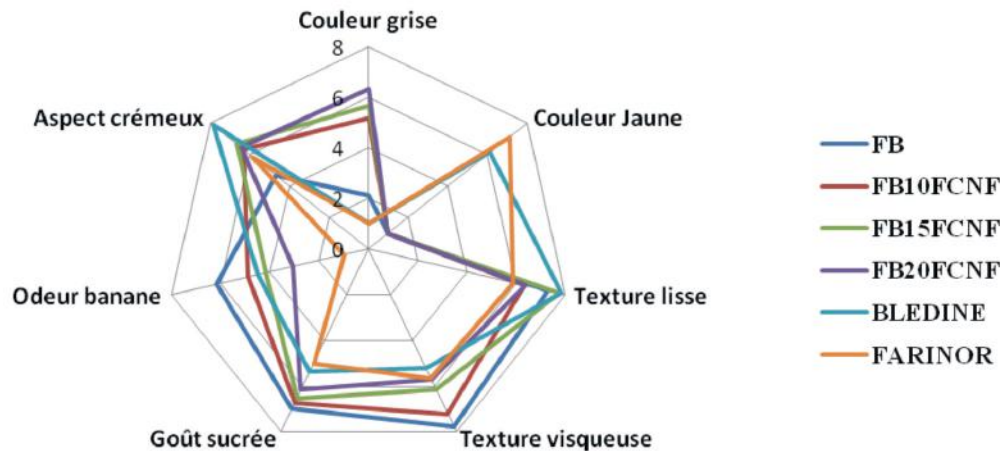


Figure 3. Profils sensoriels des bouillies à base de plantain et de cajou et des farines témoins – *Sensory profiles of plantain/cashew porridges and control flours.*

4. DISCUSSION

Les résultats des analyses physico-chimiques des farines montrent que celles-ci ont des taux d'humidité inférieurs aux 12 % recommandés (RDA, 2008). La teneur en eau des farines infantiles formulées se situent dans le même ordre de grandeur de $5,22 \pm 0,68$ à $4,18 \pm 0,21$ g/100 gMS, pour des farines infantiles formulées à base d'igname Bètè Bètè et de soja (Soro et al., 2013). En effet, des études scientifiques ont indiqué l'importance de la faible teneur en humidité des aliments de complément, pour augmenter la composition nutritive (Amankwah et al., 2009) et la durée de conservation du produit (Kikafunda et al., 2006). Il est évident que la faible teneur en humidité des produits alimentaires empêche des activités enzymatiques, biochimiques des micro-organismes d'altérations, et empêche de ce fait la détérioration des aliments pendant le stockage (Kikafunda et al., 2006).

L'augmentation de la teneur en protéines des mélanges pourrait être attribuée à des teneurs élevées en protéines dans la noix de cajou déshuilée (Emelike et al., 2015). Cette constatation a été faite lors d'une autre étude dans laquelle la farine de cajou a été utilisée en complément du popcorn à base de maïs (Ijarotimi et al., 2012). Ces résultats sont supérieurs aux teneurs oscillant entre $5,60 \pm 0,01$ % et $6,40 \pm 0,02$ % lors de la fortification de la banane plantain au soja (Abioye et al., 2011). La protéine étant l'un des éléments nutritifs requis le plus important dans les aliments de sevrage, la farine d'anacarde pourrait servir dans la formulation d'aliments de complément à haute valeur protéique. Tenant compte des considérations de FAO/OMS, une teneur en protéines de 11 à 21 % est requise pour la complémentarité maximale des acides aminés des aliments et la croissance des nourrissons (FAO/OMS, 2008). Ainsi, Tenant compte des considérations précédentes, les formulations ne satisferont pas encore à la demande en protéines des nourrissons. Toutefois, cette augmentation de la teneur en protéines dans les mélanges sera d'une importance nutritionnelle dans la plupart des pays en développement, la Côte d'Ivoire inclus, où beaucoup de gens peuvent difficilement se procurer des aliments riches en protéines en raison des coûts.

Les teneurs en matière grasse de l'ensemble des échantillons ont certes augmenté mais sont restées inférieures au niveau de graisse recommandée de 8 % pour les aliments de sevrage (FAO/OMS, 2006). Cette augmentation de la teneur en matières grasses serait due au fait que la noix de cajou est une oléagineuse et le plantain un fruit. Ces résultats correspondent à ceux obtenus lors de la fortification de la banane plantain au soja (Abioye et al., 2011). La faible teneur en matières grasses des formulations serait imputable au procédé de traitement de la noix de cajou (Emelike et al., 2015). Cependant, cette faible teneur en matières grasses pourrait contribuer à l'augmentation de la durée de vie des formulations en diminuant les chances de rancissement.

Les faibles teneurs en fibres des farines observées sont comparables à celles obtenues lors de la fortification de la banane plantain au soja (Abioye et al., 2011). Il est recommandé un faible niveau de la teneur en fibres dans les aliments complémentaires (Olorunfemi et al., 2006), la faible teneur en fibres dans l'alimentation complémentaire réduisant l'encombrement de la nourriture et encourageant une haute digestibilité et l'absorption des nutriments tels que les protéines et les minéraux. Les teneurs en fibres des mélanges étaient conformes à la valeur (≤ 5 g/100 g) recommandée (FAO/OMS, 2006) ce qui permettrait aux enfants de consommer la plupart des échantillons alimentaires afin de satisfaire leur énergie quotidienne et à d'autres exigences nutritives essentielles (Eka & Edijala, 1972).

L'augmentation de la teneur en polyphénols des formulations est supérieure à celle obtenue lors de la fortification des farines d'ignames au soja (Soro et al., 2013). Les composés phénoliques ont des effets potentiels sur la santé humaine. En tant qu'antioxydants naturels, ils participent à la prévention de diverses maladies telles que le cancer et les maladies cardio-vasculaires (Kumar et al., 2006 ; Sikwese & Duodu, 2007). En outre, les composés phénoliques ont des propriétés contre le stress oxydant, contre les radicaux libres et contre le vieillissement cellulaire. Ainsi, de par leurs teneurs élevées en polyphénols totaux, les farines formulées pourraient être bénéfiques pour lutter à la fois contre la malnutrition et contre les maladies nutritionnelles (cancer, obésité, diabète de type I) (Yang et al., 2006).

Les résultats indiquent également que les farines infantiles produites ont des teneurs en vitamine C inférieures à la valeur recommandée de 20 mg/100 g (FAO/WHO, 1991). La faible teneur en vitamine C des formulations serait imputable à son caractère thermosensible. Les faibles densités en vitamine C des farines infantiles produites pourraient induire de nombreuses conséquences pour le bien-être du nourrisson. En effet, diverses fonctions biologiques fondamentales sont attribuées à la vitamine C. La vitamine C est un cofacteur essentiel dans diverses réactions biologiques et comme antioxydant en phase aqueuse (Naziroglu et al., 2005). De ce fait, l'ajout d'une source végétale de vitamines dans les farines infantiles produites contribuerait à renforcer le système immunitaire et le bien-être des nourrissons.

L'augmentation significative de la valeur énergétique des farines formulées serait imputable à l'augmentation de la teneur lipidique des formulations suite aux fortes teneurs en lipides des farines de cajou. Les valeurs énergétiques des farines infantiles formulées ont été supérieures à celles rapportées par Ijaratomi et al. (2009) ($361 \pm 0,01$ à $384,4 \pm 1,3$ kcal/100 g) pour des farines infantiles formulées à base de banane plantain et d'arachides grillées et se situent dans le même ordre de grandeur que celles rapportées par Zannou et al. (2011) dans les farines infantiles respectives (Attiéké+Soja) (394 kcal) et (Manioc+Soja) (390 kcal). Les densités énergétiques des farines infantiles formulées se situent dans la marge recommandée pour les farines infantiles (344,4 à 473,81 kcal/100 g) (Lutter, 2003). Cela est d'autant plus important que l'effet très positif de l'utilisation d'aliments de complément de haute valeur énergétique sur les ingérés énergétiques des enfants a été mis en évidence par de nombreux auteurs, en particulier Brown et al. (1998). Ces résultats ont été confirmés par les résultats de nombreux chercheurs (Aremu et al., 2006 ; Emelike et al., 2015 ; Traoré et al., 2016) selon lesquels la farine d'amandes de cajou, en plus d'être une bonne source de protéines, est une source importante d'énergie.

L'étude a également montré que malgré une augmentation significative suite à l'incorporation de la farine d'amandes de cajou, les teneurs en minéraux de tous les mélanges ne correspondait pas à la valeur recommandée (FAO/OMS, 2006) pour les préparations pour nourrissons. De tels déficits en zinc et en calcium peuvent avoir des conséquences néfastes sur la croissance, la santé et le développement cognitif pendant l'enfance. De ce fait, la présente étude a ainsi démontré la nécessité pour ces farines d'être fortifiées en sources végétales de minéraux, en l'occurrence des légumes, afin de répondre aux besoins estimés selon la FAO/OMS (FAO/OMS, 2006) pour le zinc, le calcium et autres minéraux et couvrir les besoins nutritionnels des nourrissons et des jeunes enfants.

La diminution proportionnelle de la capacité de gonflement aux taux d'incorporations de l'anacarde serait imputable à la diminution progressive du taux de glucides et permettrait de préparer des bouillies concentrées en farines et de fluidité adaptée aux enfants (Soro et al., 2013). Des échantillons de farines possédant des propriétés faibles de gonflement quand ils sont constitués en bouillies ont une densité nutritive plus élevée que les échantillons possédant des hautes propriétés de gonflement (Zannou et al., 2011).

La qualité organoleptique des bouillies constitue aussi un facteur important dans l'appréciation de la qualité marchande des farines. Les bouillies de farine de plantain enrichies à l'anacarde sont mieux acceptées que la bouillie de farine de banane. Ces résultats sont en accord avec ceux d'Achi (1999) qui présentent l'enrichissement comme un moyen traditionnel d'amélioration de la qualité nutritionnelle et organoleptique des aliments infantiles et ceux destinés aux adultes. Les farines de commerce étant des produits finis, elles contiennent des additifs (du sucre, du lait) dans leurs formulations qui pourraient expliquer leur aspect plus crémeux.

5. CONCLUSIONS

La fortification de la farine de plantain à des niveaux de 10 à 20 % de farine d'amande de cajou a entraîné une augmentation notable des teneurs en protéines et en cendres qui pourrait être avantageuse pour la Côte d'Ivoire, où la majorité de la population peut difficilement se procurer des aliments à valeur protéinique élevée en raison des coûts. Certains de nos résultats ont révélé que l'incorporation de noix de cajou dans les farines de banane améliore de manière significative les caractéristiques sensorielles des bouillies et réduit la viscosité. Cette réduction de la viscosité permettrait de préparer des bouillies concentrées en farines et de fluidité adaptée aux enfants. Les résultats des tests sensoriels ont permis de limiter à 15% le niveau d'incorporation de la farine d'anacarde. Tenant compte

de ces considérations, la farine d'amande de cajou pourrait servir dans la formulation d'aliments de complément. Toutefois, pour être utilisée comme produit de lutte contre la malnutrition, il faudrait nécessairement la compléter avec des légumes locaux disponibles, riches en vitamines et minéraux.

Bibliographie

- Abioye V.F., Ade-Omowaye B.I.O., Babarinde G.O. & Adesigbin M.K., 2011. Chemical, physico-chemical and sensory properties of soy-plantain flour. *African Journal of Food Science*, **5**(4), 176-180.
- Achi O.K., 1999. Quality attributes of fermented yam flour supplemented with processed soy flour. *Plant food for Human Nutrition*, **54**, 151-158.
- Akinhanmi T.F. & Atasié V.N., 2008. Chemical composition and physicochemical properties of cashew nut (*Anacardium occidentale*) oil and cashew nut shell liquid. *Journal of Agriculture, Food and Environnement*, **2**(1), 1-10.
- Amankwah E.A. et al., 2009. Effect of fermentation and malting on the viscosity of maize-soyabean weaning blends. *Pakistan Journal of Nutrition*, **8**(10), 1671-1675.
- AOAC, 1990. *Official methods of analysis, 15th Edn.* Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, 774 p.
- Aremu M.O., Olonisakin A., Bako, D.A. & Madu P.C., 2006. Compositional studies and physicochemical characteristics of cashew nut (*Anacardium occidentale*) flour. *Pakistan journal of Nutrition*, **5**(4), 328-333.
- Black R.E., 2008. Global, regional and national causes of child mortality in 2008: a systematic analysis. *Lancet*, **5**(375), 1969-87.
- Bonnet-Bruno C., 2012. *Valorisation de la banane Cavendish FWI pour l'obtention de molécules d'intérêts biologiques.* Thèse de doctorat : Sciences de la vie, Université des Antilles et de la Guyane, 186 p.
- Brown K.H., Dewey K.G. & Allen L.H., 1998. *Complementary feeding of young children in developing countries: a review of current scientific knowledge.* WHO, Geneva.
- CCA, 2016. Conseil du coton et de l'anacarde en Côte d'Ivoire. Publié le lundi 15 février.
- Corke H. & Li J., 1999. Physicochemical properties of normal and low-amylose job's Tears (*Coix lachryma-job L.*). *Starch cereal chem*, **76**(3), 413-416.
- Dooshima S., Michael A.I. & Dick I.G., 2015. Nutritional evaluation of complementary food formulations from maize, soybean and peanut fortified with *Moringa oleifera* leaf powder. *Food and Nutrition Sciences*, **6**, 494-500.
- Dupont C., 2005. La diversification alimentaire, cahier. *Nutr. Diet.*, **40**, 137-250.
- EDSCI-III, 2012. *Enquête Démographique et de Santé et à Indicateurs Multiples.* Côte d'Ivoire 2011-2012 Rapport Préliminaire, 42 p.
- Eka O.U. & Edijala J.K., 1972. Chemical composition of some traditionally prepared Nigerian foods. *Nigerian Journal of Science*, **6**, 157-162.
- Emelike N.J.T., Barber L.I. & Ebere C.O., 2015. Proximate, mineral and functional properties of defatted and undefatted cashew (*Anacardium occidentale* linn.) kernel. *European Journal of Food Science and Technology*, **3**(4), 11-20.
- Falade K.O., Chime J.J. & Ogunwolu S.O., 2004. Water sorption isotherms and heat of sorption of cashew nuts pretreated by different methods. *Journal of Agriculture, Food and Environnement*, **2**(2), 83-7.
- FAO/OMS, 2008. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires. Commission du Codex Alimentarius, 32^{ème} session Rome (Italie), 29 juin-4 juillet 2009. Rapport de la 30^{ème} session du comité du codex sur la nutrition et les aliments diététiques ou de régime.
- FAO/OMS. 2006. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires. Rapport des vingt-septième sessions du comité du codex sur la nutrition et les aliments diététiques ou de régime. ALINOM 06/29/26, 105 p.
- FAO/WHO, 1991. Guidelines on Formulated Supplementary Foods for Older Infants and Young Children. *Codex Alimentarius* (CODEX CAC/GL 08), 4, FAO/WHO Joint Publications.
- Ijarotimi O.S., Oyewo M.T. & Oladeji B.S., 2009. Chemical, functional and sensory properties of roasted bambara groundnut (*Vigna subterranean L.* Verdc) and cooking banana (*Musa spp.*, ABB genome) weaning diet. *African Journal of Food Science*, **3**(5), 139-146.
- Ijarotimi O.S., Oluwalana I.B. & Ogunedojutimi M.O., 2012. Nutrient composition, functional, sensory and microbial status of popcorn-based (*Zea mays everta*) complementary foods enriched with cashew nut (*Anacardium occidentale L.*) flour. *African Journal of Food Science*, **12**(5), 6424-6446.
- Kikafunda J.K., Abenakyo L. & Lukwago F.B., 2006. Nutritional and sensory properties of high energy/nutrient dense composite flour porridges from germinated maize and roasted beans for child-weaning in developing countries: a case for Uganda. *Ecology of Food and Nutrition*, **45**, 279-294.
- Kouamé A., 2013. Recherche sur la banane plantain : de nouvelles variétés et techniques de transformations disponibles. www.Fratmat.info. Consulté le 06 Mai 2014.

- Kumar G.S., Nayaka H., Dharmesh S.M. & Salimath P.V., 2006. Free and bound phenolic amla (*Emblic officinalis*) and turmeric (*Curcuma longa*). *Journal of Food Composition Anal.*, **19**, 446-452.
- Lutter C., 2003. Meeting the challenge to improve complementary feeding. *SCN News*, **27**, 4-6.
- Martinez M.O. et al., 2009. Unripe banana flour in the ingredient to the increase of carbohydrate indigestible paste. *Food Chemistry*, **113**, 121-126.
- Meilgaard C. & Carr B.T., 1999. *Sensory Evaluation Techniques*. 3rd Edn., CRC Press, New York.
- Nascimento A.N., Naozuka J. & Oliveira P.V., 2010. *In vitro* evaluation of Cu and Fe bioavailability in cashew nuts by off-line coupled SEC-UV and SIMAAS. *Microchemical Journal*, **96**, 58-63.
- Naziroglu M. & Butterworth P.J., 2005. Protective effects of moderate exercise with dietary vitamin C and E on blood antioxidative defense mechanism in rats with streptozotocin-induced diabetes. *Journal of Applied Physiology*, **30**, 172-85.
- Ogunwolu S.O. et al., 2009. Functional properties of protein concentrates and isolates produced from cashew (*Anacardium occidentale* L.) nut. *Food Chemistry*, **115**, 852-858.
- Olorunfemi O.B., Akinyosoye F.A. & Adetuyi F.C., 2006. Microbial and nutritional evaluation of infant weaning food from mixture of fermented food substrates. *Research Journal of Biological Science*, **1**, 20-23.
- OMS, 2000. *Prise en charge de la malnutrition sévère*. Genève, OMS, 63 p.
- OMS, 2004. *Principe directeur pour l'alimentation des enfants âgés de 6 à 24 mois qui ne sont pas allaités au sein*, 44 p.
- Pérez-Sira E., 1997. Characterization of starch isolated from plantain (*Musa paradisiaca normalis*). *Starch/Stärke*, **49**, 45-49.
- Perrin A., Ricau P. & Rabany C., 2015. *Étude de la filière banane plantain en Côte d'Ivoire*. Comité Français pour la Solidarité Internationale, 84 p.
- Pongracz G., 1971. Neue potentiometrische Bestimmungsmethoden für Ascorbinsäure und dessen Verbindungen Fresenius. *Z. Anal. Chem*, **253**, 271-274.
- RDA, 2008. Recommended dietary allowance of vitamins and other nutrients. <http://www.anyvitamins.com/rda.htm>. (accessed 17th, January).
- Sikwese F.E. & Duodu K.G., 2007. Antioxidant effect of crude phenolic extract from sorghum bran in sunflower oil in the presence of ferric ions. *Food Chemistry*, **104**, 324-331.
- Soro S., Konan G., Elleingand E., N'guessan D. & Koffi E., 2013. Formulation d'aliments infantiles à base de farines d'igname enrichies au soja. *African Journal of Food agriculture nutrition and development*, **3**(5), 8313-8339.
- Sze-Tao K.W.C. & Sathe S.K., 2004. Functional properties and *in vitro* digestibility of Almond (*Prunus dulcis* L) protein isolate. *Food chemistry*, **69**, 153-160.
- Traoré S., Adouko O.A.A., Traoré S., Agbo E.A. & Kouakou B., 2016. Functional properties and *in vitro* digestibility of cashew nut flour. *Journal of Food and Nutrition Research*, **4**(5), 282-288.
- WHO, 2009. Proceedings of the WHO UNICEF WFP UNHCR informal consultation on the management of moderate malnutrition in under-5 children. Geneva, Oct. 2008. *Food and Nutrition Bulletin*, **30**(3), 464-474.
- Yang R.Y. & Tsou S.C.S., 2006. Enhancing iron bioavailability of vegetables through proper preparation principles and applications. *Journal of International Cooperation*, **1**, 107-119.
- Zannou T., Bouafou K., Kouame G. & Konan A., 2011. Étude de la valeur nutritive de farines infantiles à base de manioc et de soja pour enfant en âge de sevrage. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, **80**, 748-758.

19. Clarification du jus de pomme de cajou (*Anacardium occidentale* L.) par la gélatine et détermination des paramètres physico-chimiques et biochimiques lors de sa conservation à différentes températures

Parfait Kouassi Kan Kouassi, Doudjo Soro*, Youssouf Kisselminan Kone, Emmanuel Nogbou Assidjo, Benjamin Kouassi Yao

Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny, Laboratoire des Procédés Industriels, de Synthèse, de l'Environnement et des Énergies Nouvelles, BP 1313 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

* E-mail auteur correspondant : s.doudjo@gmail.com

Description du sujet. La pomme de cajou n'est pas valorisée industriellement en Côte d'Ivoire alors qu'elle présente un fort potentiel nutritionnel.

Objectifs. Dans ce contexte, cette étude s'intéresse à la valorisation des pommes de cajou en jus. Il s'est agi au cours de cette étude d'évaluer l'impact de la clarification par la gélatine sur le jus brut et suivre les paramètres physico-chimiques au cours de la conservation à différentes températures.

Méthode. Ainsi, la méthodologie a consisté à produire du jus brut à partir des pommes de cajou, ensuite à le clarifier avec de la gélatine et enfin à le pasteuriser. Afin d'évaluer l'impact des opérations unitaires, les principaux paramètres physico-chimiques et biochimiques ont été déterminés sur le jus brut, sur le jus clarifié et sur le jus clarifié et pasteurisé. Pour étudier l'influence du temps et de la température de conservation sur la qualité du jus, les mêmes paramètres ont été déterminés à 4, 20 et 35 °C toutes les semaines et durant trois mois.

Résultats. Les résultats montrent que la gélatine permet d'éliminer plus de 99 % des tanins condensés. La pasteurisation, la température et le temps de conservation ont une influence sur la dégradation de la vitamine C du jus de pomme de cajou. En effet, la pasteurisation dégrade 16 % de la teneur en vitamine C, tandis que la conservation à 35 °C pendant trois mois, dégrade 98 % de cette vitamine, contre 60 % et 58 % pour des jus entreposés respectivement à 20 et 4 °C.

Conclusions. Cette étude montre que la pasteurisation, la température et le temps de conservation ont une influence sur la qualité du jus.

Clarification of cashew apple juice (*Anacardium occidentale* L.) by gelatin and determination of physicochemical and biochemical parameters when stored at different temperatures

Description of the subject. Cashew apple is not industrially valued in Côte d'Ivoire, although it has a high nutritional potential.

Objectives. In this context, this study focuses on the valuation of cashew apples in juice. The purpose of this study was to evaluate the impact of gelatin clarification on raw juice and to monitor physico-chemical parameters during storage at different temperatures.

Method. The methodology consisted of producing raw juice from the cashew apples, then to the clarified with gelatin and finally to the pasteurized. In order to evaluate the impact of unit operations, the main physico-chemical and biochemical parameters were determined on raw juice, clarified juice and clarified and pasteurized juice. The same parameters were determined at 4, 20 and 35 °C weekly and for three months to study the influence of time and storage temperature on juice quality.

Results. The results show that gelatin removes more than 99% of the condensed tanins. Pasteurization, temperature and storage time have an influence on the degradation of vitamin C in cashew apple juice. Indeed, pasteurization degrades 16% of the vitamin C content; While storage at 35 °C for three months degrades 98% of this vitamin, against 60% and 58% for juices stored at 20 °C and 4 °C respectively.

Conclusions. This study shows that pasteurization, temperature and storage time have an influence on the quality of the juice.

1. INTRODUCTION

Les productions fruitières, en Côte d'Ivoire, connaissent une croissance significative grâce à l'amélioration des techniques culturales (Pinto de Abreu et al., 2005). Par conséquent, les fruits produits abondent à certaines périodes de l'année. Cette surproduction saisonnière entraîne le plus souvent le pourrissement d'une grande quantité de la production à cause de l'insuffisance ou du manque de moyens de transformation ou de conservation. L'exemple de la pomme de cajou est d'ailleurs très édifiant.

Introduit en Côte d'Ivoire dans les années 1960 afin de lutter contre l'érosion et l'avancée du désert, l'anacardier fait aujourd'hui partie des cultures de rente après le cacao. Originaire des régions tropicales du Brésil, l'anacardier appartient à la famille des Anacardiaceae, au genre *Anacardium* et à l'espèce *occidentale*. Cet arbre est actuellement présent dans presque toutes les régions tropicales du monde. Toutefois, la grande majorité de la production commercialisée se concentre dans quatre grandes zones : le Sud-Est de l'Asie, l'Afrique de l'Ouest, l'Afrique de l'Est et le Brésil (Pinto de Abreu, 2012). L'anacardier, selon les conditions climatiques, peut être cultivé pour sa fructification ou pour le reboisement. Sa durée de vie est d'environ 30 ans. En Afrique de l'Ouest et orientale, son succès est dû à sa grande rusticité et à ses multiples produits. Il donne deux fruits : la noix de cajou, considérée comme le vrai fruit, et la pomme de cajou qui est le faux fruit. Ces deux fruits forment l'anacarde (Anonyme, 1993) (Figure 1).



Figure 1. Photographie de l'anacardier (A) et de l'anacarde (B) – *Picture of cashew tree (A) and of cashew (B).*

En Côte d'Ivoire, l'anacardier est essentiellement cultivé pour la noix de cajou. La noix est un akène de couleur grise ou brun gris à maturité, réniforme et mesurant en moyenne 2,7 cm de long sur 2,1 cm de large et 1,6 cm d'épaisseur. Son poids peut varier de 3 à 10 g, en moyenne 5 g, mais certaines noix peuvent atteindre 20 g au Brésil (Lautié et al., 2001).

La noix de cajou fournit deux produits principaux. Le premier, l'amande de cajou, est obtenu après décortilage de la noix (Figure 2). L'amande est consommée salée ou pimentée, ou est utilisée dans l'industrie alimentaire pour faire des gâteaux, du chocolat, du nougat, de la confiserie, des crèmes glacées et de l'huile. L'amande de cajou se caractérise par sa richesse en acides gras essentiels, notamment en acides linoléique et oléique qui représentent respectivement 20 % et 60 % de la matière grasse. Elle est également riche en protéines et possède une composition en acides aminés semblable



Figure 2. Photographie de noix de cajou – *Picture of cashew nuts.*

à celle du soja (Lautié et al., 2001; Soro, 2002; Soro, 2012) (Tableau 1). Le second, le baume de cajou, est un liquide oléagineux noirâtre et caustique extrait de la coque entourant l'amande. Il est employé dans diverses industries. Ainsi, il peut être transformé en résines, utilisées pour la fabrication de garnitures de frein et de disques d'embrayages, pour modifier les propriétés du caoutchouc, pour protéger les sols contre les produits chimiques (Ricaud, 2013).

Tableau 1. Composition moyenne de l'amande de la noix de cajou (Lautié et al., 2001) – *Average composition of the cashew kernel (Lautié et al., 2001).*

Composés analysés	Teneurs composé analysé (g/100g matière fraîche)
Humidité	6,9
Glucides	27,96
Protéines brutes	21,5
Fibres brutes	1,1
Cendres	3,4
Lipides bruts	46,1
Vitamine E	2,10 mg/100 g
Vitamine PP	3,68 mg/100 g
Vitamine B1	0,56 mg/100 g
Phosphore	0,7
Calcium	0,2

Quant à la pomme de cajou, formée après la noix de cajou, elle est appelée faux fruit. En effet, c'est lorsque la noix de cajou se développe et atteint un volume maximum (30-35 jours) que le pédoncule, qui jusque-là était normal, se met à se développer considérablement et rapidement, devenant charnu et se transformant ainsi en une pomme de cajou (Soro, 2012). Pendant ce temps, la noix perd de l'humidité, diminue de volume et durcit. La pomme de cajou est donc le pédoncule hypertrophié de la noix de cajou. À maturité, la pomme est de couleur jaune, rouge ou orangé (Figure 3). Cette couleur est due à la fine couche cireuse qui constitue la peau de la pomme. Quelle que soit la couleur de la peau, sa chair est toujours jaune. La forme de la pomme est ronde ou cordiforme (forme de cœur), d'où son nom, *Anacardium*, qui signifie forme de cœur. La pomme de cajou est très juteuse (85 à 90 % d'eau), sucrée (7 à 13 % de glucides), légèrement parfumée et acide (Lautié et al., 2001). Elle est aussi très riche en vitamine C (Tableau 2) et en polyphénols (Michodjehoun-Mestres, 2009). Enfin, elle contient des quantités non négligeables de caroténoïdes (Pinto de Abreu et al., 2005; Pinto de Abreu, 2012). Compte tenu de sa richesse en sucre, elle sert à faire des confitures, des conserves au sirop, du jus de fruit, des pâtes de fruits, des gelées, des fruits confits, du vin, de l'alcool, du vinaigre (Pinto de Abreu et al., 2005; Pinto de Abreu, 2012; Ricaud, 2013).



Figure 3. Photographie de différentes variétés de pommes de cajou – *Picture of different varieties of cashew apples.*

La transformation de la pomme de cajou est cependant limitée par les caractéristiques du fruit. Ce pédoncule est en effet très riche en tanins qui lui confèrent une astringence particulièrement forte (Soro, 2012). Cette astringence semble provenir essentiellement des membranes cireuses de la peau. Cela explique l'importance du pelage avant la transformation des fruits. Le second facteur qui limiterait la transformation de la pomme de cajou en jus est sa très grande richesse en sucres réducteurs (glucose et fructose). En effet, la présence des sucres réducteurs qui sont des précurseurs de la réaction de Maillard et du brunissement non enzymatique pose un problème de couleur lors de la transformation du fruit en jus (Soro, 2012).

En 2016, la Côte d'Ivoire a produit 750 000 t de noix de cajou avec une prévision d'1 000 000 t à l'horizon 2020 (Anonyme, 2016). La pomme représentant 9 à

10 fois le poids de la noix, cela correspond à environ 7,5 Mt de pommes de cajou. La quasi-totalité de cette production est perdue sur les lieux de récolte car elle n'est pas exploitée industriellement à cause de son astringence et de certains tabous (Soro, 2012). En effet, la consommation de pomme de cajou avec du lait est considérée comme incompatible en Côte d'Ivoire et dans plusieurs pays africains. Cette matière première est pourtant riche en éléments nutritifs, notamment en vitamine C (Pinto de Abreu et al., 2005 ; De Brito et al., 2007 ; Michodjehoun-Mestres, 2009).

Tableau 2. Composition nutritionnelle des pommes de cajou (Lautié et al., 2001) – *Nutritional composition of cashew apples (Lautié et al., 2001).*

Composés	Teneur pour 100 g de matière fraîche
Extrait sec soluble	10 à 12 g
pH	4,2 à 4,4
Acidité titrable (acide malique)	0,33 à 0,59 g
Sucres réducteurs	7,8 à 8,6 g
Fibres alimentaires	2,6 à 3,1 g
Tanins	0,29 à 0,38 g
Protéines	0,7 à 0,8 g
Vitamines C	200 à 300 mg
Calcium	10 à 40 mg
Fer	0,4 à 3,0 mg
Phosphore	10 à 30 mg

Une meilleure valorisation de la pomme de cajou, co-produit de la noix, contribuerait à stabiliser l'exploitation de l'anacardier (Soro, 2012). Elle permettrait également de créer de nouvelles activités économiques créatrices d'emplois et, par conséquent, de lutter contre le chômage en Côte d'Ivoire (Soro, 2012). Comme pour de nombreux fruits, la principale voie de valorisation que nous avons exploitée est la transformation de la pomme en jus. Différents modes de clarification, tels qu'avec de l'amidon, de la bouillie de riz ou la microfiltration ont été utilisés avec chacun ses inconvénients. De ces types de clarification, la voie la plus pertinente est l'utilisation de la gélatine qui pourra se complexer avec les tanins du jus de pomme de cajou, qui seront éliminés lors de la filtration (Soro, 2012).

L'utilisation de la gélatine (pour éliminer les tanins), la pasteurisation, le temps et la température de conservation sont des facteurs qui peuvent influencer la valeur nutritionnelle du jus lors de sa production et de sa conservation. C'est donc dans ce cadre que nous allons évaluer l'influence de ces paramètres sur la qualité du jus produit, pasteurisé et conservé à différentes températures.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Matériel végétal

Concernant le matériel végétal, nous avons utilisé des pommes de cajou. Ces fruits ont été récoltés dans une plantation située à Yamoussoukro, capitale politique de la Côte d'Ivoire, région des lacs, située entre la zone forestière et la zone savanicole.

2.2. Méthodes de production du jus de pomme de cajou

Le procédé de production du jus est résumé dans le diagramme de la figure 4.

Récolte et extraction. La récolte des pommes de cajou à maturité (jaune et rouge) s'est faite sur les arbres ou en ramassant celles qui sont tombées et qui sont encore saines. Les noix sont séparées minutieusement des pommes avec des fils en nylon afin de ne pas les blesser. En effet, toute blessure pourrait entraîner une contamination et un début de fermentation des pommes. Pour la transformation à l'usine-école de l'Institut National Polytechnique, les pommes de cajou sont nettoyées et lavées afin d'éliminer les impuretés physiques telles que le sable ou les feuilles

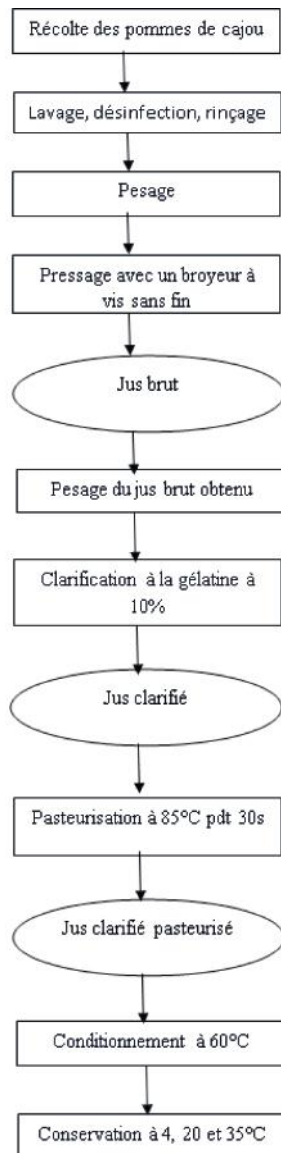


Figure 4. Diagramme de production de jus de pomme de cajou clarifié et pasteurisé – *Diagram of production of clarified and pasteurized cashew apple juice.*

l'électrode dans 20 ml de la solution prélevée dans un bécher de 50 ml. Au bout de 5 s la valeur est affichée par le pH-mètre de marque Cyberscan pH 11.

Acidité titrable (NF V05-101). L'acidité titrable est la teneur en acide contenue dans une prise d'essais. Sa détermination consiste à doser 10 ml de la prise d'essais avec du NaOH 0,1N jusqu'au point équivalent (pH=8,2) en présence de phénolphaléine. Le nombre de millilitres de solution décimale utilisée correspond à l'acidité que l'on peut exprimer de plusieurs manières :

- en g/l de l'acide organique dominant. Dans ce cas, on multiplie le nombre de ml (n) de solution décimale par les coefficients suivants : acide malique, $n \times 0,67$; acide citrique, $n \times 0,64$; acide tartrique, $n \times 0,75$. Ces coefficients sont obtenus en tenant compte de la masse moléculaire de chaque acide et de sa valence ;
- en milliéquivalents pour 1000. Dans ce cas, on multiplie le nombre de ml de solution décimale par 10.

Extrait sec soluble (ESS) (ISO 2173 : 2003). L'extrait sec soluble est déterminé grâce à un réfractomètre de marque Atago pocket refractometer de précision 0,01. Il est aussi appelé degré Brix et est exprimé en g/100 g. La détermination consiste à déposer une goutte sur le prisme du réfractomètre à poche de marque Atago pocket refractometer et la valeur est affichée au bout de 5 s.

mortes. Elles sont ensuite désinfectées avec 100 ppm de chlore actif pendant 15 minutes dans des bacs. Rincées à l'eau, les pommes sont broyées avec une presse à vis sans fin dont la référence est ZBK220077-88 LW74d(B) A (Chine).

Méthode de clarification du jus de pomme de cajou par la gélatine. Pour la clarification, nous avons utilisé de la gélatine commerciale en poudre issue de la peau de poisson. On prépare donc une solution de gélatine à 10 %. La solution obtenue est laissée au repos durant 1 h. Ensuite, 2,5 g de solution de gélatine par litre de jus de pomme de cajou brut sont ajoutés. On observe une floculation. Le mélange est ensuite filtré sur un tissu en coton propre.

Le jus obtenu est pasteurisé à 85°C pendant 30 secondes par chauffage sur une calotte chauffante.

Méthode de conservation du jus. Durant nos travaux, les échantillons ont été conservés à trois températures distinctes : 4°C et 20°C dans différents réfrigérateurs et à 35°C dans une étuve à reflux laminaire.

2.3. Méthodes d'analyse

Les analyses effectuées sur le jus concernent : le potentiel d'hydrogène (pH) ; l'acidité titrable (AT), l'extrait sec soluble (ESS), la matière sèche totale (MST), les solides insolubles en solution (SIS), la turbidité (T), la densité et la conductivité. La teneur en vitamine C et la teneur en tanins condensés ont aussi été déterminées. Ces analyses ont porté sur le jus brut, sur le jus clarifié et sur le jus pasteurisé. Les mêmes analyses ont été effectuées sur les jus conservés à différentes températures chaque semaine et pendant trois mois.

Potentiel d'hydrogène (pH) (ISO 1842, 1991). Le pH des solutions liquides est déterminé en introduisant

l'électrode dans 20 ml de la solution prélevée dans un bécher de 50 ml. Au bout de 5 s la valeur est affichée par le

pH-mètre de marque Cyberscan pH 11.

Matière Sèche Totale (MST) (ISO 5334, 2004). La détermination de la teneur en extrait sec total est basée sur des pesées et l'évaporation d'eau libre par dessiccation. Cela consiste au chauffage du produit à 105 °C jusqu'à élimination complète de l'eau et des matières volatiles, et détermination de la perte de masse.

Dans la réalisation, il faut prélever 10 ml de l'échantillon et verser dans un creuset. Soit m_0 la masse du creuset vide et m_1 celle du creuset plus la prise d'essai. Placer dans une étuve à 105 °C pendant 24 h. Laisser refroidir dans un dessiccateur, puis peser. Soit m_2 la masse après étuvage.

Expression des résultats. Teneur en matière sèche totale de l'échantillon :

$$\% \text{ E.S.T} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100$$

Solides Insolubles en Suspension (SIS). Pour la détermination des SIS (solides insolubles en solution), cela consiste à centrifuger 20 g d'échantillon à 3000 tr/min pendant 15 min, puis à peser le culot après égouttage.

Turbidité (ISO 7027-1, 2016). La détermination de la turbidité consiste à avoir une indication du trouble ou de la teneur en particules de la solution. Nous avons utilisé le turbidimètre Hanna HI 9835 qui a une diode à infrarouge avec une longueur d'onde de 890 nm. Cela réduit les interférences causées par les échantillons colorés. Un capteur positionné à 90° par rapport à l'émission de lumière détecte la quantité de lumière réfléchie par les particules en suspension. Un microprocesseur permet la conversion de la quantité de lumière réfléchie en NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*) ou FTU (*Formazine Turbidity Unit*). Quant au protocole expérimental, il consiste à remplir une cuvette de mesure propre avec 10 ml de notre échantillon. La cuvette est placée dans le logement du Hanna HI 9835, la valeur de la turbidité est affichée sur l'écran au bout de 5 s.

Densité (ISO 1042, 1998). La densité est le rapport de la masse volumique d'un échantillon par rapport à la masse volumique de l'eau. On détermine d'abord la masse volumique de l'échantillon qui se traduit par le rapport de sa masse sur son volume et ensuite on fait le rapport sur la masse volumique de l'eau. Elle est déterminée à 20 °C. En ce qui concerne le protocole, 25 ml de chaque échantillon ont été prélevés à l'aide d'une pipette puis leur masse a été déterminée sur une balance de précision.

Conductivité (NF 27888, 1994). La détermination de la conductivité permet d'avoir un aperçu du taux de minéraux et d'ions dans un jus de fruit ou une boisson. La conductivité est déterminée grâce au conductimètre HANNA HI 93414, calibré sur solution standard à 1413 et 17880 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Teneur en vitamine C (AOAC, 1984). La vitamine C (acide ascorbique) est un antiscorbutique et un anti-infectieux qui joue un rôle important dans la synthèse du collagène. Elle est synthétisée par de nombreux êtres vivants mais pas par l'homme, qui doit donc la trouver dans son alimentation. Ses besoins journaliers sont de l'ordre de 75 mg.

L'acide L-ascorbique, ou vitamine C, est extrait en présence d'une solution d'acide métaphosphorique et d'acide acétique. Pour le dosage, 1 ml de l'échantillon est prélevé et dosé avec une solution de 2,6-dichlorophénol indophénol jusqu'à l'apparition d'une coloration rose champagne persistante.

Dosage des tanins condensés. Pour le dosage des tanins totaux, le protocole décrit par Michodjehoun-Mestres (2009) a été utilisé. Ce protocole consiste dans un premier temps à éliminer les caroténoïdes et une partie des phénols simples. Pour cela, 20 g de jus sont additionnés à 50 ml d'acétate d'éthyle puis agités pendant 15 min. Le mélange est ensuite centrifugé à 3000 tours/min pendant 15 min à 20 °C. Le culot est récupéré dans 150 ml de mélange acétone/eau (60:40), agité durant 60 min et centrifugé à 3000 tours/min pendant 15 min à 20 °C. Cette opération est répétée trois fois. Le dernier culot est récupéré dans 40 ml d'eau et additionné avec 10 ml de solution saturée de caféine. Ce mélange entraîne une floculation des tanins qui sont ensuite centrifugés à 3000 tours/min pendant 15 min à 20 °C. Le culot est dispersé dans 20 ml de méthanol chaud additionné à 60 ml de chloroforme. Cela entraîne une floculation abondante des tanins et une décomplexation de la caféine par solubilisation dans le chloroforme. Après centrifugation à 3000 tours/min pendant 15 min à 20 °C, et élimination du surnageant, l'opération de lavage du culot au chloroforme est répétée quatre fois. Le dernier culot (tanins bruts) est séché sur fritté n° 4 à 70 °C pendant 4 h.

2.4. Analyse statistique

Toutes les déterminations ont été réalisées en triple exemplaire et les données ont été traitées à l'aide des logiciels Microsoft Excel 2010 et Statistica version 7.1, avec lequel nous avons fait des tests d'Anova factorielle.

3. RÉSULTATS

3.1. Production de jus de pomme de cajou clarifié et pasteurisé

Le jus brut de pomme de cajou obtenu après extraction avec la presse est jaune. Pour 100 kg de pommes de cajou, nous avons obtenu 79 kg de jus brut et 21 kg de tourteaux. Le rendement de production du jus brut est donc de 79%.

Après ajout de la gélatine, on observe une floculation qui se décante au cours du temps. Les tanins complexent en présence de protéines. C'est cette propriété qui est utilisée pour clarifier le jus de pomme de cajou. La filtration avec un tissu en coton propre permet d'obtenir du jus clarifié incolore.

La pasteurisation du jus à 85 °C pendant 30 secondes donne un jus brun. Cette coloration est due à un brunissement non enzymatique, appelé réaction de Maillard. En effet, le jus de pomme de cajou contient du glucose et du fructose qui sont des sucres réducteurs (Soro, 2012). Pendant le chauffage, les groupements carbonyles de ces sucres vont se condenser avec les groupements amines des acides aminés des protéines pour donner des glucosamines et des fructosamines. Par une série de réactions de réarrangement et de polymérisation, ces molécules vont donner des mélanoidines qui sont de couleur brune, d'où la coloration du jus.

3.2. Analyses physico-chimiques

Jus brut et jus clarifié pasteurisé. Les résultats des analyses physico-chimiques ayant porté sur le jus brut et sur le jus clarifié et pasteurisé lors de la transformation sont consignés dans le tableau 3.

Tableau 3. Suivi des paramètres physico-chimiques du jus de pomme de cajou pendant son processus de transformation – *Follow-up of the physico-chemical parameters of cashew apple juice during its transformation process.*

Paramètres	Jus brut	Jus clarifié pasteurisé
pH	4,27 (0,01)*	4,31 (0,01)**
Acidité (még.1 000 ⁻¹)	31 (1)*	25 (0)**
Extrait sec soluble (°brix)	8,47 (0,05)*	8,73 (0,12)**
Conductivité (mS.cm ⁻¹)	3,856 (0,001)*	4,536 (0,006)**
Solides insolubles en suspension (mg.100g ⁻¹)	54 (1,732)*	13 (0,002)**
Matière sèche totale (g.100g ⁻¹)	8,03 (0,057)*	7,432 (0,026)**
Turbidité (NTU)	11020 (5,000)*	15,133 (0,058)**
Densité	1,0066 (0,0001)*	1,0062 (0,004)*
Vitamine C (mg.100mL ⁻¹)	175,255 (0,1356)*	147,551 (0,2808)**
Tanins (g.kg ⁻¹)	2,9 (0)*	0 (0)**

(Pas de différence significative entre les valeurs portant le même nombre d'étoile par paramètre) – *(No significant difference between values with the same number of stars per parameter).*

La clarification a permis d'éliminer tous les tanins responsables de l'astringence de ce jus. L'étape de la filtration après la floculation permet l'élimination de tous les tanins (de 2,9 g.kg⁻¹ à 0 g.kg⁻¹) et 75% des SIS.

Le pH du jus lors de sa transformation est quasi stable, passant de 4,27 à 4,31. Cela suppose que la clarification par la gélatine et la pasteurisation n'ont pas d'influence sur le pH. En plus, le pH acide du jus de pomme de cajou clarifié (4,31 ± 0,01) indique qu'il peut être conservé sans que l'on ait d'attaque par les microorganismes.

Les résultats de l'acidité titrable du jus concordent avec ceux du pH, confirmant que la gélatine n'élimine pas les acides du jus.

Dans les jus de fruit, l'extrait sec soluble correspond à la teneur en sucre soluble contenu dans le jus (Cissé, 2007). Les résultats montrent qu'après la pasteurisation cette teneur augmente à cause d'une concentration du jus.

Les résultats de la matière sèche montrent une diminution de cette matière sèche après pasteurisation. En effet, lors de la clarification et de la filtration il y a une diminution des SIS et une élimination totale des tanins. C'est ce qui explique cette diminution de matière sèche totale, de $8,03 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ à $7,43 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$.

Les résultats des solides insolubles montrent que le jus brut est riche en SIS avec $54 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$. Après clarification, ce taux descend à $13 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$, montrant que la plupart des SIS ont été éliminés pendant la clarification et la filtration.

La turbidité correspond à la quantité de particules présentes dans une solution. D'après les résultats, le jus brut est très chargé en particules, car sa turbidité correspond à plus de 11 020 NTU. Après clarification et pasteurisation, la charge en particules passe à 15,1 NTU. Cette valeur – post clarification et pasteurisation – assez élevée serait due à la présence des mélanoidines issues de la réaction de Maillard (brunissement non enzymatique).

Concernant la vitamine C, le jus brut en contient $175,25 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$, tandis que le jus clarifié et pasteurisé en contient $147,55 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$. Cela signifie que, lors de la pasteurisation, nous avons perdu 15,8 % de la teneur en vitamine C. Malgré cette perte, le jus de pomme de cajou clarifié par la gélatine et pasteurisé reste de loin l'un des fruits tropicaux les plus riches en vitamine C.

Évolution des paramètres physico-chimiques durant la conservation. Les résultats des analyses de l'évolution des paramètres physico-chimiques du jus de pomme de cajou clarifié et pasteurisé sont explicités par les figures 5 à 13.

pH. Nous notons une baisse du pH les 30 premiers jours, suivie d'une stabilisation à partir du 30ème jour. Il faut noter cependant que la baisse du pH observée est faible (< 1) et traduit une stabilité globale du pH (Figure 5).

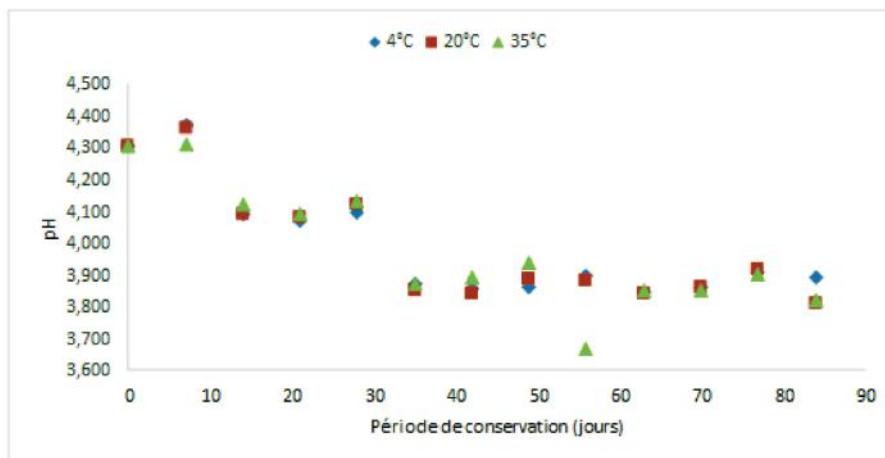


Figure 5. Évolution du pH lors de la conservation à différentes températures du jus de pomme de cajou clarifié et pasteurisé – *Evolution of the pH during the storage at different temperatures of the clarified and pasteurized cashew apple juice.*

Acidité titrable. L'analyse des courbes montre une augmentation progressive de l'acidité totale dans le jus jusqu'à atteindre un seuil de $45,66 \text{ m} \cdot \text{eq} \cdot 1000^{-1}$ pour 35°C , ce qui est cohérent avec l'évolution observée du pH. Cependant, l'analyse statistique indique que cette augmentation n'est pas due à la température de conservation mais plutôt au temps de conservation (Figure 6).

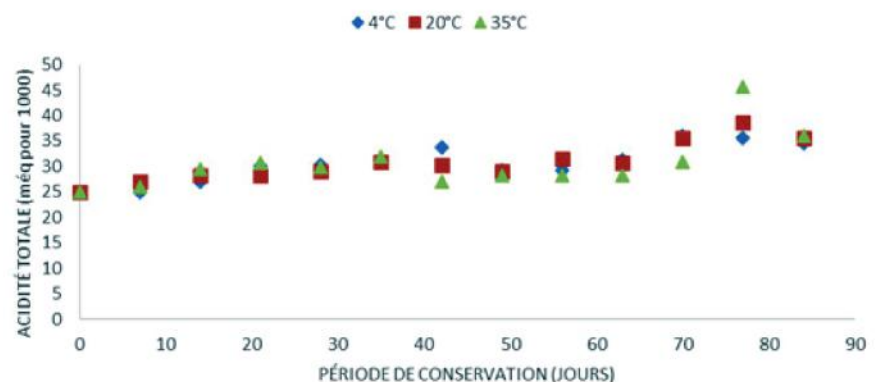


Figure 6. Évolution de l'acidité totale lors de la conservation à différentes températures du jus de pomme de cajou clarifié et pasteurisé – *Evolution of total acidity during storage at different temperatures of clarified and pasteurized cashew apple juice.*

Extrait sec soluble. L'analyse nous montre deux phases. Une première qui indique une augmentation du taux de l'extrait sec soluble atteignant 10,6°Brix au 28^{ème} jour à 35°C et 11,03°Brix au 49^{ème} jour à 20°C. Ensuite, une seconde phase partant du jour 56 au jour 91 où il y a une diminution du taux de l'extrait sec soluble pour atteindre les valeurs 7,56; 7,3 et 7,5°Brix respectivement à 4; 20 et 35°C. L'analyse statistique indique que cette variation de l'extrait sec soluble est due à la période de conservation et non à la température de conservation (Figure 7).

Matière sèche totale. L'analyse de la figure 8 indique une augmentation de la matière sèche totale jusqu'au 35^{ème} jour suivie d'une diminution progressive jusqu'au jour 70. S'ensuit une légère augmentation et une faible baisse sur les derniers jours. De l'analyse statistique, il ressort que cette variation n'est due qu'à la période de conservation, la température n'ayant pas d'effet significatif. La matière sèche totale varie donc en fonction de la variation de l'extrait sec soluble au vu de l'évolution semblable de ces deux paramètres (Figure 8).

Solides insolubles en suspension. Les courbes indiquent une baisse dans les 14 premiers jours de conservation des solides insolubles en suspension. Cette baisse est suivie par une augmentation progressive non uniforme jusqu'à atteindre des pics de 45 mg/100g à 20°C, 25 mg/100g à 4°C et 35 mg/100g à 35°C. Cependant, cette variation n'est due qu'à la période de conservation, comme l'atteste l'analyse statistique (Figure 9).

Turbidité. Les courbes de la turbidité nous indiquent que, bien qu'elles soient irrégulières, elles traduisent une certaine stabilité de la turbidité du jus de pomme de cajou clarifié et pasteurisé.

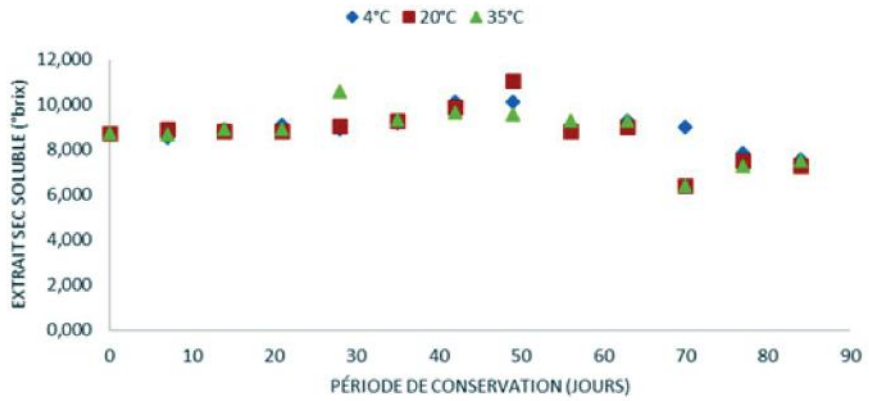


Figure 7. Évolution de l'extrait sec soluble lors de la conservation à différentes températures du jus de pomme de cajou clarifié et pasteurisé – Evolution of the soluble dry extract during the storage at different temperatures of the clarified and pasteurized cashew apple juice.

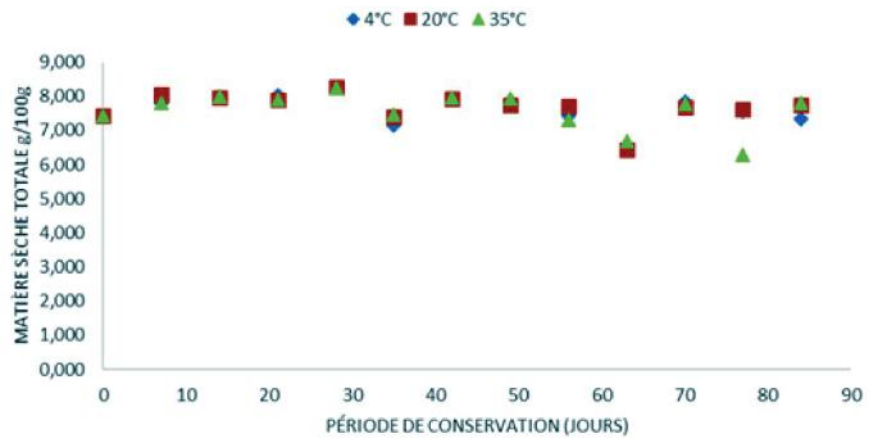


Figure 8. Évolution de la matière sèche totale lors de la conservation à différentes températures du jus de pomme de cajou clarifié et pasteurisé – Evolution of the total dry matter during the storage at different temperatures of clarified and pasteurized cashew apple juice.

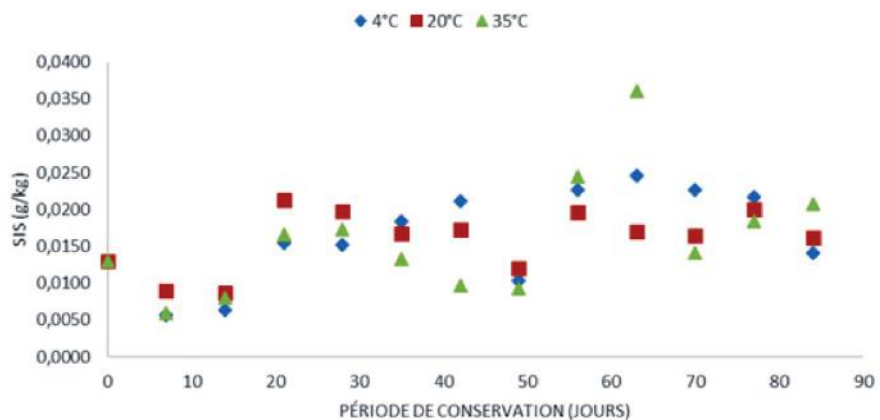


Figure 9. Évolution des solides insolubles en suspension lors de la conservation à différentes températures du jus de pomme de cajou clarifié et pasteurisé – Evolution of insoluble solids in suspension during storage at different temperatures of clarified and pasteurized cashew apple juice.

L'analyse statistique confirme nos observations, indiquant qu'il n'y a pas de différence significative entre les valeurs de turbidité tant en fonction de la température qu'en fonction du temps de conservation (Figure 10).

Densité. L'analyse des courbes montre une augmentation de la densité les 28 premiers jours pour ensuite se stabiliser entre 1,015 et 1,025 unités. Cependant, nous pouvons dire que cette augmentation est négligeable car inférieure à 0,1 unités. Cela traduit la quasi stabilité de la densité lors de la conservation quelle que soit la température envisagée (Figure 11).

Conductivité. Nous avons une baisse générale de la conductivité durant toute la période de conservation. La baisse est plus prononcée dans les 7 premiers jours, suivie d'une stabilisation. S'ensuit une légère remontée entre les 28^{ème} et 35^{ème} jours avant une nouvelle baisse moins importante pour les températures de 4°C et 20°C mais plus importante à 35°C. L'analyse statistique montre que l'évolution de la conductivité est liée au temps de conservation et que la température, pour sa part, n'influe pas significativement (Figure 12).

Vitamine C. À l'analyse des courbes il ressort deux tendances. Une première où on assiste à une baisse rapide de la teneur en vitamine C à 35°C. Ensuite, on note une similitude de la baisse de la teneur en vitamine C à 4°C et 20°C. Il faut également noter la première baisse prononcée sur les 49 premiers jours suivi d'une baisse relativement faible les jours suivants.

L'analyse statistique montre que la baisse de la teneur en Vitamine C est fonction de la température de conservation avec

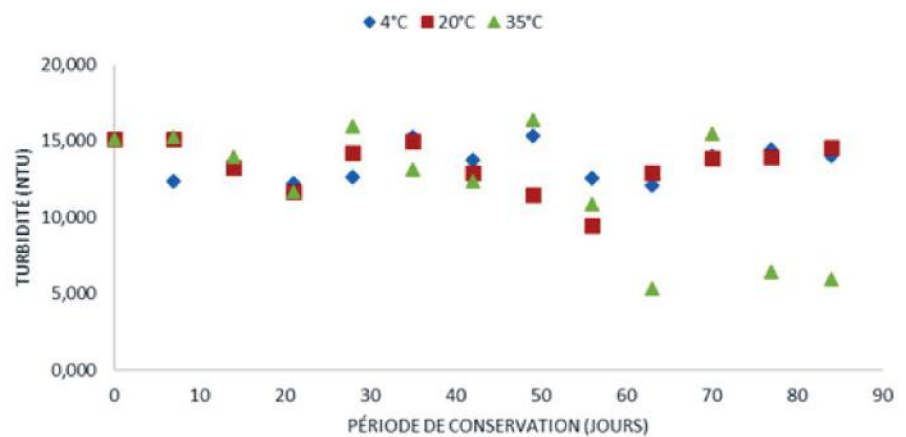


Figure 10. Évolution de la turbidité lors de la conservation à différentes températures du jus de pomme de cajou clarifié et pasteurisé – *Evolution of turbidity during storage at different temperatures of clarified and pasteurized cashew apple juice.*

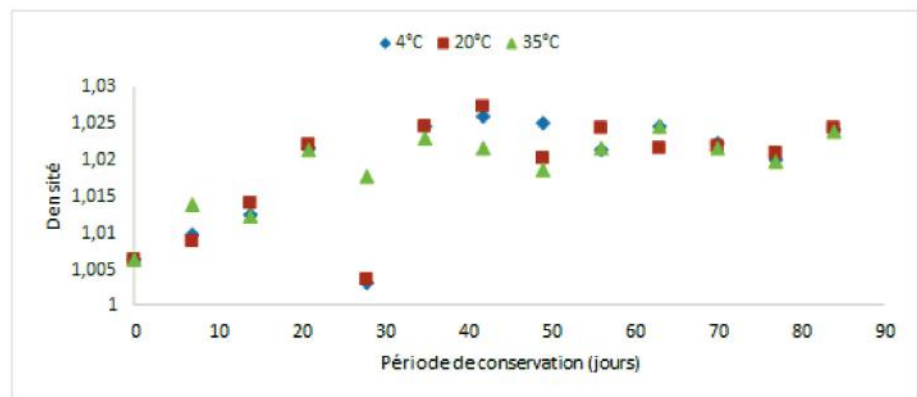


Figure 11. Évolution de la densité lors de la conservation à différentes températures du jus de pomme de cajou clarifié et pasteurisé – *Evolution of the density during storage at different temperatures of clarified and pasteurized cashew apple juice.*

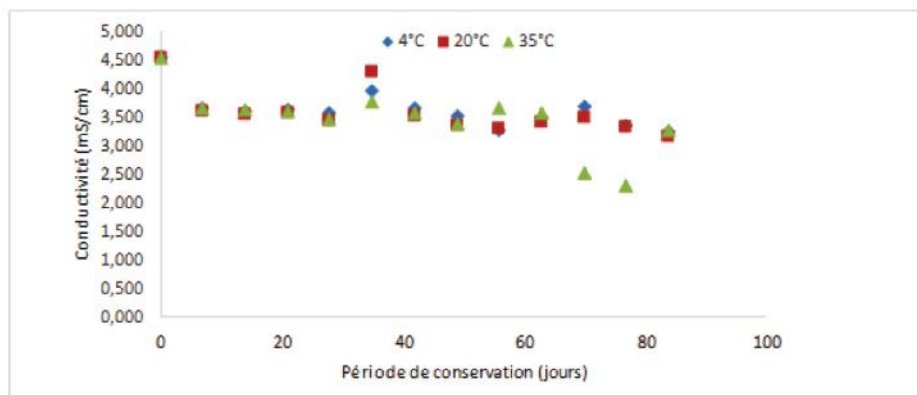


Figure 12. Évolution de la conductivité lors de la conservation à différentes températures du jus de pomme de cajou clarifié et pasteurisé – *Evolution of the conductivity during storage at different temperatures of clarified and pasteurized cashew apple juice.*

deux groupes qui se distinguent, l'un pour les températures de 4°C et 20°C, et l'autre pour celle de 35 °C. Elle est également fonction du temps de conservation avec aussi deux périodes distinctes (0-49 jours et 49-84 jours) (Figure 13).

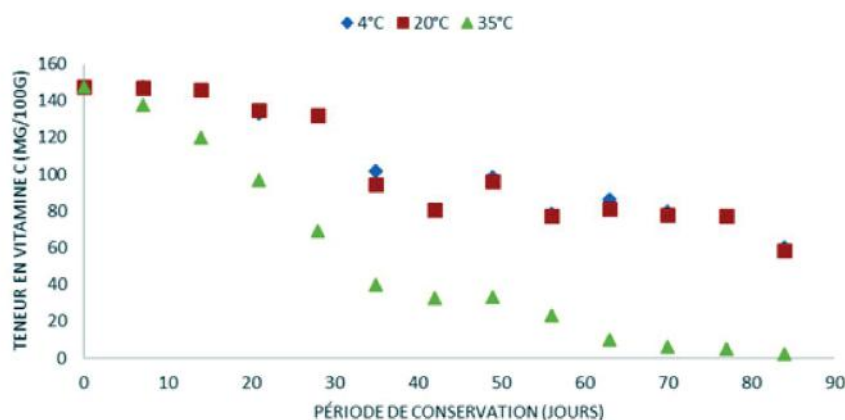


Figure 13. Évolution de la teneur en Vitamine C lors de la conservation à différentes températures du jus de pomme de cajou clarifié et pasteurisé – *Evolution of the Vitamin C content during the storage at different temperatures of clarified and pasteurized cashew apple juice.*

4. DISCUSSION

La stabilité du pH et du taux de matière sèche confirme l'effet stabilisant du couple chauffage pasteurisant et température basse au niveau des jus de pomme de cajou.

Cette évolution du pH dans le jus de pomme de cajou clarifié et pasteurisé est semblable à celle observée dans le jus de rônier dans des travaux similaires réalisés par Ezoua et al. (2008).

Quant à l'évolution de l'extrait sec soluble, elle serait due au brunissement non enzymatique qui est une réaction spontanée mais lente même à basse température. En effet, le jus de pomme de cajou étant essentiellement composé de glucose et de fructose, au cours de son stockage, ces sucres réducteurs vont réagir avec les acides aminés ce qui va concourir à leur dégradation. Aussi, avec le pH du jus qui reste bas, le milieu acide est également un facteur essentiel au cours de cette réaction.

Il est à remarquer que les taux de solides insolubles en suspension augmentent pendant que le taux de l'extrait sec soluble diminue. Il faut aussi noter que ces valeurs restent très faibles car la dégradation de l'extrait sec soluble dans le jus de pomme clarifié à la gélatine et pasteurisé est assez faible.

La turbidité traduisant la présence de particules en suspension dans le jus et notifiant sa qualité globale, nous pouvons dire que le jus de pomme de cajou clarifié à la gélatine et pasteurisé reste stable durant la conservation peu importe la température appliquée.

En ce qui concerne la conductivité, qui est la capacité du jus à transmettre le courant électrique, elle sera d'autant plus élevée que la quantité d'ions dans le jus sera importante. La faible conductivité du jus de pomme de cajou clarifié et pasteurisé induirait donc que le jus de pomme est riche en minéraux. Nos résultats sont en adéquation avec les valeurs de l'USDA qui présente quelques taux de minéraux dans les fruits. Nous remarquons donc un fort taux de magnésium et potassium dans la pomme de cajou respectivement à 260 et 565 mg, bien plus élevé que celui de certains fruits tels que l'orange, l'ananas, la mangue ou la goyave.

À propos de la vitamine C, la baisse résulte probablement d'une dégradation oxydative de l'acide ascorbique par l'oxygène contenu dans les emballages (Yuan et Chen, 1998). La forte baisse constatée à 35 °C serait due à la combinaison dégradation oxydative et à la température élevée,

En absence d'air, l'acide ascorbique peut aussi se dégrader. En effet, ce phénomène peut se produire soit lorsque le milieu est chaud, soit lorsque le milieu devient acide. L'acide ascorbique subit alors une déshydratation et une décarboxylation qui conduisent à la formation de CO₂ et de furfural (Huelin et al., 1971). Cette dégradation anaérobie est observée dans les jus de fruits acides tels que le jus de citron ou même le jus d'orange conditionné, sans col, dans des bouteilles en verre ou des boîtes métalliques hermétiquement fermées (Kennedy et al., 1992). Dans le cas où de l'oxygène se trouve encore dans le col de la bouteille qui a été fermée, on observe tout d'abord une dégradation de l'acide ascorbique par l'oxygène dissous, puis une dégradation lente anaérobie. La dégradation aérobie est environ 10 fois plus rapide que la dégradation anaérobie.

5. CONCLUSIONS

Cette étude nous a permis de comprendre l'évolution des paramètres physico-chimiques du jus de pomme de cajou clarifié et pasteurisé au cours de sa conservation.

La clarification nous a permis d'obtenir un jus incolore, limpide et non astringent. Cependant, lors de l'étape de pasteurisation, compte tenu de la richesse du jus en sucres réducteurs, la réaction de Maillard a entraîné l'apparition d'une couleur brune due à la présence de mélanoidines.

Au cours de sa conservation, le jus de pomme de cajou clarifié à la gélatine et pasteurisé conserve de manière générale ses propriétés physico-chimiques, sauf en ce qui concerne la teneur en vitamine C qui diminue très fortement. Il est à signaler également que la température de conservation n'influence pas de façon significative la qualité du jus de pomme de cajou clarifié à la gélatine et pasteurisé, à nouveau excepté pour la vitamine C.

L'exploitation de la pomme de cajou pour la production de jus de bonne qualité est possible et peut être non seulement une source de revenu économique, mais aussi un moyen de lutte contre l'exode rural de la population de la zone nord de la Côte d'Ivoire.

Pour une appréciation complète du jus de pomme de cajou clarifié et pasteurisé, l'étude de sa qualité microbiologique ainsi que celle de sa caractérisation sensorielle (goûts, arôme, etc.) doivent être envisagées.

Bibliographie

- Pinto de Abreu F.A., Perez A.M., Dornier M. & Reynes M., 2005. Potentialités de la microfiltration tangentielle sur membranes minérales pour la clarification du jus de pomme de cajou. *Fruit*, **60**, 33-40.
- Pinto de Abreu F.A., 2012. *Étude d'un procédé intégrant la microfiltration tangentielle pour la production d'extraits concentrés en caroténoïdes à partir de pommes de cajou*. Thèse de doctorat : Montpellier, Université de Montpellier 2.
- Anonyme 1, Conseil Coton Anacarde, 2016.
- Cissé M., 2007. *Stabilisation, microfiltration tangentielle et concentration de différents jus de fruits tropicaux*. Thèse de doctorat : Sciences et technologie des aliments, Dakar, Université Cheick Anta Diop.
- De Brito E.S., Pessanha de Araújo M.C., Lin L.-Z. & Harnly J., 2007. Determination of the flavonoid components of cashew apple (*Anacardium occidentale*) by LC-DADESI/MS. *Foods Chemistry*, **105**(3), 1112-1118.
- Ezoua P., Biego H., Kouame D., Agbo N'zi G., 2008. Détermination de la composition en sucre, alcool et évolution des paramètres physico-chimiques au cours de la conservation du jus de fruit de rônier (*Borassus aethiopum*, Mart., Arecaceae). *J. Sci. Pharm. Biol.*, **9**(1), 44-56.
- Huelin F.E., Coggiola I.M., Sidhu G.S. & Kennett B.H., 1971. The anaerobic decomposition of ascorbic acid in the pH range of foods and in more acid solutions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **22**(10), 540-542.
- Kennedy J.F., Rivera Z.S., Lloyd L.L., Warner F.P. & Jumel K.L. (1992). Ascorbic acid stability in aseptically processed orange juice in TetraBrik cartons and the effect of oxygen. *Food Chemistry*, **45**(5), 327-331.
- Lautié E., Dornier M., De Souza F. & Reynes M., 2001. Les produits de l'anacardier : caractéristiques, voies de valorisation et marchés. *Fruit*, **56**, 235-248.
- Michodjehoun-Mestres L., 2009. *Étude des composés phénoliques de la pomme cajou (Anacardium occidentale L.)*. Thèse de doctorat : Biochimie, Chimie et technologie alimentaire, Montpellier, Université Montpellier II.
- Ricau P., 2013. Connaître et comprendre le marché international de l'anacarde. RONGEAD, 49 p.
- Soro D., 2002. *Optimisation de la production des amandes entières blanches de cajou*. Mémoire d'Ingénieur des Industries Agroalimentaires : Yamoussoukro, Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny.
- Soro D., 2012. *Couplage de procédés membranaires pour la clarification et la concentration du jus de pomme de cajou : performances et impacts sur la qualité des produits*. Thèse de doctorat : Génie des procédés, Institut des régions chaudes, Montpellier, Montpellier, SupAgro.
- Yuan J.P. & Chen F. (1998). Degradation of ascorbic acid in aqueous solution. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **46**(12), 5078-5082.

20. Differential Analysis of Kernel Nutritional Composition: A preliminary study

Américo Uaciquete^{(1)*}, Cecilia Manjate⁽²⁾

⁽¹⁾ Instituto de Investigação Agrária de Moçambique, IIAM-Posto Agronómico de Nampula, Centro Zonal Nordeste, Rua de Corrane, Km7, C.P. 623; Tel. +258 824062230 ; Fax. 258 26 240268, Mozambique

⁽²⁾ Universidade Lúrio, Faculdade de Ciências de Saúde, Departamento de Nutrição, Campus de Marrere, Bairro de Marrere, Rua No. 4250; Km 2,3-Nampula, Mozambique. Tel. +258 26218250

* E-mail auteur correspondant : amuaciquete@gmail.com

Description of the subject. Cashew (*Anacardium occidentale* L.) is a tropical nut tree. Its importance relies on the apple and the nut which are directly used as food. Cashew kernels are associated with a high content of healthy lipids that reduces cholesterol levels and coronary heart disease risks, together with essential proteins to meet adult requirements and minerals that contribute to formation and strengthening of bones. The kernels are sold mainly based on size and color. But none of this sensorial differentiation takes into consideration the potential partition of nutrients in the kernels.

Objectives. In fact, white wholes (ww) generally attract the best prices and the broken, the lowest.

Method. Our hypothesis was that embryos have different content of nutrients from cotyledons. In this study we evaluated how relative prices can be supported by the nutritional composition of each category of cashew kernel: cotyledons and baby bits. Specifically, we intended to compare the proximate composition of kernel cotyledons and kernel embryos. Thus, two categories of kernels were obtained from a processing industry in Nampula and taken for laboratorial analysis of moisture, proteins, fibers, fats, ash and carbohydrates by AOAC methods. Three replicates were considered for each variable and category of kernels. Analysis of variance (ANOVA) was performed.

Results. Moisture, ash, proteins, fibers and carbohydrates in embryos was significantly higher than in cotyledons. Content in fats was lower in embryos.

Conclusions. In conclusion, embryos are nutritionally richer than cotyledons and therefore deserve special pricing as BB kernel grade. We also conclude that an embryos separation technology needs to be devised.

Analyse différentielle de la composition nutritionnelle des amandes de cajou

Description du sujet. L'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) est un arbre à noix. Son importance est due à sa pomme et sa noix qui sont utilisés directement comme nourriture. Les amandes de cajou contiennent une teneur élevée de lipides qui réduisent le niveau de cholestérol et le risque de maladies coronariennes, des protéines essentielles à l'alimentation humaine et des minéraux qui contribuent à la formation et à la fortification des os. Les amandes sont vendues principalement suivant leur grosseur et leur couleur, mais aucune de ces deux caractéristiques ne prend en considération le potentiel nutritionnel des noix. Les amandes blanches et entières sont les plus cotées, tandis que les morceaux sont vendus à des prix inférieurs.

Objectifs. Dans cette étude, nous évaluons comment les prix relatifs peuvent être adaptés suivant la composition nutritionnelle de chaque catégorie de noix de cajou: les cotylédons et les morceaux.

Méthode. Nous allons comparer la composition des cotylédons et des embryons des amandes. Ainsi, deux catégories d'amandes ont été obtenues dans une industrie de transformation à Nampula et envoyées dans un laboratoire pour en déterminer les teneurs en humidité, protéines, fibres, matières grasses, cendre et glucides selon les méthodes AOAC. Pour chaque analyse, trois répétitions ont été effectuées pour chaque catégorie d'amande. Une analyse de la variance (ANOVA) a été réalisée.

Résultats. L'humidité, le taux de cendre, les teneurs en protéines, en fibres et en glucides des embryons sont significativement plus élevés que ceux des cotylédons. Cependant, la teneur en matière grasse est plus basse dans les embryons.

Conclusions. En conclusion, les embryons sont nutritionnellement plus riches que les cotylédons et méritent ainsi un prix plus intéressant. En outre, une technologie de séparation d'embryons doit être conçue afin de rencontrer cet objectif de valorisation.

1. INTRODUCTION

Cashew (*Anacardium occidentale* L.) has its center of origin in Brazil (Adeigbe et al., 2015). It is from this region, in the 16th century (Monteiro et al., 2015), that European conquerors disseminated the plant between the tropics of Cancer and Capricorn near the equator (Rico et al., 2016; Uaciquete & Nicurrupo, 2016). Despite a multitude of other benefits (Dendena & Corsi, 2015; Adeigbe et al., 2015; Viswalingam, 2017), the plant is cultivated mainly for the nuts (Gyedu-Akato et al., 2014). In fact, cashew nuts are only 10% of the whole cashew fruit weight (Honorato et al., 2007) but they account for 90% of the income generated from cashew fruit (Paiva et al., 2006) due to their high food value (Ogunwolu et al., 2015). Globally, the nuts gross production value amounts to \$2,000 million against \$760 million generated from the apples (FAOSTAT, 2014). East African cashew producing countries have in general experienced a serious decline in production (Hammed et al., 2008) up to the late 90's (Rabanny et al., 2015) when new strategic policies were adopted. Currently an ascending trend is observed. Mozambique is the best processor in Africa with industrial processing capacity of 35,000 metric tons per year. However, like in other East African countries, the endemic powdery mildew disease (*Oidium anacardii* Noack) has been identified as the key hindrance in production, leading to 70-100% flower loss in field (Shomari & Kennedy, 1999; Zhongrun et al., 2013), 14.1 to 22.3% reduction of nut weight, 15.1-21.7% of kernel weight (Serrano et al., 2013; Rocha et al., 2015) and 88% loss of whole kernels in relation to healthy nuts during processing (Uaciquete & Nicurrupo, 2016). This last figure measures the quantity of kernels that are broken in the factory due to powdery mildew. When kernels are broken or split, the price drops significantly. Broken kernels may have the embryos separated from the cotyledons. The embryos then become the essential part of the baby butts (BB) as for most international kernel specifications (AFI, 2016). In this context, our hypothesis was that embryos, being the living part of the kernel, may contain more nutrients than the split. In this research we aimed to evaluate the extent to which the separation of embryos and cotyledons affects the distribution of nutrients in cashew kernels by comparing the proximate composition of kernel cotyledons and that of the embryos. Finally, we discuss the current international pricing of cashew kernels per grade.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Acquisition of kernel samples

Cashew kernel samples were obtained from a cashew processing factory, Condor Nuts (15° 6' 44''S; 39° 24' 54''E). A one kilogram sample was taken from individual lot of kernels after going through all the processing phases: that is, steam boiling, de-shelling, oven roasting and pilling. Each sample consisted of two sub-samples: the splits or sole cotyledons (500 g) and the respective embryos alone (500 g). The procedure was repeated three times representing different lots of processed nuts and appropriate labeling provided. A total of six sub-samples were prepared, three made of sole cotyledons and other three of embryos only.

The samples were taken in sealed plastic bags and then air-mailed to the Nutrition and Food Laboratory, Ministry of Agriculture and Food Security, in Maputo.

2.2. Sample processing

Nutritional quality assessment was done by determining the content of moisture, proteins, fats, ash and fibers and carbohydrates. The official method of analysis, number 985.14 (AOAC, 2000), was used to determine moisture content. Similarly, AOAC methods number 923.03, number 984.22 and number 950.48 were used to estimate ash, fats and proteins respectively. For the determination of fibers, AOAC method number 2001.03 was used followed by the gravimetric AOAC International method number 962.02 to determinate the content of carbohydrates (Illionois, 1985).

2.3. Statistical data analysis

Data were treated as a completely randomized design with two treatments (cotyledons and embryos) and three replicates for each (Petersen, 1994). Analysis of variance (ANOVA) was performed in SAS (Statistical Analysis System, version 9.0, 2002) and treatment means separated.

3. RESULTS

Analysis of proximate data from three replicate samples indicates that there are highly significant differences in moisture, fats, proteins, carbohydrates and ash content between embryos and cotyledons from cashew kernels, Table 1. For fibers, no significant differences were detected.

Table 1. Analysis of variance of a completely randomized design experiment with two categories of cashew kernels (treatments) and three replicates – *Analyse de la variance d'une expérience randomisée avec deux catégories d'amande de cajou (traitement) et trois répétitions.*

Variable	Source	Degrees of freedom	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F	CV (%)
Moisture	Treatment	1	5.02335	5.02335	1403.17	<0.0001***	1
	Error	4	0.01432	0.00358			
	Total error	5	5.03767				
Ash	Treatment	1	1.42106667	1.42106667	687.61	<0.0001***	1.4
	Error	4	0.00826667	0.00206667			
	Total error	5	1.42933333				
Fiber	Treatment	1	2.98215	2.98215	0.29	0.6188NS	8.2
	Error	4	41.1344	10.2836			
	Total error	5	44.11655				
Fats	Treatment	1	136.1360667	136.1360667	42.74	0.0028***	4.6
	Error	4	12.7420667	3.1855167			
	Total error	5	148.8781333				
Protein	Treatment	1	4.50666667	4.50666667	50.18	0.0021***	1.4
	Error	4	0.35926667	0.08981667			
	Total error	5	4.86593333				
Carbohydrates	Treatment	1	37.35015	37.35015	8.81	0.0412**	6.6
	Error	4	16.95472	4.23868			
	Total error	5	54.30487				

3.1. Moisture

The content of moisture in embryos was clearly superior to that in cotyledons (Figure 1).

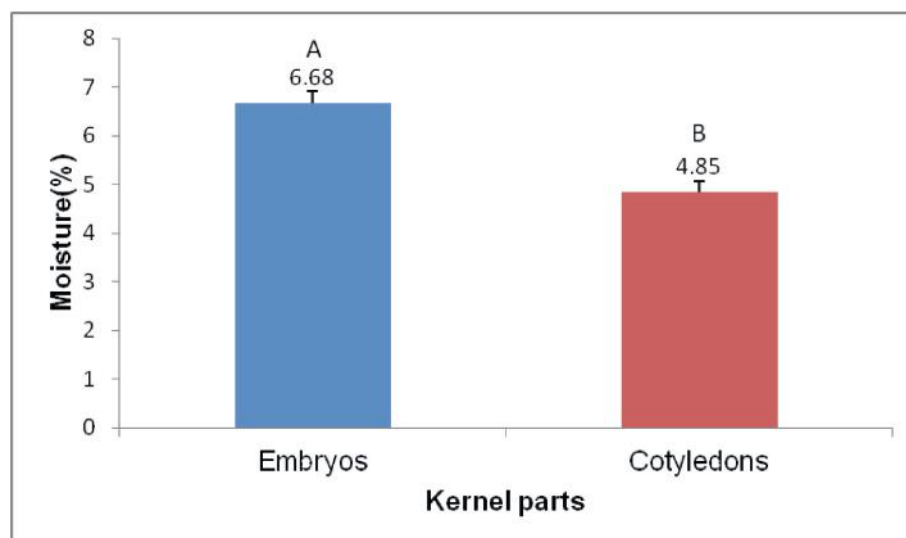


Figure 1. Effect of cashew (*Anacardium occidentale* L.) kernel parts differentiation on the content of moisture. The big bars and the numbers on top are the means. Little bars represent the standard error of the mean. The letters on top of the bars, represent statistical comparison of the means – *Teneur en humidité des différentes parties des amandes de cajou.*

3.2. Proteins and ash

Proximate composition in proteins (Figure 2a) and ash (Figure 2b) was higher in embryos than cotyledons.

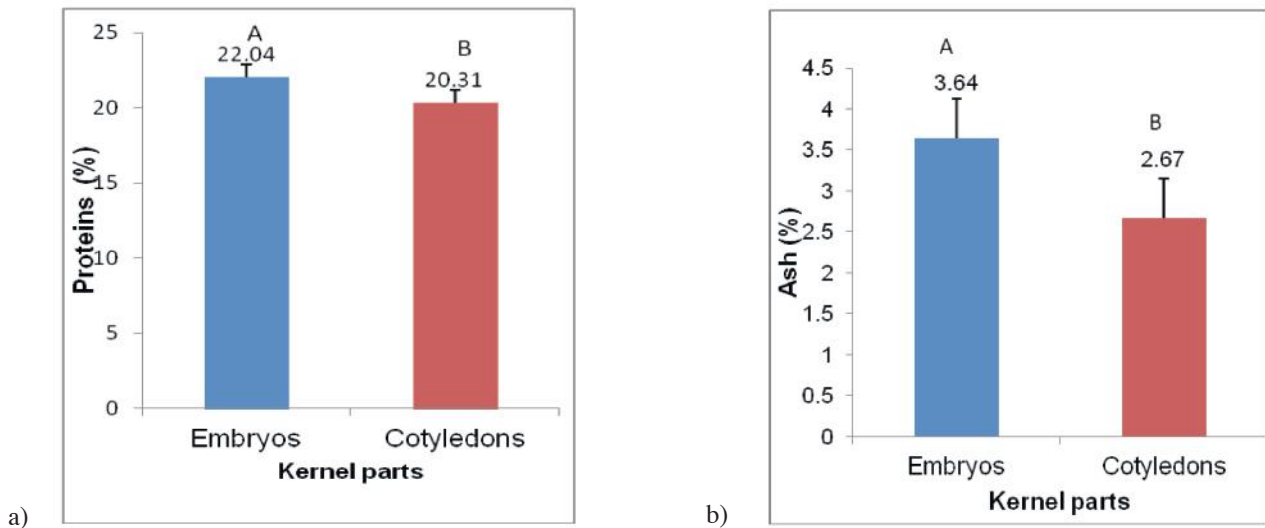


Figure 2. Effect of cashew (*Anacardium occidentale* L.) kernel parts differentiation on the content of proteins a) and ash b). The big bars and numbers on top are the means. The little bars represent the standard error of the mean. The letters on top of the bars, represent statistical comparison of the means in each graph – *Teneur en protéine (a) et en cendre (b) des différentes parties des amandes de cajou.*

3.3. Carbohydrates and Fats

The content in carbohydrates was higher in embryos than that in cotyledons (Figure 3a). In contrast, the proximate composition in fats was significantly lower in embryos than that in cotyledons (Figure 3b).

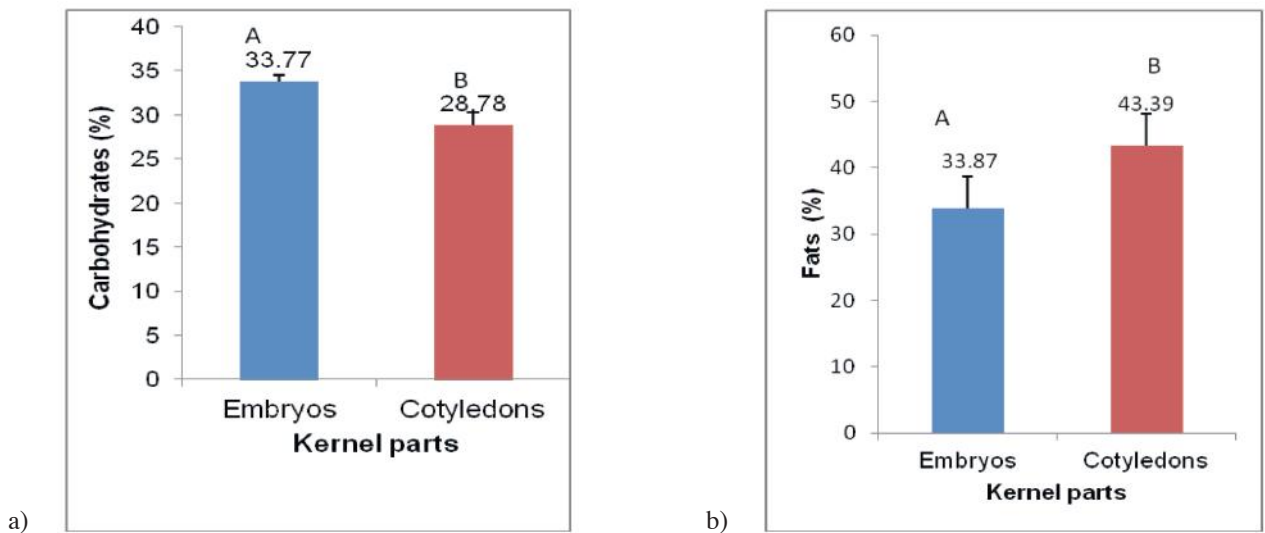


Figure 3. Effect of cashew (*Anacardium occidentale* L.) kernel parts differentiation on the content of carbohydrates a) and fats b). The big bars and the numbers on top are the means. The little bars represent the standard error of the mean. The letters on top of the bars represent statistical comparison of the means in each graph – *Teneur en glucide (a) et en matière grasse (b) des différentes parties des amandes de cajou.*

4. DISCUSSION

The mean values of fiber content were not statistically different. They were in the range 3.2 and 4.6% for cotyledons and embryos respectively. The average for the whole kernel is 3.9%. Findings from Rico et al. (2016) refer to 3.7% as the fiber average for Mozambican kernels and 3.6% as the average from kernels of the major cashew producing countries of the world.

Moisture mean values of 7.50 and 8.6% in kernels have been reported (Ferrão, 1995; Aroyeun, 2009). Our findings are in the range of 6.68 in embryos and 4.85% in cotyledons. If we consider the two parts and estimate the average, by deduction, the whole kernels would have 5.77% of moisture. Such differences may be due to oven drying temperature and duration differences before peeling the kernels (da Silva Santos, 2014). Other authors have also registered differences in moisture content of cashew kernels (Rico et al., 2016).

In this study, the mean content of proteins was 20.31% in cotyledons and 22.04% in embryos. A simple arithmetic estimate of average returns 21.18% which follows in line with research findings from Brazil (Rico et al., 2016) who reported protein content in the range of 14 to 21%. Similarly, Ferrão (1995) retrieved protein content on kernels in the interval of 20.75 to 21.83% from Mozambique and Brazil.

The amount of ash in cashew kernel has also been reported by Ferrão (1995) and Aroyeun (2009). Their estimation was in the range of 2.52 and 2.69%. In our experiment it varied between 2.67 in cotyledons and 3.64 in embryos suggesting an average of 3.16% for whole kernels. Therefore, our finding is slightly higher than the estimates from the first three authors but aligned with da Silva Santos (2014) who reported ash content of 3.2%.

Carbohydrate mean estimates from the current study were 28.78% in cotyledons against 33.77% in embryos. Rico et al. (2016) reported a mean of 20.5%. On total fats, previous studies indicate that fats constitute the major portion of kernels (Gazzolla et al., 2006; Rico et al., 2016). Our study is in line with these observations. The average of the fat content is 31.28%. This is higher than the average of any other nutritional estimate made in this study. According to the work conducted by Gazzolla et al. (2006), fats in cashew kernels are in the range of 46.64 to 48.35%. Our results report fats in the range of 33.87 to 43.39 respectively in embryos and cotyledons. Therefore, the average is 38.63% which is lower than that presented by the researchers cited above.

A number of publications are available on the nutritional composition of cashew kernels (Ros, 2010; Ogunsina, 2013; Dandena & Corsi, 2015; Rico et al., 2016) but none is found reporting on differential proximate composition. Therefore, this report is the first to discuss relative composition of kernel embryos and cotyledons separately. The relevance of this approach becomes evident when it is recognized that powdery mildew (*O. anacardii* Noak), an endemic disease to East Africa, results in relatively higher breakage of kernels during nut processing (Uaciquete & Nicurrupe, 2016) and thus leads to a substantial reduction in kernel price (Ogunsina, 2013) just because the shape has changed. In fact, the kernel shapes (wholes, butts and splits) are principal determinants in international grading systems followed by color and size (AFI, 2016). Our results introduce a nutritional approach into the kernel grading and pricing systems.

Based on differential analysis of kernel parts, we clearly demonstrated that proximate composition in moisture, ash, proteins and carbohydrates in embryos was significantly higher than in cotyledons. Only the content in crude fats was significantly lower in embryos when compared to cotyledons probably because cotyledons are known to play an important role as source of nutrients during the establishment of the plant on poor soils (Milberg et al., 1997). Therefore, structurally more complex nutritional molecules, such as fats, will have to be preserved in the cotyledons while the simpler and quickly required molecules for radicle and plumellae growth are kept in the embryos directly.

In summary our findings are in accordance with other researchers for the content of individual nutritional component in the kernels as whole kernels. However, the study clearly emphasizes the importance of their differential distribution. By this principle, we recommend an attractive pricing of baby butts (BB) grade which generally consists of plumellae and broken kernels not passing through a sieve mesh of 1.70 mm, and therefore are more nutritious than any other grade. More studies to look at minerals and vitamins distribution by category are also recommended. In addition, the effect of powdery mildew derived stress on distribution of cashew kernel nutrients needs to be evaluated.

Acknowledgements

The authors wish to thank Dr Leonel Moiana of the National Agriculture Research Institute-Mozambique for the review on the manuscript. Mrs Helena Matusse (Water and food Laboratory-IIAM, Maputo) for the provision of laboratorial analytic services; Mr Americo Matos from the cashew processing factory –Condor Nuts, Anchilo and his team who assisted with the grading and processing of cashew nuts. Special thanks to all our colleagues at Nassuruma Cashew Research Station, Nampula, Mozambique and UniLurio.

Bibliography

- A.O.A.C., 2000. *Official methods of analysis. Association of official Agricultural Chemists*. Volume 1. 17th Edition, Horwitz, AOAC International.
- Adeigbe O.O., Olasupo F.O., Adewale B.D. & Muiyiwa A.A., 2015. A review on cashew research and production in Nigeria in the last four decades. *Scientific Research and Essays*, **10**(5),196-209.
- AFI, 2016. *Nut & Agricultural Products Section*. Specifications for cashew Kernels.
- Aroyeun S.O., 2009. Utilization of cashew kernel meals in the nutritional enrichment of biscuit. *African Journal of Food Science*, **3**(10),316-319.
- Dendena B. & Corsi S., 2015. Cashew, from seed to market: A review. *Agronomy for sustainable development*, **34**(4), 753-772.
- FAO, 2014. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. Web. <http://faostat.fao.org/default.aspx>
- Ferrão J.E.M., 1995. *O cajueiro (Anacardium occidentale L.)*. Instituto de Investigação Científica Tropical, Lisboa, Portugal.
- Gazzolla J. et al., 2006. *A Amêndoa da Castanha de caju: Composição e Importância dos Ácidos Graxos – Produção e Comércio Mundiais*. XLIV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural.
- Gyedu-Akato E. et al., 2014. Assessment of post-harvest handling effects on quality of cashew nuts and kernels in Ghana. *Journal of Scientific Research & Reports*, **3**(7), 953-965.
- Hammed L.A., Anikwe J.C. & Adedeji A.R., 2008. Cashew nuts and production development in Nigeria. *American-Eurasian Journal of Scientific Research*, **3**(1), 54-61.
- Illionois, 1985. Official and tentative methods of the American Chemists Societ., 3rd Edition. Method Ba.
- Milberg P. & Lamont B.B., 1997. Seed/cotyledon size and nutrient content play a major role in early performance of species on nutrient-poor soils. *New Phytologist*, **137**(4), 665-672.
- Monteiro F. et al., 2015. Tracking cashew economically important diseases in the West African region using metagenomics. *Frontiers in Plant Sciences*, **6**(482), 1-6.
- Ogunsina B.S., 2013. Crackability and chemical composition of pre-treated cashew nuts using a hand-operated knife cutter. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, **15**, 275-283.
- Ogunwolu S.O., Henshaw F.O., Oguntona B.E. & Afolabi O.O., 2015. Nutritional evaluation of cashew (*Anacardium occidentale* L.) nut protein concentrate and isolate. *African Journal of food science*, **9**(1), 23-30.
- de Assis Paiva F.F., de Sousa Leite L.A., de Paula Pessoa P.F.A. & da Silva Neto R.M. , 2006. *Processamento de castanha de caju*. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, DF, Brazil.
- Petersen R.G., 1994. *Agricultural field experiments. Design and Analysis*. Marcel Dekker, Inc. New York, USA.
- Rabanny C., Rullier N. & Ricau P., 2015. *The African cashew sector in 2015. Analysis of cashew production, processing and trade in Africa*. General trends and country profiles. RONGEAD-iCA.
- Rico R., Bulló M. & Salas-Salvadó J., 2016. Nutritional composition of raw fresh cashew (*Anacardium occidentale* L.) kernels from different origin. *Food Science & Nutrition*, **4**(2), 329-338.
- Rocha et al., 2015. *Influência do oídio em castanhas do cajueiro CCP 76*. XV encontro de pós-graduação e pesquisa. 19-23 October. Universidade de Fortaleza, Fortaleza, Brazil.
- Ros E., 2010. Health benefits of nut consumption. *Nutrients*, **2**(7), 652-82.
- Serrano L.A.L., Neto F.C.V., Melo D.S. & Cardoso J.E., 2013. Influência do oídio nas castanhas de diferentes genótipos do cajueiro. [Influence of the powdery mildew in cashew nuts genotypes]. *Embrapa 40. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, V Serie, **76**(1), 1-22.
- Shomari S.H. & Kennedy R., 1999. Survival of *Oidium anacardii* on cashew (*Anacardium occidentale*) in southern Tanzania. *Plant Pathology*, **48**(4),505-513.
- da Silva Santos J., 2014. *Caracterização Físico-Química da Amêndoa da Castanha de Caju (Anacardium occidentale L.) Tostada, Comercializada nos Centros Urbanos de Teresina-Pi*. <http://www.abq.org.br/cbq/2014/trabalhos/10/5324-18466.html>. [online] July, 2016
- Uaciquete A. & Nicurrupio J.R., 2016. Direct effect of cashew nut scarification associated with powdery mildew in the processing industry. *Journal of Agricultural Studies*, **4**(3), 74-92.
- Viswalingam K., 2017. Studies on the effect of moisture content, nut size distribution, steam exposure time on the whole kernel outturn of cashew. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, **10**(1),10-15.
- Zhongrun Z., Lihong L. & Uaciquete A., 2013. *Diseases and insect pests of cashew in Mozambique*. Tropical Crops Genetic Resources Research Institute, CATAS. China Agriculture Press.

21. Performances et impacts socio-économiques de la technologie de valorisation énergétique des coques d'anacarde (*Anacardium occidentale* L.) H2CP pour la production de vapeur

Ibrahim NEYA^{(1)*}, Neil Bianchi⁽²⁾, Yohan Richardson⁽³⁾, Billy Yarro⁽¹⁾, Julia Artigas Sancho⁽²⁾, Abel Dègnimon Sogbegnon⁽²⁾

(1) Practical Action Consulting, BP 25,448 10,700 Dakar Fann, Sénégal

(2) Fullwell Mill, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

(3) Institut International d'Ingénierie en Eau et Environnement (2iE), Laboratoire Énergies Renouvelables et Efficacité Énergétique, Rue de la Science – 01 BP 594 Ouagadougou 01, Burkina Faso

*E-mail auteur correspondant : ibrahim.neyapro@gmail.com

Description du sujet. La technologie de four à pyrolyse dénommée *High Calorific Cashew Pyrolyser* (H2CP) permet la pyrolyse des coques d'anacarde suivie de la combustion des gaz de pyrolyse pour produire la chaleur qui fait fonctionner une chaudière utilisée dans le processus de transformation des noix d'anacarde.

Objectifs. Ce travail a pour objectifs de réaliser une évaluation des performances techniques de la technologie H2CP et d'étudier ses impacts sur les plans socio-économiques au sein d'une unité de transformation semi-industrielle.

Méthode. Les performances techniques sont déterminées à partir de mesures réalisées lors du fonctionnement de la technologie H2CP. Les impacts socio-économiques sont évalués à partir des données collectées au cours de cinq années d'utilisation de la technologie.

Résultats. Les rendements massiques de charbon et gaz obtenus avec la technologie H2CP sont respectivement de 21 % et 79 % et leurs rendements en énergie sont respectivement de 27 % et 73 %. Le temps de retour simple sur investissement de la technologie H2CP est évalué à 123 journées de production.

Conclusions. L'adoption de la technologie H2CP a permis à l'unité industrielle d'accroître sa capacité de production tout en réalisant des bénéfices sur les plans socio-économiques.

Performance and economic impacts of H2CP cashew nut shells processing technology for steam production at Gebana Afrique processing plant

Description of the subject. The pyrolysis technology named High Calorific Cashew Pyrolyser (H2CP) performs the pyrolysis of cashew nut shells and the combustion of pyrolysis gases to produce heat for a boiler used in the cashew nut transformation process.

Objectives. The objectives of this study are to carry out an assessment of the technical performances of the H2CP technology and study its socio-economic impacts within a semi-industrial processing unit.

Method. The technical performances are determined from the measurements made during the operation of the H2CP technology. Socio-economic impacts are assessed based on data collected during the five years of use of the technology.

Results. The mass yields of char and gas obtained by using the H2CP technology were respectively 21% and 79% and their corresponding energy yields were respectively 27% and 73%. The simple payback period of the H2CP technology was estimated at 123 days of production.

Conclusions. The implementation of the H2CP technology enabled the processing unit to increase its production capacity while achieving socio-economic.

1. INTRODUCTION

Au Burkina Faso, les premières unités semi-industrielles et industrielles de transformation locale d'anacarde ont été mises en place à partir de 2001. Pendant la première décennie, la combustion était le principal procédé thermochimique mis en œuvre pour produire l'énergie thermique, avec comme combustibles le bois, le gaz butane et les coques d'anacarde. Cependant, ces pratiques conduisent à des problèmes d'ordre environnemental et sanitaire. Les unités locales font également face à des problèmes de gestion des déchets de transformation, en particulier les coques d'anacarde. Il s'agit de difficultés relatives à l'évacuation des coques et à la pollution des sols et de la nappe phréatique par infiltration du baume de cajou ou *cashew nut shell liquid* (CNSL), liquide acide contenu dans les coques. Même si le pouvoir calorifique inférieur (PCI) des coques d'environ 21,3 MJ.kg⁻¹ (Tagutchou & Naquin, 2012) est supérieur à celui du bois (17-18 MJ.kg⁻¹), la combustion directe des coques d'anacarde dans des procédés conventionnels génère des fumées abondantes, âcres et irritantes pour les yeux, d'où la nécessité de développer des technologies de conversion thermochimique adaptées. Bien que la caractérisation des biomasses a fait l'objet de nombreuses études (Yaman, 2004), les études sur le traitement thermochimique des coques d'anacarde sont relativement peu nombreuses et assez récentes (Tagutchou & Naquin, 2012). Elles portent essentiellement sur le développement de procédés de pyrolyse et de gazéification des coques d'anacarde (Das & Ganesh 2003 ; Das et al., 2004 ; Singh et al., 2006 ; Tippayawong et al., 2010 ; Tsamba et al., 2006 ; Tagutchou & Naquin, 2012 ; Godjo et al., 2015 ; Godjo & Lanmantchion, 2016).

Les travaux réalisés par Tagutchou & Naquin (2012) dans le cadre du projet Cajouvalor initié par le CEFREPADE1 et le RONGEAD2 ont permis de développer une technologie de four à pyrolyse nommée H2CP (*High Calorific Cashew Pyrolyser*) pour la valorisation énergétique des coques d'anacarde, résidus de la transformation. La technologie H2CP consiste en la pyrolyse des coques d'anacarde dans un four, suivie de la combustion des gaz de pyrolyse produisant ainsi de la chaleur pour alimenter une chaudière utilisée dans le processus industriel de transformation des noix d'anacarde. La pyrolyse des coques d'anacarde dans le four permet d'obtenir trois types de produits : solide (charbon), liquide (huile ou fraction condensable des gaz) et gazeux (gaz incondensable) : 17 % de charbon, 47,5 % d'huile et 35,5 % de gaz incondensables (Tagutchou & Naquin, 2012) à 450 °C.

Le prototype de la technologie H2CP a été installé à l'unité de transformation d'anacarde de Gebana Afrique en juillet 2012 dans la ville de Bobo-Dioulasso. La capacité annuelle de l'usine était de 1 250 tonnes en 2016, avec des technologies de transformation semi-industrielle. L'étude de Godjo et al. (2015) a présenté une expérience réussie de transfert de la technologie H2CP à l'unité de transformation d'anacarde de Nad & Co entre quatre principaux acteurs : les concepteurs, les acteurs de l'introduction du four à pyrolyse au Bénin, les fabricants locaux et les industriels bénéficiaires de la technologie. D'après cette étude, dans le four à pyrolyse installé à l'usine de Nad & Co, la pyrolyse de 130 kg de coques pendant 4h20 a permis la cuisson de 1 280 kg de noix d'anacarde, le choc thermique de 216 kg et la production de 23 kg de charbon.

La conception technique du four à pyrolyse ainsi que la capacité de la technologie à réaliser la pyrolyse de biomasses telles que les coques d'anacarde, *Anacardium occidentale* L. (Sengar et al., 2012), les coques de noix de coco, *Cocos nucifera* L. (Siengchum et al., 2013), les épluchures de manioc, *Mahihot esculenta* Crantz (Moreno & Giraldo 2010a, 2010b), les coques de noix de palme, *Elaeis guineensis* Jacq. (Jia & Lua 2008 ; Lua et al., 2006), et la balle de riz, *Oryza sativa* L. (Tsai et al., 2006) ont fait l'objet des travaux de Godjo & Lanmantchion (2016). Les gaz issus de la pyrolyse des biomasses subissent une combustion au niveau du brûleur d'une chaudière pour produire la vapeur nécessaire aux différents procédés de transformation énergivores dans les unités de transformation locale.

Même si les performances techniques des fours H2CP sont connues, à la connaissance des auteurs, aucune publication ne traite des impacts socio-économiques de la technologie sur la base de retour d'expériences de son fonctionnement sur un site expérimental. La présente étude vise donc à approfondir les connaissances sur les performances de la technologie H2CP et étudier les impacts sur le plan socio-économique dans une unité de transformation semi-industrielle de coques d'anacarde en amandes de cajou.

¹ Centre Francophone de REcherche Partenariale sur l'Assainissement, les Déchets et l'Environnement.

² Réseau nON-Gouvernemental Européen sur l'Agroalimentaire, le commerce, l'environnement et le Développement.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Présentation de l'installation d'étude

L'installation étudiée se compose d'un four à pyrolyse (réacteur de pyrolyse), thermiquement isolé, de 1,50 m de diamètre et 1,50 m de hauteur fournissant de la chaleur à une chaudière verticale pyrotubulaire de 800 litres. Les différentes fonctionnalités des principales composantes du système telles que mentionnées dans la figure 1 sont les suivantes :

Porte de chargement et déchargement. L'introduction des coques qui subiront la combustion pour fournir l'énergie nécessaire à la pyrolyse est réalisée à partir de la porte de chargement. Le déchargement du charbon de coque est possible grâce à cette ouverture, en bas du gabarit.

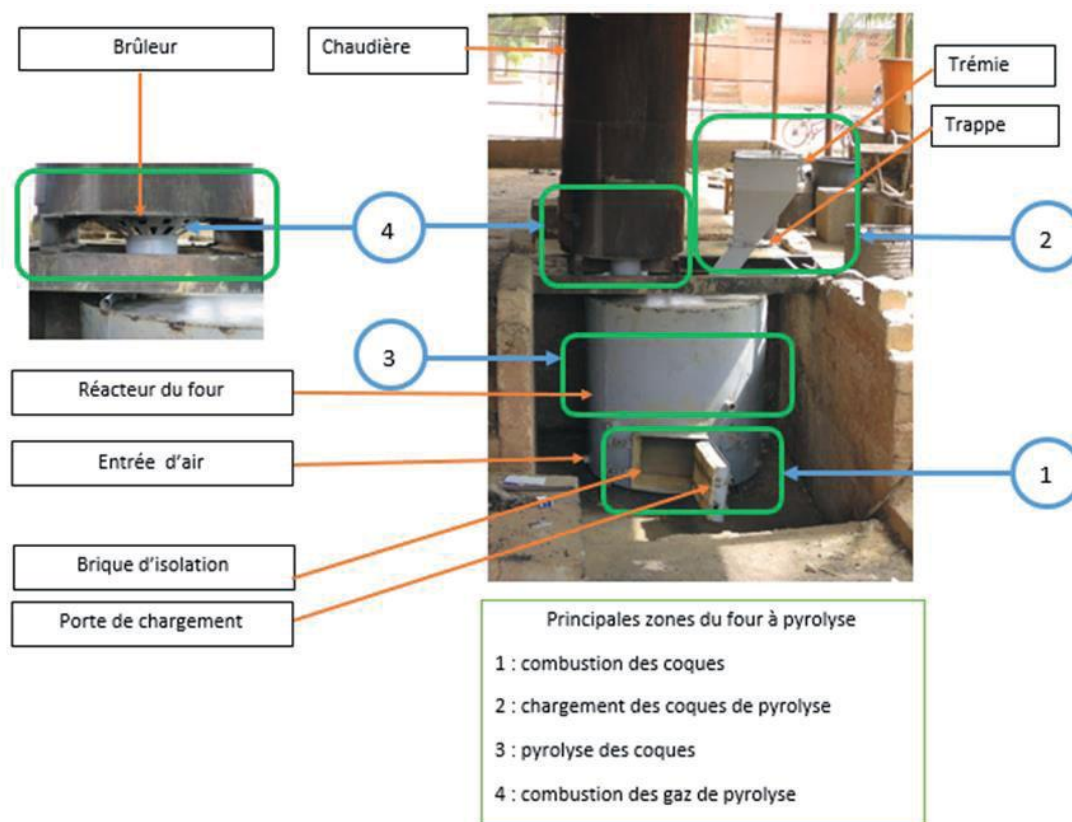


Figure 1. Les différentes composantes du système de production de chaleur – *The different components of the heat production system.*

Entrées d'air. Les entrées d'air permettent l'admission de l'oxygène lors de la combustion des coques d'anacarde. C'est ce procédé qui fournit l'énergie nécessaire à la pyrolyse.

Trémie et trappes. La trémie de chargement est conçue pour l'alimentation en coques du réacteur. Elle est fermée en haut avec un couvercle, et en bas par deux trappes. L'ouverture des trappes permet l'alimentation du réacteur et la fermeture de la trappe empêche la remontée de gaz de pyrolyse vers la trémie en cours de fonctionnement.

Réacteur. Le réacteur de pyrolyse est une virole constituée d'un cylindre de tôles en acier de 4 à 6 mm d'épaisseur. Une couche de briques assure l'isolation thermique à l'intérieur du cylindre et sous le toit, protège l'acier de la chaleur et des produits de la pyrolyse et de la combustion. À l'intérieur du réacteur, dans la partie basse, se trouve une grille. Elle est le support sur lequel se déroule la combustion des coques. Le temps minimum requis de combustion sur toute la surface de la grille avant le chargement des coques dans le four est de 5 min. Le reste du volume du réacteur sert à stocker les coques pour la combustion et la pyrolyse.

Brûleur. Le brûleur est monté au-dessus du réacteur de pyrolyse. Il permet la combustion des gaz générés par la pyrolyse. Une trappe entre le réacteur et le brûleur permet d'empêcher la remontée des gaz vers le brûleur.

La figure 2 présente les différents flux de matières impliqués dans le système de production de vapeur. Les matières entrantes sont les coques, l'eau et l'air. Le gaz issu de la pyrolyse des coques dans le four subit une combustion au niveau du brûleur pour fournir l'énergie nécessaire à la production de la vapeur dans la chaudière.

La détermination des performances techniques du système est réalisée suivant les conditions réelles de travail sur site. L'état initial correspond au système à la température ambiante avec le brûleur éteint. L'état final est marqué par l'extinction du brûleur précédée d'un arrêt d'approvisionnement en coques du four à pyrolyse et d'un arrêt de l'extraction de vapeur pour les besoins des procédés de transformation.

Le taux de valorisation des coques d'anacarde représente la proportion de coques valorisées par rapport aux coques produites après transformation. La masse de coques produites représente en pratique 74 % de la masse des noix transformées d'après des mesures réalisées sur le site de Gebana Afrique.

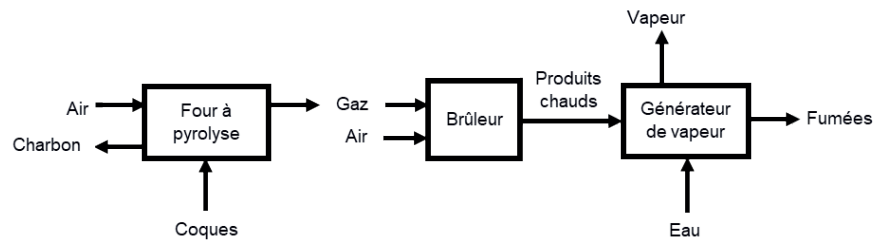


Figure 2. Flux de matières intervenant dans le fonctionnement du système four à pyrolyse + chaudière – *Material flow involved in the operation of the pyrolysis furnace + boiler system.*

2.2. Bilan masse énergie du four à pyrolyse

La loi de conservation de masse permet d'estimer la masse de gaz m_{gaz} connaissant la masse de coques m_{coq} et la masse de charbon m_{char} :

$$m_{\text{gaz}} = m_{\text{coq}} - m_{\text{char}}$$

Les masses de coques valorisées et de charbon de coques sont mesurées avec une balance à ressort Camry de 50 kg. L'apport en énergie des coques peut être déterminé à partir de la masse des coques m_{coq} et du PCI des coques PCI_{coq} :

$$E_{\text{coq}} = m_{\text{coq}} \text{PCI}_{\text{coq}}$$

De même, sur la base de la masse de charbon, m_{char} , du PCI du charbon, PCI_{char} , de sa température, T_{char} , et de sa capacité calorifique massique, $C_{p, \text{char}}$, on évalue l'énergie contenue dans le charbon E_{char} :

$$E_{\text{char}} = m_{\text{char}} \text{PCI}_{\text{char}} + m_{\text{char}} C_{p, \text{char}} (T_{\text{char}} - T_{\text{ref}})$$

T_{ref} est la température de référence pour l'évaluation de l'enthalpie sensible du charbon.

Les valeurs de PCI humide – 21 088 kJ.kg⁻¹ pour les coques et 27 179 kJ.kg⁻¹ pour le charbon (Tagutchou & Naquin, 2012) – seront utilisées pour les estimations des apports en énergie. L'énergie sensible du charbon n'étant pas récupérable, le terme $m_{\text{char}} C_{p, \text{char}} (T_{\text{char}} - T_{\text{ref}})$ sera inclus dans le terme des pertes thermiques.

L'énergie contenue dans les gaz de pyrolyse (énergie chimique et énergie sensible) peut être exprimée par l'équation suivante :

$$E_{\text{gaz}} = m_{\text{coq}} \text{PCI}_{\text{coq}} - m_{\text{char}} \text{PCI}_{\text{char}} - \text{Pertesthermiques}$$

Les pertes thermiques représentent la chaleur perdue provenant du rayonnement des parois, de l'inertie thermique du réacteur et des charbons de coques d'anacarde qui sont récupérés chaud. En raison de l'isolation thermique du réacteur, ces pertes peuvent être considérées faibles par rapport aux autres quantités d'énergie mises en jeu et par suite négligées.

2.3. Méthodologie de l'analyse socio-économique

Sur la base de retour d'expériences, la durée de vie du four à pyrolyse est estimée à cinq ans avec une campagne annuelle de 260 jours. L'analyse financière du four à pyrolyse s'intéresse au coût d'investissement du four et aux économies réalisées, comparativement à la période durant laquelle le bois et le gaz étaient utilisés pour produire la vapeur. Le temps de retour sur investissement mesure la période après laquelle l'investissement initial du projet est récupéré. L'analyse de l'impact social est basée sur la réduction du temps de travail traduit par le nombre d'heures de travail par tonne de noix transformées.

3. RÉSULTATS

3.1. Performances techniques du four à pyrolyse

Le tableau 1 présente les données concernant l'expérience menée sur le four H2CP dans le cadre de cette étude. Il en ressort que les masses de charbon et de gaz obtenues représentent respectivement 21 % et 79 % de la masse des coques exploitées. En termes d'énergie, le charbon et le gaz contiennent respectivement 27 % et 73 % de l'énergie produite par la pyrolyse des coques.

Tableau 1. Données du fonctionnement du four à pyrolyse – *Data on the operation of the pyrolysis furnace.*

Paramètres	Valeurs
Masse de coques d'anacarde utilisées (kg)	525
Masse de charbon produit (kg)	109
Durée de combustion des gaz de pyrolyse	8 h 48 min
Quantité d'énergie des gaz de pyrolyse (GJ)	8,11
Puissance moyenne estimée de la flamme (kW)	256

L'énergie produite a servi à réaliser quatre cuissons de noix d'anacarde dans un autoclave de capacité 320 kg, quatre cuissons de noix d'anacarde dans un autoclave de capacité 400 kg et trois chocs thermiques d'amandes d'anacarde dans une chambre de capacité 240 kg d'amande.

La quantité totale de noix transformées étant de 2 880 kg et la quantité de coques valorisées de 525 kg, le taux de valorisation des coques est de 25 %.

3.2. Impacts du four à pyrolyse sur les plans socio-économiques

Analyse financière du premier four à pyrolyse. Le four à pyrolyse permet d'accroître la capacité de transformation des unités locales et par suite leur chiffre d'affaires. Entre la date d'installation en juillet 2012 et décembre de la même année, l'unité de Gebana a vu sa capacité de transformation augmenter de 500 t grâce à l'installation du premier four. Ceci permet aussi de réduire les coûts d'évacuation des coques et les coûts d'approvisionnement en bois. Le cash flow net à la fin de la première année d'exploitation du four à pyrolyse a été de 2 066 000 F CFA (Tableau 2).

Tableau 2. Coûts et revenus liés à l'installation du premier four à pyrolyse à Gebana Afrique – *Costs and revenues related to the installation of the first pyrolysis furnace in Gebana Africa.*

Désignation	Cash flow out (F CFA)	Cash flow in (F CFA)	Total (F CFA)
Fabrication du four à pyrolyse	-900 000		-900 000
Installation du four à pyrolyse	-970 000		-970 000
Économie pour les coques valorisées dans le four à pyrolyse		561 000	561 000
Économie par substitution du bois		3 375 000	3 375 000
Total	-1 870 000	3 936 000	2 066 000

Le tableau 3 présente le coût d'investissement total de la conception et installation du four à pyrolyse, les économies engrangées à la première année et le temps de retour simple sur investissement.

Tableau 3. Indicateurs financiers de l'analyse économique du premier four à pyrolyse – *Financial indicators of the economic analysis of the first pyrolysis furnace.*

Investissement	1 870 000 F CFA
Économie annuelle	3 936 000 F CFA
Temps de retour sur investissement	123 jours

Impacts sociaux du four à pyrolyse. Le tableau 4 montre une comparaison du temps de travail dans les unités de transformation de Nad & Co du Bénin et Gebana Afrique du Burkina en vue de caractériser l'impact social du four à pyrolyse à travers l'efficacité mesurée par le nombre d'heures de travail par tonne de noix transformées.

Tableau 4. Comparaison des performances de fours à pyrolyse – *Comparison of the performance of pyrolysis furnaces.*

Noix cuites (kg.jour ⁻¹)	Durée (heures)	Efficacité	Date	Lieu et procédés alimentés par le four H2CP	Coques pyrolyse (kg.jour ⁻¹)
240	4,2	17,50	2015	Nad&Co ¹ ; cuisson et choc thermique	130
2 160	11,0	5,09	2015	Gebana Afrique; cuisson et choc thermique ²	251
2 880	8,5	2,95	2016	Gebana Afrique ³ ; cuisson et choc thermique	525
4 925	7,5	1,52	2017	Gebana Afrique; cuisson	288

¹ (Godjo et al., 2015)

² Après le calorifugeage de la chaudière

³ Un deuxième four à pyrolyse alimente choc thermique et séchage

4. DISCUSSION

4.1. Performances techniques du four à pyrolyse

Le tableau 1 montre que la pyrolyse de 525 kg de coques d'anacarde a produit une énergie de gaz d'une valeur énergétique de 8 109 MJ à une puissance moyenne de 256 kW. Le four à pyrolyse peut donc être utilisé dans des industries dont la consommation énergétique thermique sous forme de chaleur est de 8 GJ ou la demande en chaleur de 250 kW.

Les rendements massiques des produits de la pyrolyse (21 % de charbon et 79 % de gaz) sont proches des valeurs trouvées par Godjo et al. (2015) (18 % de charbon et 82 % de gaz) et de celles de Tagutchou & Naquin (2012) (17 % de charbon et 83 % de gaz). De même, les rendements en énergie des produits de la pyrolyse (27 % de charbon et 73 % de gaz) sont proches des valeurs obtenues par Godjo et al. (2015) (26 % de charbon et 84 % de gaz) et celles de Tagutchou & Naquin (2012) (21 % de charbon et 79 % de gaz). Il s'ensuit que le four à pyrolyse favorise la production de gaz au détriment de celle du charbon. L'exploitation du four à pyrolyse pour produire des gaz qui sont ensuite brûlés en vue de la production de la vapeur est donc justifiée. Autrement, même si la combustion du charbon de coques dans les chaudières à charbon est possible, elle ne doit pas être privilégiée face à la combustion directe des gaz de pyrolyse des coques.

Le taux de valorisation de 25 % implique que 75 % des coques produites ne sont pas valorisées par le procédé de pyrolyse et constituent par la suite des déchets à gérer sur le site de transformation. Aussi, la totalité des coques produites peut être valorisée grâce à quatre fours à pyrolyse. L'opportunité de revendre ces coques à d'autres chaufferies à des fins de production de chaleur est celle exploitée par l'unité étudiée. La valorisation des coques restantes peut aussi être réalisée par le moyen de carbonisateurs pour la production de briquettes de charbon de coques.

4.2. Impacts socio-économiques du four à pyrolyse

Le coût d'investissement du premier four à pyrolyse évalué à 1 870 000 F CFA d'après le tableau 2 est relativement élevé pour les PME locales. Par contre, le cash flow net de 2 066 000 F CFA à la fin de la première année d'exploitation du four à pyrolyse est un bon indicateur de la rentabilité de l'investissement. À cela s'ajoute le faible risque de l'investissement lié au faible temps de retour sur investissement, évalué à 123 jours de production (Tableau 3), soit pratiquement la moitié de la campagne annuelle. Ces indicateurs financiers ont conduit à l'installation d'un second four à pyrolyse à Gebana Afrique en vue d'accroître la capacité de production de l'unité.

À travers le tableau 4, il peut être observé qu'une augmentation de la production entraîne l'optimisation de l'utilisation du four à pyrolyse, mesurée par la diminution de temps de travail du personnel de la chaufferie par tonne de noix transformées. L'utilisation de deux fours à pyrolyse en parallèle permet de générer plus rapidement la vapeur et d'assouplir les horaires de travail, tout en permettant un rythme de cuisson de 4,9 t pour 7,5 h de travail ; les autres opérations se réalisant avec un deuxième four à pyrolyse qui travaille 24 h par jour. Sept heures et cinquante-quatre minutes de travail sont nécessaires pour le choc thermique de 1 200 kg d'amandes, laissant le reste de la journée pour utiliser la vapeur disponible dans le séchoir.

4.3. Perspectives et recommandations

L'efficacité du four à pyrolyse peut être améliorée à travers des modifications touchant à l'étanchéité du four, à l'adoption d'un brûleur plus approprié, à l'implémentation d'un système d'alimentation en coques automatisé, ou au développement d'une méthode d'extraction du charbon pendant le fonctionnement du four.

Le charbon de pyrolyse pourrait être utilisé dans la confection de briquettes combustibles. L'expérience d'utilisation du charbon de coque dans les foyers du personnel de Gebana en est un exemple. En effet, la valorisation des 75 % de coques non valorisées dans le four à pyrolyse pourrait se faire sur place par moyens de dispositifs de carbonisation appropriés.

La récupération de l'énergie contenue dans les fumées à l'aide d'économiseurs ou réchauffeurs, de façon à baisser la température des fumées lorsque le four fonctionne couplé à une chaudière, contribuera aussi de façon significative à l'efficacité énergétique du système.

Le choix de toutes ces améliorations doit se faire en tenant compte de critères tels que l'accessibilité de la technologie et la rentabilité du système après modifications. L'exploitation du four à pyrolyse H2CP peut s'étendre au-delà de l'industrie de transformation d'anacarde vers des PME qui évoluent dans le séchage des fruits ou qui disposent de chaufferies.

5. CONCLUSIONS

En somme, la technologie H2CP permet de réduire voire de supprimer l'emploi de combustibles conventionnels (bois, gaz), et de limiter le stockage massif des coques. La vapeur nécessaire pour réaliser les procédés de transformation est fournie au moyen d'une chaudière alimentée aux gaz de pyrolyse. La pyrolyse de 525 kg de coques de cajou a produit 109 kg de charbon et 416 kg de gaz. Les rendements massiques des produits de pyrolyse charbon et gaz obtenus sont respectivement de 21 % et 79 % et les rendements en énergie de 27 % et 73 %. L'étude a aussi montré que le système peut produire une puissance de flamme moyenne de 256 kW. De plus, le four à pyrolyse est rentable d'un point de vue financier avec un temps de retour sur investissement évalué à 123 jours de production avec un investissement initial de 1 870 000 F CFA. Aussi, l'installation de fours complémentaires permettra de valoriser toutes les coques produites par la transformation de l'anacarde. Le charbon de pyrolyse peut servir dans les mêmes types d'application que le charbon de bois. Tous ces bénéfices ont incité Gebana à augmenter sa capacité de transformation grâce à l'ajout d'un deuxième four à pyrolyse : l'usine transforme par jour 4 900 kg de noix tout en préservant la satisfaction du personnel. Des améliorations restent toutefois possibles sur le four à pyrolyse pour le rendre plus performant.

Bibliographie

- Das P. & Ganesh A., 2003. Bio-oil from pyrolysis of cashew nut shell: a near fuel. *Biomass and Bioenergy*, **25**(1), 113-117.
 Das P., Sreelatha T. & Ganesh A., 2004. Bio-oil from pyrolysis of cashew nut shell characterisation and related properties. *Biomass and Bioenergy*, **27**(3), 265-275.

- Godjo T. & Lanmantchion F.D., 2016. Design and Performance Evaluation of a Pyrolysis Reactor for Vegetable Biomass conversion to Usable Energy. *International Journal of Energy Engineering*, **6**(5), 1865-1868.
- Godjo T., Tagutchou J.P. & Naquin P., 2015. Valorisation des coques d'anacarde par pyrolyse au Bénin. *Revue Déchets Sciences et Techniques*, **70**,11-18.
- Jia Q. & Lua A.C., 2008. Effects of pyrolysis conditions on the physical characteristics of oil-palm-shell activated carbons used in aqueous phase phenol adsorption. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **83**(2),175-179.
- Lua A.C., Lau F.Y. & Guo J., 2006. Influence of pyrolysis conditions on pore development of oil-palm-shell activated carbons. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **76**(1-2), 96-102.
- Moreno-Piraján J.C. & Giraldo L., 2010a. Adsorption of copper from aqueous solution by activated carbons obtained by pyrolysis of cassava peel. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **87**(2), 188-193.
- Moreno-Piraján J.C. & Giraldo L., 2010b. Study of activated carbons by pyrolysis of cassava peel in the presence of chloride zinc. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **87**(2), 288-290.
- Sanger S.H., Mohod A.G., Khandetode Y.P., Shrirame H.Y. & Deshmukh A.S., 2011. Study of Carbonization for Cashew Nut Shell. *Research Journal of Chemical Sciences*, **1**(2), 43-55.
- Sengar S.H. & Mohod A.G. et al., 2012. Performance Evaluation of Kiln for Cashew Nutshell Carbonization and Liquid. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, **1**(3-4), 103.
- Siengchum T., Isenberg M. & Chuang S.S., 2013. Fast pyrolysis of coconut biomass—an FTIR study. *Fuel*, **105**, 559-565.
- Singh R.N., Jena U., Patel J.B. & Sharma A.M., 2006. Feasibility study of cashew nut shells as an open core gasifier feedstock. *Renewable Energy*, **31**(4), 481-487.
- Tagutchou J.-P. & Naquin P., 2012. Caractérisation et traitement thermochimique des coques d'anacarde en vue de leur valorisation énergétique dans les procédés de transformation artisanale de noix de cajou. *Revue Déchets Sciences et Techniques*, **62**, 28-35.
- Tippayawong N., Chaichana C., Promwangkwa A. & Rerkkriangkrai P., 2010. Gasification of cashew nut shells for thermal application in local food processing factory. *Energy for Sustainable Development*, **15**(1), 69-72.
- Tsai W.T., Lee M.K. & Chang Y.M., 2006. Fast pyrolysis of rice straw, sugarcane bagasse and coconut shell in an induction-heating reactor. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **76**(1-2), 230-237.
- Tsamba A.J., Yang W. & Blasiak W., 2006. Pyrolysis characteristics and global kinetics of coconut and cashew nut shells. *Fuel Processing Technology*, **87**(6), 523-530.
- Yaman S., 2004. Pyrolysis of biomass to produce fuels and chemical feedstocks. *Energy Conversion and Management*, **45**(5), 651-671.

22. Caractérisation par simulation des diamètres des cribles de trommels-calibreurs de noix de cajou (*Anacardium occidentale* L.)

Amara Sissoko*, Moustapha Karam Sangare, Ouattara Adama

Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny, Département de Formation et de Recherche Génie Mécanique et Énergétique, B.P 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

* Email auteur correspondant : sissoko_amara@yahoo.fr

Description du sujet. La conception de trommel-calibreur requiert la connaissance des diamètres à percer sur les cribles et celle des diamètres du produit à trier.

Objectifs. L'étude présentée dans cet article est une investigation sur les dimensions des noix brutes de cajou passant au travers d'alésages de diamètres définis exécutés sur des plaques en acier de construction d'épaisseur 2, 3, 4 et 5 mm. Le choix de ces épaisseurs est surtout guidé par l'intérêt économique qu'il apportera lors de la fabrication des calibreurs de noix brutes de cajou utilisables dans les unités artisanales ou les petites unités de décorticage.

Méthode. En tenant compte des objectifs des industriels, nous allons, par simulation, déduire les séries optimales de diamètres de cribles qu'il convient de retenir pour la conception des trommels-calibreurs utilisant des cribles minces.

Résultats. Une forte corrélation linéaire a été établie entre les diamètres de sortie et les largeurs des noix. Les relevés des masses des noix et celles des amandes qu'elles contiennent ont permis d'associer les diamètres de sortie aux grades des amandes. La simulation de sortie des noix par des cribles de grandes épaisseurs, munis de la série de diamètres (mm) [18-20-22-24-26], montre que trois grades d'amandes dépelliculées sont obtenus à 92,8%. Les mêmes restrictions sont observées avec les séries de diamètres (mm) [17-18,5-20-21,5-23-25], [17,5-19,5-21-22,5-24-26], [17,5-19-20,5-21,5-23-25] et [18-19,5-21-22,5-24-26] percées sur des plaques d'épaisseurs respectives 2, 3, 4 et 5 mm. Les écarts moyens entre les largeurs des noix sortant d'un même diamètre sont de 3,6 mm, 3,37 mm, 3,1 mm et 2,93 mm respectivement.

Conclusions. Le calibrage des noix brutes de cajou, avec des cribles de faibles épaisseurs, permet une prédiction des grades des amandes et une restriction des tris à trois grades.

Characterization of screen diameters of cashew nut (*Anacardium occidentale* L.)

Description of the subject. The design of screening-trommel requires the knowledge of holes diameters to be drilled on the screen and the diameters of the product to be sorted out.

Objectives. The study presented in this article is an investigation on the dimensions of raw cashew nuts passing through holes of defined diameters executed on construction steel plates of 2, 3, 4 and 5 mm thicknesses. The choice of these thicknesses is especially guided by the economic interest which it will bring during the manufacturing of raw cashew nuts screeners usable in craft or small shelling units.

Method. Taking into account the objectives of the manufacturers, we will, by simulation, deduce the optimal series of screen diameters that should be used for the design of trommel-calibrators using thin screens

Results. A clear linear correlation was established between the exit diameters and the cashew nuts widths. The surveys of masses of nuts and kernels that they contain allowed associating the exit diameters with the kernels grades. Nuts exit simulation by large thicknesses screens, provided with the series of diameters [18-20-22-24-26] mm, shows that three grades of peeled kernels are obtained at 92.8%. The same restrictions are obtain with the series of diameters (mm) [17-18.5-20-21.5-23-25], [17.5-19.5-21-22.5-24-26], [17.5-19-20.5-21.5-23-25] and [18-19.5-21-22.5-24-26] drilled on plates of 2, 3, 4 and 5 mm thickness respectively. The average differences between the widths of cashew nuts going out of the same diameter is respectively 3.6 mm, 3.37 mm, 3.1 mm and 2.93 mm.

Conclusions. The sizing of raw cashew nuts, with thin screen thicknesses, allows prediction of kernel grades and restriction of sorting to three grades.

1. INTRODUCTION

L'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) est une plante originaire du Brésil. Il est cultivé dans les régions tropicales humides en Afrique, en Asie et en Amérique latine. Introduit en Côte d'Ivoire dans les années 1951 dans un but de reboisement, l'anacarde est devenu le troisième produit d'exportation après le binôme café-cacao. Plusieurs accessions d'anacardiers se retrouvent dans le verger ivoirien (Djaha et al., 2014). Le fruit prisé de l'anacardier est la noix de cajou ou l'anacarde. C'est un akène qui se développe en premier à l'extrémité d'un pédoncule juteux et comestible appelé pomme de cajou. Une noix est constituée par une coque réniforme au centre de laquelle se trouve une amande entourée d'une pellicule. L'amande est utilisée dans l'industrie alimentaire comme friandise de cocktail, dans les plats cuisinés ou encore en pâtisserie (Gilleo et al., 2011 ; Olife et al., 2013).

Pour la transformation, la noix brute séchée passe par les étapes de calibrage, de cuisson, de décorticage, de dépelliculage, de tri des amandes par grades et couleurs commerciaux et enfin d'emballage des amandes (Duverneuil & Haendler, 1973 ; Lautié et al., 2001 ; Fitzpatrick, 2011).

Le calibrage est une ancienne pratique des industries du cajou qui avait pour objectif de définir, par tri manuel, trois classes de grosseur : petites, moyennes et grandes noix (Duverneuil & Haendler, 1973). L'étape a trois intérêts cités par les auteurs.

Le premier est d'avoir une meilleure précision du temps de cuisson des noix. Ogunsina & Bamboye (2014) ont étudié les effets de la taille des noix, du taux d'humidité (MC) et du temps de cuisson (SET) sur les rendements en amandes entières lors du décorticage. Ils ont trouvé des rendements de 86,98 %, 90,94 % et 91,74 % pour les petites, moyennes et grandes noix avec les combinaisons MC*SET respectivement de 8,34 %*30 min, 11,80 %*32 min et 8,34 %*30 min.

Le deuxième intérêt est d'aboutir à un meilleur réglage des décortiqueurs par cisailage. Le principe du cisailage est d'entailler la coque de la noix suivant sa ligne de déhiscence puis de séparer les deux parties de coque. Les décortiqueurs manuels utilisent deux lames ayant les formes convexe et concave de la noix. Elles pénètrent la noix suivant la largeur (Osunde & Oladeru, 2006 ; Balasubramanian, 2011). Les décortiqueurs automatiques utilisent deux lames droites entre lesquelles la noix est poussée pour être coupée suivant sa largeur. Des ressorts assurent l'effort de pénétration et l'ajustage de l'écartement des lames en fonction de la largeur de la noix (Gong et al., 2016).

Le troisième intérêt du calibrage est d'avoir une réduction du tri des amandes par grades commerciaux (Duverneuil & Haendler, 1973 ; Oltremare, 2017). La classification commerciale des amandes se fait suivant qu'elles sont entières blanches ou brunes, fendues, brisées ou en morceaux (Norme ONU-CEE-DDP-17, 1999 ; Patel et al., 2012 ; Nagpure, 2015). Le tableau 1 montre les grades des amandes entières ainsi que la masse, en gramme, d'une amande calculée par la formule :

$$m = 1000/N$$

où m est la masse d'une amande et N le nombre d'amandes dans 1 kg.

Tableau 1. Grades des amandes entières – *Whole kernels grades*.

Grade	Nombre N d'amandes pour 1 kg	Masse m d'une amande (g)
W 150	265-325	3,08-3,77
W 180	325-395	2,53-3,08
W 210	395-465	2,15-2,53
W 240	485-530	1,89-2,06
W 280	575-620	1,61-1,74
W 320	660-706	1,42-1,52
W 400	707-880	1,14-1,41
W 450	881-990	1,01-1,14
W 500	990-1100	0,91-1,01

Les trommels-calibreurs, conçus par la firme Italienne Oltremare (depuis 1963), ont des tôles d'épaisseur de 20 à 25 mm (Duverneuil & Haendler, 1973 ; Oltremare, 2017). Il s'agit d'un tambour tournant (trommel) hexagonal, comme le montre la figure 1, ou cylindrique dont les cribles sont munis de trous de diamètres 18, 20, 22, 24, 26, 28 et 30 mm.

Ce type de calibreur permet de sortir les noix selon leur largeur. La figure 2 schématise les modes de sortie : Pour les grandes épaisseurs, le diamètre de sortie est égal à la largeur de la noix. Pour les petites épaisseurs, la noix peut se retourner, après avoir passé sa petite section jusqu'à son point de germination (Figure 3), et sortir par un diamètre plus petit que sa largeur.

Les trommels-calibreurs à cribles épais sont coûteux pour les petites unités de transformation de l'anacarde. L'usage de cribles minces nécessite la connaissance des diamètres de passage équivalents à ceux des cribles épais.

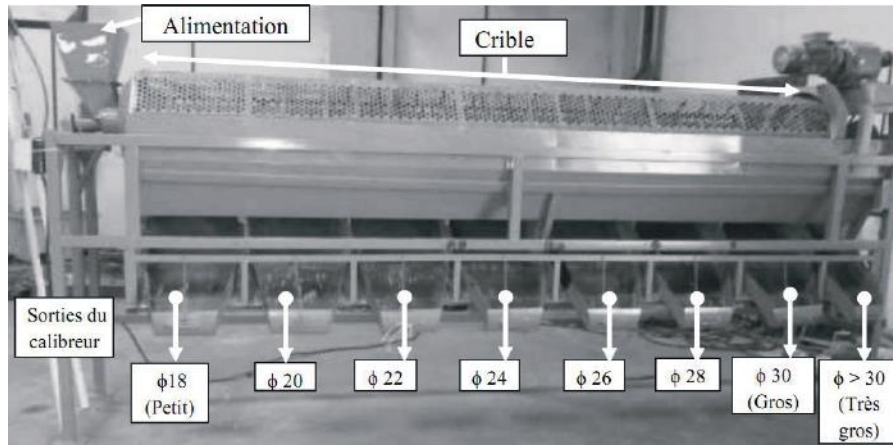


Figure 1. Calibreur de noix brutes de cajou – *Cashew raw nuts calibrator*.



Figure 2. Modes de sortie des noix – *Nuts going out modes*.

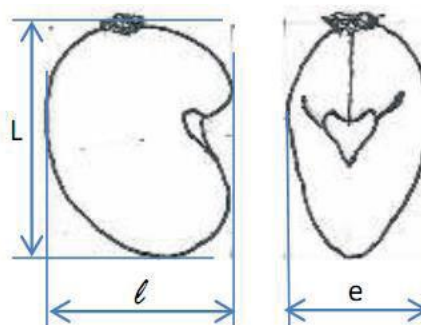


Figure 3. Dimensions principales d'une noix – *Main dimensions of nut*.

Wheeler et al. (1989) ont cité le diamètre exécuté sur le crible et les diamètres des particules parmi les variables indépendantes qui affectent l'efficacité des trommels-calibreurs. Stessel (1991) a montré que la fraction de particules qui passe au travers d'un trommel est fonction du diamètre exécuté sur le crible, du diamètre de la particule et du ratio de surface des alésages sur la surface totale du crible. Rousseaux et al. (1992) ont mené leurs études en laboratoire pour déterminer les diamètres optimaux à percer sur les cribles des trommels en vue de la séparation de matériaux (papier, plastique, métaux et verre) dans les déchets municipaux. La noix de cajou n'étant pas sphérique, il faut définir un modèle.

Balasubramanian (2001), a montré qu'il existe une forte corrélation entre la longueur, la largeur et la masse des noix de cajou. La corrélation est faible entre ces dimensions et l'épaisseur de la noix. Il a établi les équations :

$$L=1,359 W=1,846 T=5,317 M$$

où L, W, T et M désignent respectivement la longueur, la largeur, l'épaisseur et la masse de la noix brute.

Le diamètre équivalent (De), qu'il a déduit par la formule :

$$De=(LWT)^{1/3}$$

peut être remplacé par son expression en fonction de la largeur compte tenu de la corrélation.

Zhang Lin et al. (2011) ont travaillé, sur tableur Excel, pour définir un modèle de classification des noix brutes de cajou. Ils ont simulé un type de calibre permettant un tri par épaisseur de noix. Ils ont trouvé, comme Balasubramanian (2001), une forte corrélation entre les longueurs et largeurs des noix et une faible corrélation entre les dites dimensions et les épaisseurs. Ils ont retenu la longueur comme variable de référence. Par simulation de sortie à partir des données, Zhang Lin et al. (2011) ont déduit les épaisseurs optimales qu'il faut utiliser pour un tel calibre.

La présente étude vise à définir les diamètres des alésages à exécuter sur des plaques en acier de construction d'épaisseur 2, 3, 4 et 5 mm et les largeurs des noix brutes qui y passeront. En tenant compte des objectifs des industriels, nous allons, par simulation, déduire les séries optimales de diamètres de cribles qu'il convient de retenir pour la conception des trommels-calibreurs utilisant des cribles minces.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les noix brutes utilisées pour l'expérimentation proviennent de la région des lacs (Yamousoukro). Un lot de 221 kg a été préalablement calibré avec un calibre expérimental à huit sorties. Un échantillon de 60 noix est prélevé dans chaque sortie pour les mesures. Le taux d'humidité du lot est de 8,9%. Il a été mesuré avec un appareil de contrôle d'humidité des grains Dickey-john couramment utilisé par les industriels. Chaque noix est mesurée suivant les trois principaux axes, comme le montre la figure 3, avec un calibre à coulisse de précision 0,02 mm (Balasubramanian, 2001 ; Ogunsina, 2013). Nous avons percé sur des plaques en acier de construction d'épaisseurs 2, 3, 4 et 5 mm des alésages de diamètres : de 13,5 mm à 23 mm en progression de 0,5 mm ; de 23 mm à 35 mm en progression de 1 mm. La noix est présentée manuellement à l'entrée des alésages et le dernier diamètre de passage de la noix est noté. Avec une balance électronique de précision 0,01 g, la noix brute est pesée avant d'être décortiquée à l'aide d'un décortiqueur manuel. La coque vide est pesée tandis que l'amande est dépelliculée avec un petit couteau avant d'être pesée (Balasubramanian, 2001). Après le décorticage, les noix vides ainsi que celles contenant des amandes immatures, rabougries, beurrées ou pourries sont retirées du lot. Les noix ayant des amandes de masse inférieure à 0,9 g sont également retirées (limite inférieure de classement). À la fin, nous avons obtenu 335 bonnes noix. Toutes les mesures sont rapportées dans un tableau Excel 2010 pour les traitements.

3. RÉSULTATS

3.1. Relations entre les dimensions des noix et des amandes

Les noix de l'échantillon ont des longueurs comprises entre 22,18 mm et 41,36 mm. Les largeurs varient de 17,42 mm à 33,08 mm tandis que les épaisseurs varient de 12,88 mm à 22,22 mm. Le tableau 2 donne les fréquences des nombres de noix selon les classes de largeurs. Les masses des noix brutes ont un minimum de 2,61 g et un maximum de 13,90 g tandis que les amandes ont leurs masses comprises entre 0,90 g et 3,7 g.

Tableau 2. Distribution des noix de l'échantillon selon leur largeur – *Sample nuts size distribution.*

Classe de largeurs, mm	moins de 18	18-20	20-22	22-24	24-26	26-28	plus de 28	TOTAL
Pourcentage échantillon	2,7 %	8,1 %	23,9 %	27,2 %	21,5 %	8,4 %	8,4 %	100 %

Les calculs de rapports de corrélation, indiqués dans le tableau 3, montrent qu'il existe une forte corrélation entre la longueur de la noix, sa largeur, la masse de sa noix et la masse de l'amande. Les corrélations sont faibles avec l'épaisseur de la noix. Nous avons obtenu des ratios moyens de 1,308, 1,778 et de 5,280 entre la longueur et respectivement la largeur, l'épaisseur et la masse de la noix. Ce qui nous permet d'écrire l'équation :

$$L = 1,308 l = 1,778 e = 5,280 M$$

où L, l, e et M indiquent la longueur, la largeur, l'épaisseur et la masse de la noix.

Le ratio entre la masse de la noix et celle de l'amande est en moyenne de 3,498 avec un minimum de 2,674 et un maximum de 4,724.

Tableau 3. Ratios des caractéristiques des noix et amandes à un taux d'humidité de 8,9 % – *Ratios of nuts characteristics at a moisture content of 8.9%.*

Paramètres	Ratio			Rapport de corrélation
	Moyenne	Minimum	Maximum	
Longueur/largeur	1,308	1,158	1,467	0,905
Longueur/épaisseur	1,778	1,295	2,454	0,527
Longueur/masse noix	5,280	2,934	8,644	0,905
Longueur/masse amande	18,318	11,022	28,431	0,850
Largeur/épaisseur	1,360	1,014	1,793	0,567
Largeur/masse noix	4,039	2,380	6,75	0,912
Largeur/masse amande	14,015	8,941	21,000	0,849
Épaisseur/masse noix	3,016	1,531	5,079	0,706
Épaisseur/masse amande	10,470	5,935	18,731	0,609
Masse noix/masse amande	3,498	2,674	4,724	0,884

3.2. Calibrage des noix

Les relevés des diamètres de sortie des noix montrent qu'ils sont inférieurs aux largeurs des noix. Les diamètres moyens de sortie sur les plaques augmentent quand les épaisseurs augmentent. Les caractéristiques moyennes calculées selon les classes de largeurs des noix sont indiquées dans le tableau 4.

Les calculs des rapports de corrélation entre la largeur des noix et leur diamètre de sortie sur plaque de 2, 3, 4 et 5 mm donnent 0,961, 0,969, 0,973 et 0,978 respectivement. Ces valeurs indiquent une forte corrélation linéaire. Les droites de régression ont pour équation :

$$\text{Sur plaque de 2 mm d'épaisseur : } d_2 = 0,904 l + 0,047$$

$$\text{Sur plaque de 3 mm d'épaisseur : } d_3 = 0,919 l + 0,155$$

$$\text{Sur plaque de 4 mm d'épaisseur : } d_4 = 0,908 l + 0,765$$

$$\text{Sur plaque de 5 mm d'épaisseur : } d_5 = 0,932 l + 0,607$$

où d_2 , d_3 , d_4 et d_5 sont les diamètres de sortie sur plaque de 2, 3, 4 et 5 mm.

Tableau 4. Caractéristiques moyennes et écart-types dans l'échantillon – Average characteristics and standard deviations in the sample.

Paramètres	moins de 18		20-22		22-24		24-26		26-28		Plus de 28	
	Moyenne	ET	Moyenne	ET	Moyenne	ET	Moyenne	ET	Moyen	ET	Moyenne	ET
Longueur, L, mm	23,12	0,53	25,08	0,86	27,97	1,46	30,07	1,47	32,67	1,47	33,89	1,40
Largeur, l, mm	17,64	0,15	19,09	0,58	21,14	0,58	22,95	0,62	24,95	0,49	26,86	0,67
Épaisseur, e, mm	14,68	1,37	15,75	1,47	16,34	1,49	17,27	1,68	17,68	1,84	18,77	1,27
Masse noix M, g	3,12	0,32	3,75	0,39	4,77	0,58	5,83	0,58	6,88	0,77	8,01	0,76
Masse amande m, g	0,98	0,07	1,11	0,14	1,43	0,20	1,69	0,22	1,96	0,24	2,27	0,31
Ratio M/m	3,193	0,224	3,410	0,381	3,370	0,368	3,478	0,307	3,539	0,426	3,571	0,382
Diamètre de sortie sur épaisseur 2 mm, mm	16,6	0,6	17,3	0,6	19,0	0,8	20,7	0,9	22,7	1,0	24,2	1,1
Diamètre de sortie sur épaisseur 3 mm, mm	16,8	0,4	17,6	0,6	19,5	0,8	21,3	0,8	23,1	1,0	24,6	1,2
Diamètre de sortie sur épaisseur 4 mm, mm	17,2	0,4	18,0	0,6	19,9	0,6	21,4	2,2	23,5	0,9	25,1	1,0
Diamètre de sortie sur épaisseur 5 mm, mm	17,2	0,4	18,3	0,6	20,2	0,8	22,1	0,7	23,8	0,9	25,8	1,0

ET : écart-type.

L'analyse des coefficients des droites de régression fait ressortir une expression en fonction de l'épaisseur E (mm) de la plaque :

$$a=0,9+0,002 E+0,0044 E \operatorname{lsin}(E*\pi/2)/$$

Le terme $\operatorname{lsin}(E*\pi/2)$ est nul pour E entier pair et vaut 1 pour E entier impair.

Nous avons fait des simulations de sortie de noix à partir des données sous Excel pour choisir six diamètres par épaisseur de plaque. Nous avons retenu les séries de diamètres qui permettent d'obtenir des amplitudes de largeurs de noix constantes et minimales et une restriction à trois grades majoritaires pour les amandes. Les simulations optimales ont donné les diamètres d'alésages indiqués dans les tableaux 5 à 8. Nous avons obtenu des écarts moyens entre les largeurs des noix sortant de 3,60 mm, 3,37 mm, 3,10 mm et 2,93 mm sur les plaques d'épaisseurs respectives 2, 3, 4 et 5 mm.

Tableau 5. Largeurs de noix selon la série de diamètres de sortie sur épaisseur 2 mm – *Nuts widths according to the succession of exit diameters on 2 mm thickness.*

Diamètre de sortie	Largeur des noix sur épaisseur 2 mm			
	Moyenne	Minimum	Maximum	Écart
Moins 17	18,4		20,76	
17-18,5	20,1	18,1	21,42	3,32
18,5-20	21,6	20,06	23,66	3,6
20-21,5	23,1	21,2	24,88	3,68
21,5-23	24,8	23	26,6	3,6
23-25	26,2	24,62	28,42	3,8
plus 25	29,2	27,1		
Écart moyen : 3,6 mm				

Tableau 6. Largeurs de noix selon la série de diamètres de sortie sur épaisseur 3 mm – *Nuts widths according to the succession of exit diameters on 3 mm thickness.*

Diamètre de sortie	Largeur des noix sur épaisseur 3 mm			
	Moyenne	Minimum	Maximum	Écart
Moins 17,5	18,8		20,76	
17,5-19,5	20,9	18,8	22,16	3,36
19,5-21	22,2	20,36	23,86	3,5
21-22,5	23,9	22	25,32	3,32
22,5-24	25,3	23,78	26,82	3,04
24-26	26,9	24,84	28,46	3,62
plus 26	29,5	27,26		
Écart moyen : 3,37 mm				

Tableau 7. Largeurs de noix selon la série de diamètres de sortie sur épaisseur 4 mm – *Nuts widths according to the succession of exit diameters on 4 mm thickness.*

Diamètre de sortie	Largeur des noix sur épaisseur 4 mm			
	Moyenne	Minimum	Maximum	Écart
Moins 17,5	18,1		19,5	
17,5-19	19,7	18,1	21,14	3,04
19-20,5	21,4	20,06	22,48	2,42
20,5-21,5	22,7	21,56	24,52	2,96
21,5-23	24	22,36	25,74	3,38
23-25	25,7	24,22	27,92	3,7
Plus de 25	29	25,24		
Écart moyen : 3,1 mm				

Tableau 8. Largeurs de noix selon la série de diamètres de sortie sur épaisseur 5 mm – *Nuts widths according to the succession of exit diameters on 5 mm thickness.*

Diamètre de sortie	Largeur des noix sur épaisseur 5 mm			
	Moyenne	Minimum	Maximum	Écart
Moins de 18	18,1		19,5	
18-19,5	20,1	18,44	21,78	3,34
19,5-21	21,5	20,22	22,48	2,26
21-22,5	23	22	24,88	2,88
22,5-24	24,7	23	25,88	2,88
24-26	26	24,62	27,92	3,3
Plus de 26	29	25,24		
Écart moyen : 2,93 mm				

3.3. Grades des amandes

Les taux de présence des grades d'amandes dépelliculées indiqués dans le tableau 9 montrent que trois grades sont majoritaires, en moyenne à 92,8 %, après la classification des noix brutes selon leur largeur. La restriction du tri des amandes sera sur les trois grades.

Tableau 9. Taux de présence des grades des amandes selon la largeur réelle de la noix – *Rates of kernels grades presence according to the real nut width.*

Largeur, mm	W 500	W 450	W 400	W 320	W 280	W 240	W 210	W 180	W 150
Moins de 18	55,6 %	44,4 %							
18-20	25,9 %	22,2 %	48,1 %	3,7 %					
20-22	1,3 %	7,5 %	40,0 %	33,8 %	16,3 %	1,3 %			
22-24			12,1 %	22,0 %	50,5 %	14,3 %	1,1 %		
24-26			1,4 %	4,2 %	33,3 %	37,5 %	23,6 %		
26-28					10,7 %	17,9 %	46,4 %	25,0 %	
Plus de 28						17,9 %	28,6 %	46,4 %	7,1 %

Le même phénomène est observé dans les tableaux 10 à 13, concernant les simulations de sortie sur les plaques minces. Les moyennes des taux font apparaître que 89,9 %, 90,5 %, 89,6 % et 91,2 % des amandes sont dans les trois principaux grades pour les épaisseurs 2, 3, 4 et 5 mm respectivement.

Tableau 10. Taux des grades des amandes sur plaque d'épaisseur 2 mm – *Rates of kernels grades presence according to plate of 2 mm thickness.*

Diamètre de sortie, mm	W 500	W 450	W 400	W 320	W 280	W 240	W 210	W 180	W 150
Moins de 17	43,5 %	30,4 %	26,1 %						
17-18,5	10,7 %	21,4 %	50,0 %	14,3 %	3,6 %				
18,5-20		3,6 %	31,3 %	33,7 %	26,5 %	4,8 %			
20-21,5			11,4 %	22,9 %	41,4 %	18,6 %	5,7 %		
21,5-23			1,5 %	7,7 %	38,5 %	29,2 %	20,0 %	3,1 %	
23-25					27,3 %	30,3 %	30,3 %	12,1 %	
Plus de 25						15,2 %	39,4 %	39,4 %	6,1 %

Tableau 11. Taux des grades des amandes sur plaque d'épaisseur 3 mm – *Rates of kernels grades presence according to plate of 3 mm thickness.*

Diamètre de sortie, mm	W 500	W 450	W 400	W 320	W 280	W 240	W 210	W 180	W 150
Moins de 17,5	38,2 %	26,5 %	32,4 %	2,9 %					
17,5-19,5		10,0 %	41,7 %	30,0 %	15,0 %	3,3 %			
19,5-21		1,4 %	25,7 %	27,1 %	37,1 %	8,6 %			
21-22,5			2,9 %	17,6 %	42,6 %	25,0 %	11,8 %		
22,5-24			1,9 %	1,9 %	37,0 %	29,6 %	24,1 %	5,6 %	
24-26					9,1 %	27,3 %	40,9 %	22,7 %	
Plus de 26						14,8 %	37,0 %	40,7 %	7,4 %

Tableau 12. Taux des grades des amandes sur plaque d'épaisseur 4 mm – *Rates of kernels grades presence according to plate of 4 mm thickness.*

Diamètre de sortie, mm	W 500	W 450	W 400	W 320	W 280	W 240	W 210	W 180	W 150
Moins de 17,5	56,3 %	37,5 %	6,3 %						
17,5-19	11,1 %	16,7 %	61,1 %	8,3 %	2,8 %				
19-20,5		5,4 %	27,0 %	35,1 %	28,4 %	4,1 %			
20,5-21,5			23,7 %	31,6 %	31,6 %	13,2 %			
21,5-23			3,7 %	14,8 %	42,0 %	27,2 %	12,3 %		
23-25					33,3 %	25,9 %	29,6 %	11,1 %	
Plus de 25						19,4 %	36,1 %	38,9 %	5,6 %

Tableau 13. Taux des grades des amandes sur plaque d'épaisseur 5 mm – Rates of kernels grades presence according to plate of 5 mm thickness.

Diamètre de sortie, mm	W 500	W 450	W 400	W 320	W 280	W 240	W 210	W 180	W 150
Moins de 18	55,6 %	38,9 %	5,6 %						
18-19,5	6,5 %	15,2 %	54,3 %	17,4 %	4,3 %	2,2 %			
19,5-21		3,3 %	29,5 %	31,1 %	32,8 %	3,3 %			
21-22,5			15,7 %	24,3 %	42,9 %	14,3 %	2,9 %		
22,5-24			2,8 %	9,7 %	34,7 %	30,6 %	20,8 %	1,4 %	
24-26					29,0 %	29,0 %	25,8 %	16,1 %	
Plus de 26						18,9 %	37,8 %	37,8 %	5,4 %

4. DISCUSSION

4.1. Relations entre les dimensions des noix et des amandes

Les dimensions (longueur, largeur, épaisseur et masse) observées dans l'échantillon sont du même ordre de grandeur que celles citées par différents auteurs. La distribution des noix selon leur largeur, présentée dans le tableau 2, donne une bonne estimation des ratios de tailles des noix dans les stocks de noix brutes de cajou. Ce paramètre n'avait pas été renseigné auparavant par les auteurs et les valeurs trouvées permettront de faire les compositions, en laboratoire, entre le nombre de noix pouvant passer au travers d'un diamètre défini et le nombre de grandes noix. Les compositions maîtrisées pourront être utilisées pour la modélisation et la conduite des expériences sur l'efficacité des trommels-calibreurs.

Les fortes corrélations trouvées entre la longueur de la noix et la largeur, la masse de la noix et la masse de l'amande ainsi que les faibles corrélations avec l'épaisseur de la noix confirment les résultats de Balasubramanian (2001) et de Zhang Lin et al. (2011). Les ratios moyens que nous avons calculés sont dans les mêmes plages que celles trouvées par Balasubramanian (2001).

Les masses des amandes dépelliculées représentent entre 21,2 % et 37,4 % des masses des noix du lot. La variabilité du taux d'amande dans les noix est liée à la diversité des accessions d'anacardières du verger.

4.2. Calibrage des noix

Notre étude a montré que les plages largeurs des noix sortant des diamètres différents se chevauchent. Ce phénomène est expliqué par le fait que des noix de même largeur ont des longueurs et épaisseurs différentes ; elles sortent dans des alésages de diamètres différents.

Les droites de régressions que nous avons établies (équations 3 à 6), montrent que les coefficients et les constantes sont fonction de la parité de l'épaisseur des plaques. Cette observation devra être approfondie en choisissant un nombre plus élevé d'épaisseurs dans nos futures recherches.

Les écarts moyens entre les largeurs des noix décroissent quand l'épaisseur de la plaque augmente. Les valeurs moyennes de 3,60 mm, 3,37 mm, 3,10 mm et 2,93 mm, que nous avons calculées sur les plaques d'épaisseurs respectives 2, 3, 4 et 5 mm, sont plus grandes que les 2 mm d'intervalles recherchés lors d'un calibrage sur plaque d'épaisseur de 20 à 25 mm. Les concepteurs d'équipements de décorticage devront prendre en compte ces données pour le dimensionnement des courses des lames et pour le choix des ressorts.

4.3. Grades des amandes

La prédiction des grades à partir du calibrage est évoquée par Duverneuil et Haendler (1973), Oltremare (2017) et les industriels. Notre étude a montré que trois grades sont obtenus à partir d'un lot de noix brutes calibrées avec les séries de diamètres issues des simulations. Cette information n'est pas donnée dans la littérature scientifique antérieure à notre recherche. Les trois grades se justifient par la variabilité des taux d'amande des différentes accessions d'anacardier. Deux phénomènes naturels peuvent expliquer cette variabilité : l'épaisseur de la coque (Balasubramanian, 2001) et la grosseur de l'amande à maturité. Certaines noix ont des coques plus épaisses que

d'autres, par conséquent leurs amandes sont plus petites. Nous avons pu constater lors de notre expérimentation que certaines amandes, sans être rabougries, ne remplissaient pas totalement la cavité intérieure des coques.

5. CONCLUSIONS

Une régression linéaire a été établie entre les diamètres à percer pour des cribles en plaques de faibles épaisseurs et les largeurs des noix brutes à calibrer. Le coefficient de la droite a une expression analytique : $a = 0,9 + 0,002 E + 0,0044 E \ln(E \cdot \pi/2)$, fonction de l'épaisseur E de la plaque utilisée. Les séries de diamètres optimisés sont en mm [17-18,5-20-21,5-23-25], [17,5-19,5-21-22,5-24-26], [17,5-19-20,5-21,5-23-25] et [18-19,5-21-22,5-24-26], sur des plaques d'épaisseur 2, 3, 4 et 5 mm respectivement. Les amplitudes moyennes de classes de largeurs obtenues 3,60 mm, 3,37 mm, 3,10 mm et 2,93 mm sont supérieures aux 2 mm résultants d'un crible plus épais. Les concepteurs d'équipements de décorticage des noix doivent prendre en compte les différences d'amplitudes des classes de largeurs que notre étude a révélées. Le calibrage des noix brutes de cajou, avec des cribles de faibles épaisseurs, permet une prédiction des grades des amandes et une restriction des tris à trois grades.

Remerciements

Les auteurs remercient la Direction Générale du Conseil du Coton et de l'Anacarde de la Côte d'Ivoire, qui apporte un soutien appréciable à leurs recherches sur les équipements de transformation de l'anacarde à travers le projet « Développement des capacités des acteurs de la chaîne de valeur du cajou en Afrique de l'Ouest » financé par le CORAF/WECARD.

Bibliographie

- Akadje Djaha J.-B. et al., 2014. Diversités morphologiques des accessions d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) introduits en Côte d'Ivoire. *Rev. Ivoir. Sci. technol.*, **13**, 244-258.
- Balasubramanian D., 2001. Physical properties of raw cashew nut. *JAER*, **78**(3), 291-297.
- Balasubramanian D., 2011. Design, Development and Performance Evaluation of radial arm type cashew nut sheller. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa, and Latin America*, **42**(2), 49-55.
- Duverneuil G. & Haendler L., 1973. Évolution des méthodes de traitement des noix de cajou, *Fruits*, **28**(7-8), 561-581.
- Fitzpatrick J., 2011. Étude sur les équipements de transformation du cajou (Rapport de synthèse). African Cashew initiative (Aci), Accra, Ghana.
- Gille J., Jasse J. & Sallah J.A.Y., 2011. Les bases de la filière cajou. Eds International Relief & Development.
- Gong J. et al., 2016. A review on the cashew nut shelling techniques. *Journal of Applied Science and Engineering Innovation*, **3**(4), 133-138.
- Lautié E., Dornier M., de Souza Filho M. & Reynes M., 2001. Les produits de l'anacardier; caractéristiques, voies de valorisation et marché, *Fruits*, **56**(4), 235-248.
- Nagpure V., 2015. Review on back propagation neural network application for grading of cashew nuts. *International Journal of Science and Research*, **4**(10), 1958-1962.
- Norme CEE-ONU DDP-17, 1999. Concernant la commercialisation et le contrôle de la qualité commerciale des noix de cajou édition 1999, https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trade/agr/standard/dry/Standards/DDP17_CashewKernels_1999_f.pdf, (04/01/2015).
- Ogunsina B.S., 2013. Crackability and chemical composition of pre-treated cashew nut using a hand-operated knife cutter. *Agric Ent Int: CIGR Journal*, **15**(2), 275-283.
- Ogunsina B.S. & Bamboye A.I., 2014. Pre-shelling parameters and conditions that influence the whole kernel out-turn of steam-boiled cashew nuts. *Journal of Saudi Society of Agricultural Sciences*, **13**, 29-34.
- Olife I.C., Jolaoso M.A. & Onwualu A.P., 2013. Cashew Processing for Economic Development in Nigeria. *Agricultural Journal*, **8**(1), 45-50.
- Oltremare, 2017. Raw cashew nut cleaning and calibration system, http://www.oltremare.biz/cgi-bin/file/prodotti/brochure_cleaningcalibration_system_uk.pdf, (08/04/2017).
- Osunde Z.D. & Oladeru O.E., 2006. Design, fabrication and testing of cashew nut shelling machine. *Journal of Agricultural Engineering and Technology*, **14**, 52-57.
- Patel P.K., Samvatsar M. & Bhanodia P.K., 2012. A survey paper on Cashew kernels classification using color features and computer revelation system. *IJESRT*, **1**(6), 328-334.

- Rousseaux P., Borges de Castilhos A., Vermande P. & Veron J., 1992. Determination of trommel meshes for optimal separation of composite fraction of municipal solid wastes from Florianopolis, SC, Brazil. *Resources, Conservation, and Recycling*, **6**, 217-229.
- Stessel R.I., 1991. A new trommel model. *Resources, Conservation, and Recycling*, **6**, 1-22.
- Wheeler P.A., Barton J.R. & New R., 1989. An empirical approach to the design of trommel screens for fine screening of domestic refuse. *Resources, Conservation, and Recycling*, **2**, 261-273.
- Zhang L., Zhang Q. & Xu H., 2011. Research and analysis of classification model based on shape parameters of cashew nuts. *IEEE*, 554-556.

Liste des participants

N	Nom et Prénom	Sexe : M/F	Pays	Institution
1	Abdoul Wahed Diop	M	Sénégal	FAO
2	Abo Kouabenan	M	Côte d'Ivoire	INP-HB
3	Adonis Houango	M	Côte d'Ivoire	PROFIAB/GIZ
4	Adzanyo Mary	F	Burkina Faso	COMCASHEW/GIZ
5	Affo Fabien	M	Bénin	UNIVERSITE DE PARAKOU
6	Agbo Bernard	M	Côte d'Ivoire	COMCASHEW/GIZ
7	Agboton Cyriaque	M	Bénin	FSA/DAC
8	Ahonzo Niamke Sebastien0	M	Côte d'Ivoire	UFHB
9	Akaci Koffi David	M	Côte d'Ivoire	INP-HB
10	Akesse Ettien Narcice	M	Côte d'Ivoire	UFHB
11	Alain ROUSSEAU	M	Côte d'Ivoire	GIZ
12	Aliko Yede Jean	M	Côte d'Ivoire	UFHB
13	Amadou Bruno Diallo	M	Sénégal	ISRA/CNRF
14	Amanoudo Mesmes-Juste	M	Bénin	URPA/BA
15	Americo Uaciquete	M	Mozambique	IIAM
16	Awe Alabi Ammanuel	M	Bénin	DEDRAS-ONG
17	Balogoun Ibouaïman	M	Bénin	FSA/UAC
18	Bamba Mohamed	M	Côte d'Ivoire	CCA
19	Banla Tekondo	M	Togo	MAEH/ITRA
20	Bassifou Ouattara	M	Côte d'Ivoire	CCA
21	Batto Paul A	M	Côte d'Ivoire	CCA
22	Bello O Daouda	M	Bénin	FSA/UAC
23	Bello Saliou	M	Bénin	INRAB/CRA-CENTRE
24	Bomisso Edson Lezin	M	Côte d'Ivoire	UFHB
25	Chabi Sika B. Kamirou	M	Bénin	FAST/UAC
26	Charahabil Mohamed	M	Sénégal	UASZ
27	Colonel Bassoumori Traore	M	Côte d'Ivoire	ANADER
28	Coulibaly Allassane	M	Côte d'Ivoire	CCA
29	Coulibaly Ibourahema	M	Côte d'Ivoire	UJLOG
30	Coulibaly Salifou	M	Côte d'Ivoire	FENAPACI
31	Daan Luteyn	M	Ghana	IRIBOV WEST AFRICAN
32	Dabonne Soumaila	M	Côte d'Ivoire	UNA
33	Dagou Crepin	M	Côte d'Ivoire	SCOOP-CA CAPI
34	Degbessou Roger	M	Côte d'Ivoire	INRAB
35	Diallo Adja Madjiguene	F	Sénégal	ISRA
36	Diomande Loua Barthelemy	M	Côte d'Ivoire	UPGC
37	Djaha Akadie Jean-Baptiste	M	Côte d'Ivoire	CNRA

N	Nom et Prénom	Sexe : M/F	Pays	Institution
38	Boye Nambe Auguste Denise	M	Côte d'Ivoire	
39	Kouakou Kouakou Laurent	M	Côte d'Ivoire	UNA
40	Ouali N'goran S.-W. Mauricette	F	Côte d'Ivoire	UFHB
41	Ouatara Gnire Mariam	F	Côte d'Ivoire	CCA
42	Rouamba Albert	M	Burkina Faso	INERA
43	Kwame Aidoo	M	Ghana	BEEES FOR DEVELOPMENT GHANA
44	Sali Bourou	M	Cameroun	IRAD
45	Elhadji Cheikh Diao	M	Sénégal	AFAO
46	Esther Gyeou Akoto	F	Ghana	COCOA RESEARCH INSTITUTE
47	Florentino Nanque	M	Guinée-Bissau	ACA
48	Florian Winckler	M	Ghana	COMCASHEW/GIZ
49	Fofana Ibrahim	M	Côte d'Ivoire	UFHB
50	Fofana Koulako	F	Côte d'Ivoire	
51	Francis Padi	M	Ghana	COCOA RESEARCH INSTITUTE
52	Francklin Manu Amoah	M	Côte d'Ivoire	
53	Godjo Thierry	M	Bénin	IUT-LOKASSA/UNSTIM
54	Guira Moussa	M	Burkina Faso	INERA
55	Halimatou S Ba	F	Sénégal	ISRA/CNRF
56	Hassane Bissala	M	Niger	INUVATECH
57	Jean Rostand Jiadiais Kamga	M	Côte d'Ivoire	JRKMG
58	Kambou Diulyale	M	Côte d'Ivoire	UNA
59	Karim Berthe	M	Côte d'Ivoire	CCA
60	Kebe Boubacar Ismael	M	Côte d'Ivoire	CNRA
61	Kees Velfhuijzen	M	Ghana	IRIBOU WEST AFRICA
62	Koffi Ernerst	M	Côte d'Ivoire	UFHB
63	Koffi Kouassi Misler	M	Côte d'Ivoire	UFHB
64	Koffi Yao Stephane	M	Côte d'Ivoire	UJLOG
65	Konan Fabrice	m	Côte d'Ivoire	PSAC
66	Kone Dadouda	M	Côte d'Ivoire	UFHB
67	Kone Gabesongon	M	Côte d'Ivoire	CCA
68	Kone Kisselmina Youssouf	M	Côte d'Ivoire	INP-HB
69	Kone Mongomake	M	Côte d'Ivoire	UNA
70	Kone Moussa	M	Côte d'Ivoire	UFHB
71	Kone Salimata	F	Côte d'Ivoire	UFHB
72	Kouadio Kouassi Edouard	M	Côte d'Ivoire	CARO NUT
73	Kouakou Charles Konan	M	Côte d'Ivoire	CNRA
74	Kouakou Raphael	M	Côte d'Ivoire	CAJOU DE FASSOU
75	Kouame Fils David	M	Côte d'Ivoire	IZT
76	Kouame N'guessan Francois	M	Côte d'Ivoire	UNA
77	Kouassi Charles	M	Côte d'Ivoire	PROFINB
78	Kouassi Kan Kouassi Parfait	M	Côte d'Ivoire	INP-HB
79	Koussemon Marina	F	Côte d'Ivoire	UNA

N	Nom et Prénom	Sexe : M/F	Pays	Institution
80	Kpera Nathalie	F	Bénin	INRAB
81	Manigui Soule	M	Côte d'Ivoire	
82	M'bouke Zlie	M	Côte d'Ivoire	INIE
83	Meite Inza	M	Côte d'Ivoire	AEC-CI
84	Mintah Ernest	M	Ghana	AFRICAN CASHEW ALLIANCE
85	Nanti Bi Tra Jean Innocent	M	Côte d'Ivoire	UNA
86	N'da Adopo Achille	M	Côte d'Ivoire	CNRA
87	N'djolosse Kouami	M	Bénin	INRAB
88	N'dri Assa	F	Côte d'Ivoire	MINADER/DVPCQ
89	Neya Ibrahim	M	Burkina Faso	PRATICAL ACTION
90	N'guettia Assouman	M	Côte d'Ivoire	AEC-CI
91	Nguyen Van An	M	Vietnam	FAS -IAS
92	Nomkpin Eman	M	Côte d'Ivoire	FIRCA
93	Olivier E Kabre	M	Ghana	ACA
94	Ouattara Gninfanni Silvere	M	Côte d'Ivoire	UFHB
95	Peter Albert Masawe	M	Tanzanie	NARI
96	Prof Bohoua Guichard	M	Côte d'Ivoire	UNA
97	Prof Coulibaly Adama	M	Côte d'Ivoire	
98	Prof Kone Issiaka	M	Côte d'Ivoire	UAO
99	Rita Weidinger	F	Ghana	COMCASHEW/GIZ
100	Rodrigo Diogenes	M	Brésil	PROFINB-GFA
101	Ruf Francois	M	France	CIRAD
102	Sako Mohamed	M	Côte d'Ivoire	INP-HB
103	Salifou Issaka Mohamed	M	Burkina Faso	COMCASHEW/GIZ
104	Samb Cheikh Oumar	M	Sénégal	ISRA
105	Sekongo Fonibe	M	Côte d'Ivoire	COPABO COOP-CA
106	Silue Nakpato	M	Côte d'Ivoire	UFHB
107	Sissoko Amara	M	Côte d'Ivoire	INP-HB
108	Soro Doudjo	M	Côte d'Ivoire	INP-HB
109	Soro Klotioloma	M	Côte d'Ivoire	ANADER
110	Soro Sibirina	M	Côte d'Ivoire	UJLOG
111	Souleye Badiane	M	Sénégal	ISRA/CNRF
112	Tano Kouame Jean Jacques	M	Côte d'Ivoire	CCA
113	Tchetangni Yenakpon Anselme	M	Bénin	UNIVERSITE DE PARAKOU
114	Traore Myriam Mazella	F	Côte d'Ivoire	UAO
115	Traore Yacouba	M	Côte d'Ivoire	
116	Truong Viuh Hai	M	Vietnam	FAS - IAS
117	Vayssieres Jean-Francois	M	France	CIRAD
118	Veerle Van	F	Côte d'Ivoire	PROFINB
119	Yabi Ibouraima	M	Bénin	UNIVERSITE D'ABOMEY CALAVI
120	Yao Daouda	M	Côte d'Ivoire	ACA
121	Yao Kouame Francois	M	Côte d'Ivoire	PSAC

N	Nom et Prénom	Sexe : M/F	Pays	Institution
122	Yao Konan Fernand	M	Côte d'Ivoire	CCA
123	Yeo Yacouba	M	Côte d'Ivoire	ONG CHIGATA
124	Youan Bi Athanace	M	Côte d'Ivoire	UAO
125	Zango Ousseni	M	Burkina Faso	CIESA
126	Zavonon Miguel	M	Bénin	CARO NUT
127	Zei Pauline	F	Côte d'Ivoire	INADES FORMATION CI
128	Zombre Tinkle Cyrille	M	Burkina Faso	INERA
129	Zoro Bi Irié Arsène	M	Côte d'Ivoire	UNA

