



HAL
open science

Amélioration de la conservation au frais des mangues variété “ Kent ” de Côte d’Ivoire

Yardjouma Silue

► **To cite this version:**

Yardjouma Silue. Amélioration de la conservation au frais des mangues variété “ Kent ” de Côte d’Ivoire. Sciences agricoles. Université d’Avignon; Université Nangui Abrogoua (Abidjan), 2022. Français. NNT : 2022AVIG0604 . tel-04102657

HAL Id: tel-04102657

<https://theses.hal.science/tel-04102657>

Submitted on 22 May 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L’archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d’enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



**THÈSE COTUTELLE DE DOCTORAT DE
AVIGNON UNIVERSITÉ
&
UNIVERSITÉ NANGUI ABROGOUA**



**École Doctorale 536 - Agrosociétés & Sciences
Ecole Doctorale Sciences - Technologies & Environnement**

Mention de doctorat :
Sciences agronomiques option Chimie &
Sciences et Technologies des Aliments spécialité Biochimie et Technologies des Aliments

UMR 95 CIRAD Qualisud, Laboratoire de Physiologie des Fruits et Légumes

Présentée par

Yardjouma SILUE

**Amélioration de la conservation au frais des mangues
variété « Kent » de Côte d'Ivoire**

Soutenue publiquement le 24 mai 2022 devant le jury composé de :

- M. Mamoudou H. DICKO, Professeur Titulaire, Université Joseph Ki-Zerbo, Burkina Faso, **Rapporteur**
- Mme Georgette Amino KONAN, Maître de Conférences/HDR, Université Felix Houphouët Boigny de Cocody, Côte d'Ivoire, **Rapporteuse**
- Mme Florence Charles, Maître de conférences/HDR, Avignon Université, France, **Examinatrice**
- Mme Emma ASSEMAND KOFFI, Professeure titulaire, Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire **Examinatrice**
- M. Didier MBEGUIE-A-MBEGUIE, Directeur de recherche/HDR, Cirad Montpellier, **Examinateur**
- Mme Félicie LOPEZ-LAURI, Maître de conférences/HDR, Avignon Université, **Co-directrice de thèse**
- M. Kablan TANO, Professeur titulaire, Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire **Co-directeur de thèse**
- M. Charlemagne NINDJIN, Maître de conférences/HDR, Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire **Co-encadrant**



Résumé

La conservation en zone chaude tropicale et l'exportation des fruits et légumes depuis ces régions sont limitées par le mûrissement rapide et les maladies post-récoltes. Cette thèse propose une nouvelle technologie efficace et moins onéreuse utilisant des molécules d'origine naturelle pour optimiser la conservation de la mangue "Kent" en région chaude et améliorer son potentiel commercial. Les résultats de cette étude ont montré que l'application de formulation à base d'hexanal par trempage après récolte permet de réduire les pertes de 23 % et la pourriture de 12 % après un stockage au froid. L'étude a également permis de mettre en évidence le pouvoir antifongique de la plante médicinale *Ocimum gratissimum* L. sur plusieurs pathogènes de la mangue. Ainsi, l'huile essentielle extraite de cette plante a réduit presque de moitié le taux d'infection post récolte de la mangue sans aucune influence sur sa qualité. Cette huile essentielle a été plus efficace que le fongicide chimique homologué utilisé dans cette étude. De plus, la combinaison d'hexanal et d'huile essentielle de *O. gratissimum* L. a limité l'effet retardateur de l'hexanal mais elle a diminué le taux d'infection par rapport à l'hexanal seul. Par ailleurs, comme l'hexanal, elle permet de prolonger la durée de stockage de sept jours sans altérer la qualité de la mangue. En conséquence, l'hexanal peut être recommandé pour la conservation de la mangue alors que la combinaison sera mieux indiquée pour les périodes ou zones à forte prévalence microbienne.

Mots-clés : Hexanal ; Mangue ; *Ocimum gratissimum* L. ; Physiologie post-récolte ; Stockage

Abstract

The preservation and export of fruit and vegetables in tropical regions are limited by rapid ripening and post-harvest diseases. This work proposes a new, effective, and less expensive technology using natural molecules to optimise the preservation of the "Kent" mango in hot regions and improve its commercial potential. The results of this study showed that the application of hexanal formulation by post-harvest soaking reduced losses by 23 % and infection by 12 % after cold storage. The study also highlighted the antifungal power of the medicinal plant *Ocimum gratissimum* L. on several mango pathogens. The essential oil extracted from this plant almost halved the infection rate of mango in storage without any influence on the quality of the mango. This essential oil was more effective than the registered chemical fungicide used in the study. Furthermore, the combination of hexanal and the essential oil of *O. gratissimum* L. limited the anti-ripening effect of hexanal and strengthened its antimicrobial activity. In addition, as hexanal, the combination extended the storage time by seven days without affecting the quality of the mango. Therefore, hexanal can be recommended for mango storage while the combination will be more suitable for periods or areas of high microbial prevalence.

Keywords: Hexanal; Mango; *Ocimum gratissimum* L.; Post-harvest physiology, Storage

Remerciements

Avant tout propos, je voudrais dire Merci à **Dieu** le tout puissant qui m'a accordé la force, le courage et les moyens nécessaires pour accomplir ce modeste travail.

Je voudrais exprimer ma gratitude à l'Etat de Côte d'Ivoire qui, à travers le Contrat de Désendettement et de Développement (C2D), a financé entièrement cette thèse.

J'exprime aussi toute ma reconnaissance à l'Etat de France pour dans un premier temps m'avoir accepté sur son territoire puis dans un second temps par le biais de l'agence Campus France, financé entièrement tous mes séjours de recherche en France.

Cette thèse est le fruit d'une collaboration entre Avignon Université (France) et l'Université Nangui Abrogoua (Côte d'Ivoire).

Ainsi, je remercie Monsieur **Philippe Ellerkamp**, Président d'Avignon Université et Monsieur **TANO Yao**, Président de l'Université Nangui Abrogoua pour leur rôle administratif respectif pour faciliter la réalisation de cette thèse.

Une mention spéciale à l'Institut de Recherche pour le Développement/Côte d'Ivoire (IRD) et le Centre Suisse de Recherche Scientifique en Côte d'Ivoire (CSRS) pour leur assistance technique et la qualité de leurs services.

Je tiens infiniment à remercier mes directeurs de thèse, madame **Félicie LAURI-LOPEZ**, Maître de conférences, Avignon Université et Monsieur **Kablan TANO**, professeur titulaire, Université Nangui Abrogoua pour la qualité de leur encadrement, leur écoute, leur disponibilité, leurs conseils, corrections et orientations. Merci professeur Tano de m'avoir fait confiance alors que j'étais sous la direction de la professeure ASSEMAND Emma Fernande Epse KOFFI depuis mon stage de licence. Ce choix a renforcé ma confiance en moi et me motive encore aujourd'hui à l'idée d'évoluer dans la recherche. J'espère que vous trouverez dans ce travail toute ma reconnaissance. Merci docteur Félicie d'avoir accepté de co-diriger cette thèse. Merci pour votre implication active dans le suivi scientifique de mon travail de recherche, votre aide précieuse dans ma vie personnelle surtout en France. Merci pour votre don de soi constant avec un emploi de temps assez chargé quand je débarquais à votre bureau sans rendez-vous pour encore poser de nombreuses questions et/ou demander si la correction du rapport précédemment envoyé était terminée. Vous êtes tous les deux des modèles pour moi tant au niveau professionnel que personnel.

Je tiens particulièrement à remercier Madame **ASSEMAND Emma Fernande Epse KOFFI**,

Professeur Titulaire, Directrice de l'Unité de Formation et de Recherche des Sciences et Technologie des Aliments de l'Université Nangui Abrogoua, pour son soutien, ses conseils et orientations tant au niveau académique qu'extra-académique. Merci "Maman" ! Merci aussi à vous pour la qualité et la rapidité des services administratifs de votre UFR que vous gérez.

Je n'exprimerai pas assez ma profonde gratitude à docteur **NINDJIN Charlemagne**, Maître de conférences, Université Nangui Abrogoua et coordonnateur principal du projet dont est issue cette thèse. Je vous remercie Dr Nindjin pour votre contribution depuis la conception de ce projet jusqu'à la rédaction finale de ce manuscrit. Un grand merci à vous pour votre grande disponibilité, le cadre de travail agréable que vous avez toujours créé pendant cette étude. Travailler avec vous fut très enrichissant à tous les niveaux aussi bien professionnellement qu'humainement.

Je remercie également les **Dr. Didier MBEGUIE-A-MBEGUIE**, chercheur au Cirad, Montpellier/France, **Dr KOHI Kouamé Alfred**, Maître-assistant à l'Université Nangui Abrogoua, pour leurs apports scientifiques et personnels qui m'ont été d'une immense utilité.

Vifs remerciements au **docteur CISSE Mohamed**, Maître de conférences à l'Université Peleforo Gon Coulibaly de Korhogo (Côte d'Ivoire), ainsi que les autorités de son institution pour l'accueil, le cadre de travail offert et surtout l'accompagnement pendant la crise sanitaire de Covid 19 en 2020. Vous avez permis que ce projet de thèse puisse poursuivre son exécution malgré cette pandémie. Je n'oublie pas ces moments passés à vos côtés et avec vos étudiants à qui je fais un clin d'œil.

Mes remerciements s'adressent également à l'ensemble des membres du laboratoire de Physiologie des fruits et légumes EA 4279/Avignon pour leur accueil qui a favorisé mon intégration, mon adaptation au sein de l'équipe. J'ai trouvé très spécial et admirable votre sens d'accueil sans discrimination aucune basée sur un quelconque critère (origine, couleur de peau, âge, niveau d'étude).

Je n'oublierai pas d'adresser mes remerciements à toutes les assistantes de direction de l'UMR Qualisud/ CIRAD et de l'école doctorale 536 d'Avignon Université pour leur amabilité et leur célérité dans la gestion des dossiers administratifs.

Merci à tous les membres du Laboratoire de Biochimie Alimentaire et de Technologies des Produits Tropicaux (**LBATPT**) de l'Université NANGUI ABROGOUA, particulièrement son directeur le professeur **AMANI N'guessan Georges** pour le cadre de travail offert et l'accompagnement scientifique. Merci à mes amis et collègues doctorants et stagiaires de LBATPT pour les moments d'échanges et de convivialité.

Je remercie très sincèrement tous les collègues doctorants et stagiaires avec qui j'ai eu le plaisir de partager le bureau B215 et surtout ceux du bureau A106 au Campus Jean-Henri Fabre, Avignon Université. Merci chers amis, pour ces moments de convivialité, d'amitié et de fraternité partagés pendant ces 3 ans et demi. Mes remerciements vont également à l'endroit de mes collègues doctorants de l'URM Qualisud.

Et surtout, merci à toutes les personnes qui de près ou de loin ont contribué à l'aboutissement de ce projet doctoral.

Je tiens à exprimer ma gratitude à la société de développement de culture bananière / Côte d'Ivoire (filiale de Compagnie Fruitière) et l'entreprise EOLIS/Côte d'Ivoire pour la mise à disposition du conteneur frigorifique, du groupe électrogène et l'accompagnement technique.

Je tiens à exprimer vivement et sincèrement mes remerciements à tous les membres du jury qui ont eu la laborieuse tâche d'évaluer ce travail.

Je ne dirai pas assez merci à toute ma famille pour son soutien indéfectible et continu et qui m'a donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. J'espère qu'elle trouvera dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour.

Vifs remerciements au docteur **SORO N'golo Aboudou**, Maître de conférences à l'Université Alassane Ouattara/Côte d'Ivoire, pour son rôle de guide, ses conseils avisés et surtout ses orientations de père. Qu'il veuille bien trouver ici l'expression de ma profonde reconnaissance. Je n'oublierai pas d'adresser mes remerciements à **M. Yeo Katiénépariga Tayourou, M. Yeo Soungari, Mlle Coulibaly Tiélourgo, M. Soro Gnénema Parfait, M. Yeo Pehouo, M. SILUE Katiénéfoha Marcel, M. SILUE Mikogame Mamadou, M. Konaté Beh Romaric** pour ces moments inoubliables passés ensemble.

Je ne saurai terminer ces mots de reconnaissance sans remercier **Dr N'guessan Firmin Exode, Dr Brou Koffi Siméon, Dr Disseka William Kwithony, Dr Adingra Didier Martial, Dr Kouassi Antonin Hermann, Dr Gnagne Depkao Hermann, M. Kouakoua Yapi Elisé, Mlle Diomande Mabintou, Mlle Doh Aménan Aline** pour leurs accompagnements divers.

Enfin, je tiens à exprimer toute ma gratitude à tous ceux que je n'ai pas pu citer et qui ont, de près ou de loin, contribué à la réalisation de ce mémoire.

Table des matières

Résumé	II
Abstract.....	III
Remerciements	IV
INTRODUCTION GENERALE.....	1
Contexte général de l'étude.....	1
La filière mangue en Côte d'Ivoire.....	2
Le maillon faible de la filière : la conservation post récolte.....	3
Objectifs.....	4
Organisation du manuscrit	4
CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	7
I.1 Biologie du manguier	8
I.1.1 Origine	8
I.1.2 Systématique	8
I.1.3 Description de l'arbre	8
I.1.3.1 système racinaire	8
I.1.3.2 Feuillage.....	9
I.1.3.3 Inflorescence.....	9
I.1.3.4 Fruit.....	10
I.2 Propriétés et Usages du manguier	13
I.3 Composition chimique et valeur nutritive de la mangue.....	13
I.4 Pouvoir antioxydant de la mangue	14
I.4.1 Caroténoïdes.....	15
I.4.2 Composés phénoliques	15
I.4.3 Acide ascorbique	16
I.5 Physiologie post récolte de la mangue	17
I.5.1 Perte en eau : transpiration cuticulaire.....	17
I.5.2 Respiration	18
I.5.3 La mangue : un fruit climactérique	18
I.5.4 Maturation et mûrissement.....	19
I.5.5 Biosynthèse éthylène et action	19
I.6 Facteurs d'altération de la qualité de la mangue.....	20

I.6.1 Notion de qualité	20
I.6.2 Modifications biochimiques.....	21
I.6.3 Désordres physiologiques	21
I.6.4 Chocs mécaniques	21
I.6.5 Maladies et infections post-récoltes de la mangue.....	21
I.6.5.1 Maladies de la mangue.....	22
I.6.5.2 Insectes ravageurs de la mangue.....	22
I.7 Facteurs influençant la conservation de la mangue et les moyens de contrôle.....	23
I.7.1 Facteurs externes	23
I.7.1.1 Facteurs environnementaux.....	23
I.7.1.3 Pratiques culturelles	26
I.7.1.2 Techniques de récolte.....	27
I.7.2 Facteurs internes.....	28
I.7.2.1 Cultivar.....	28
I.7.2.2 Stade de maturité physiologique à la récolte.....	28
I.7.2.3 Membrane cellulaire	29
I.7.2.4 Ethylène.....	29
I.7.3 Maladies et infections	34
I.7.3.1 Lutte chimique.....	34
I.7.3.2 Lutte physique	34
I.7.3.3 Lutte biologique.....	35
CHAPITRE II : METHODOLOGIQUE	38
II.1 Zone d'étude	39
II.2 Influence de l'application de l'hexanal par trempage sur les pertes post-récoltes et la qualité de la mangue var « Kent » au cours du stockage à froid.....	40
II.2.1 Matériel.....	40
II.2.2 Stade de maturité à la récolte	40
II.2.3 Récolte et transport des fruits	40
II.2.4 Echantillonnage.....	41
II.2.5 Traitement à l'hexanal.....	42
II.2.6 Paramètres de qualité.....	42
II.3 Recherche de biofongicide pour le traitement des maladies post-récoltes de la mangue ..	43

II.3.1 Evaluation de l'activité antifongique de quelques plantes médicinales sur les souches <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> , <i>Botrytis cinerae</i> et <i>Fusarium oxysporum</i>	43
II.3.1.1 Collecte de matériel biologique.....	43
II.3.1.2 Préparation des extraits végétaux	43
II.3.1.3 Préparation de la culture fongique.....	43
II.3.2 Evaluation de l'activité antifongique de l'huile essentielle de <i>Ocimum gratissimum</i> L. sur les souches isolées de la mangue	44
II.3.2.1 Matériel végétal.....	44
II.3.2.2 Matériel fongique	44
II.3.2.3 Isolement des pathogènes	44
II.3.2.4 Extraction de l'huile essentielle	45
II.3.2.5 Détermination « <i>in vivo</i> » de l'activité antifongique de l'huile essentielle d' <i>Ocimum gratissimum</i> L. sur les pathogènes.....	46
II.3.2.6 Effet du traitement sur les caractéristiques de qualité des mangues	46
II.3.3 Détermination « <i>in vitro</i> » de l'activité antifongique des extraits végétaux sur les pathogènes.....	46
II.4 Influence de la combinaison de l'hexanal a l'huile essentielle de <i>Ocimum gratissimum</i> L. sur la maturation et les maladies post-récolte de la mangue.....	47
II.4.1 Matériel végétal.....	47
II.4.2 Matériel technique.....	48
II.4.3 Echantillonnage.....	48
II.4.4 Préparation des différents produits de traitement	49
II.4.5 Application des différents produits de traitement	50
II.4.6 Mesures de paramètres physicochimiques.....	50
CHAPITRE III : INFLUENCE DE L'APPLICATION DE L'HEXANAL PAR TREMPAGE SUR LES PERTES POST-RECOLTES ET LA QUALITE DE LA MANGUE VARIETE "KENT" AU COURS DU STOCKAGE A FROID.....	51
III.1. Introduction	54
III.2. Materials and methods	54
III.3. Results	55
III.4. Discussion	58
III.5. Conclusion.....	59
III.6. References	59

CHAPITRE IV : RECHERCHE DE BIOFONGICIDE POUR LE CONTROLE DES MICRO-ORGANISMES RESPONSABLES DES MALADIES POST-RECOLTE DE LA MANGUE	62
IV.1. "In vitro" antifungal activity of aqueous extract and essential oil of <i>Ocimum gratissimum</i> L. against three phytopathogenic fungi	64
Abstract	65
IV1.1. Introduction	65
IV.1.2. Material and methods.....	67
IV.1.3. Results and discussion	69
IV.1.4. Conclusion.....	78
IV.1.5. References	78
IV.2 Antifungal activity of the essential oil of <i>Ocimum gratissimum</i> L. against two pathogens isolated from mango, Ivory Coast.....	84
Abstract	85
IV.2.1 Introduction	86
IV.2.2 Materials and methods	87
IV.2.3 Results.....	90
IV.2.4 Discussion	94
IV.2.5 Conclusion.....	96
IV.2.6 References	97
CHAPITRE V : INFLUENCE DE LA COMBINAISON DE L'HEXANAL ET L'HUILE ESSENTIELLE DE <i>OCIMUM GRATISSIMUM</i> L. SUR LA MATURATION ET LES MALADIES POST-RECOLTE DE LA MANGUE.....	103
Abstract.....	105
V.1 Introduction	106
V.2 Materials and methods	107
V.3 Results	109
V.4 Discussion	113
V.5 Conclusion.....	115
V.6 References	116
CHAPITRE VI : SYNTHÈSE DES RESULTATS	121
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	126
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	128
ANNEXE	145
Equipe d'encadrement	149

INTRODUCTION GENERALE

Contexte général de l'étude

La production des fruits et légumes en Afrique sub-saharienne a été estimée respectivement à près de 34,22 et 31,95 millions de tonnes en 2014 (**James et Zikankuba, 2017**). Les fruits et légumes jouent un rôle très important dans la lutte contre la pauvreté (à travers la commercialisation) et la malnutrition dans les pays du sud. Ainsi, leur consommation est vivement recommandée par la FAO, le PNNS et l'OMS pour leur effet bénéfique sur la santé publique. En fait, plusieurs raisons expliquent l'effet bénéfique des fruits et légumes sur la santé. D'abord, ils contribuent de façon importante à l'apport en micronutriments (vitamines, minéraux), fibres alimentaires et composés secondaires (caroténoïdes, polyphénols) nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme (**Lauricella et al., 2017**). Ensuite, ils assurent un effet protecteur contre les maladies chroniques telles que les maladies cardiovasculaires, neurodégénératives et métaboliques. Enfin la majorité de ces denrées possède une densité (ou valeur) énergétique faible, essentielle pour la lutte contre le surpoids et l'obésité, notamment dans les pays du nord. A l'heure actuelle, les fruits tropicaux comme la banane, la mangue, l'ananas, font partie des récoltes horticoles les plus importantes à travers le monde et leur part de marché au niveau international ne cesse de croître afin de répondre à la demande accrue des consommateurs.

La mangue (*Mangifera indica* L.) fait partie aujourd'hui des cinq fruits les plus produits et les plus consommés dans le monde après l'orange, la banane, le raisin et la pomme. Plus de quatre-vingts (80) pays tropicaux et subtropicaux à travers le monde sont producteurs de mangue et se partagent le marché mondial. La production annuelle mondiale de la mangue estimée à environ 55 026 131 tonnes et 54 831 104 tonnes en 2019 et 2020, respectivement (**FAOSTAT, 2022**). L'Asie assure 74,31% de la production totale suivie de l'Amérique (12,82 %) et l'Afrique (12,76 %). Il existe plus de 1000 variétés de mangue à travers le monde. Certaines sont considérées comme des variétés pulpeuses (Early, Gold, Keith, Kent, Palmer, Smith et Springfield) et d'autres comme des variétés juteuses (Julie, Zill) (**Njantou, 2006**). Quelle que soit la variété, la mangue est un aliment à forte valeur nutritive constituée majoritairement d'eau (> 80%), de polysaccharides, de vitamines et de minéraux avec un taux faible en protéines et en matières grasses. La mangue a également une forte « valeur santé » grâce à ses fortes teneurs en caroténoïdes, flavonoïdes, vitamines et fibres. Elle est connue par sa richesse en antioxydants essentiellement en provitamine A (en moyenne 1082 IU/ 100 g matière fraîche) et en vitamine C avec environ 36,4 mg /100 g matière fraîche (Lebaka et al., 2021). Avec une valeur énergétique comprise entre 50-60 Kcal pour 100 g de fruit, elle fait

partie des fruits moyennement calorique. La mangue est un fruit très bénéfique tant au niveau nutritionnel qu'économique pour les pays tropicaux ayant un faible pouvoir d'achat, victimes de malnutrition et menacés d'insécurité alimentaire.

La filière mangue en Côte d'Ivoire

La mangue est parmi les trois fruits les plus exportés de Côte d'Ivoire avec la banane et l'ananas. Ces trois cultures, à elles seules, contribuent à près de 3 à 4 % du produit intérieur brut (PIB) national et 8 à 10 % du PIB agricole. La mangue fraîche occupe 60 % en termes de part de marché des fruits (**Nouar *et al.*, 2013**). Avec le concept de "souveraineté alimentaire" qui donne le droit à chaque pays de définir sa propre politique agricole et alimentaire pour limiter le "dumping" sur leurs marchés, la Côte d'Ivoire a choisi une politique basée sur l'accroissement des capacités de production. Ainsi, la production de mangue est passée de 10 000 tonnes en 2001 à 100 000 tonnes à partir de 2011 (**Koffi *et al.*, 2012**) puis à 159 394 tonnes en 2018 (**OBAM-CI, 2018**). Grâce à sa production de mangue de la variété Kent et sa façade maritime, elle a été classée troisième fournisseur mondial de mangue au marché européen en 2000 avec une exportation totale de 10 000 à 14 000 tonnes (**Kouassi, 2012**) et 32 000 tonnes en 2020 selon l'Intermangue-Côte d'Ivoire (2020). Le commerce de la mangue produit plus de 7 milliards de FCFA (10 670 732 Euros) de recettes et procure aux producteurs environ 1 milliard de FCFA (1 524 390 Euros) de revenu annuel (**Kouassi, 2012**). Malgré la demande croissante des pays importateurs et alors que l'exportation de la mangue pourrait être une source de revenu intéressante, en absence de transformation, la majeure partie de la production de mangue est destinée au marché local. En effet, la filière mangue en Côte d'Ivoire est mal organisée et peu professionnalisée car la production actuelle de mangue est assurée essentiellement par des coopératives et de petits producteurs indépendants (92,8 %) avec des superficies de 2 à 3 ha et des coopératives (> 50 ha de surfaces cultivées) dans le nord et le centre du pays. De plus, les phénomènes d'alternance, les ravageurs, les maladies et infections, les phénomènes physiologiques du fruit, le manque d'infrastructures de conservation causent d'énormes pertes post récoltes. Ces pertes sont estimées à plus de 30 – 60 % de la production totale en 2019 (**Mulder *et al.*, 2019**). Ce qui met à mal la sécurité alimentaire et nutritionnelle des populations et constitue un manque financier à gagner pour les acteurs de la filière. Ainsi, l'on remarque bien que l'augmentation de la production seule ne suffit pas pour assurer une longue période de disponibilité de la mangue. Cependant, le développement de nouvelles technologies efficaces de gestion post récolte doit attirer l'attention des gouvernements, des bailleurs et des chercheurs.

Ainsi, la recherche des voies et moyens pour produire plus et conserver mieux après la récolte, s'avère donc une impérative pour les pays en voie de développement dont la Côte d'Ivoire.

Le maillon faible de la filière : la conservation post récolte

Certes, l'on ne cherche pas systématiquement une technique qui supprime la détérioration de la mangue mais plutôt une technique qui puisse la retarder le plus longtemps possible et donc augmenter la durée de commercialisation. En effet, les fruits et légumes sont des tissus vivants et hautement périssables qui maintiennent une activité métabolique même après la récolte. La capacité des fruits à se conserver dépend de l'espèce, de la variété, des techniques culturales, des techniques de récolte et des méthodes de conservation post récoltes telles que le contrôle de la température, de l'atmosphère autour du produit, des microorganismes, ... Cependant, ces méthodes sont mal maîtrisées et difficilement appliquées dans les pays en développement où la production et la fonction de conservation sont en majorité assurées par les petits producteurs et détaillants. Ce qui conduit à des altérations et/ou désordres physiologiques avec un effet indésirable sur la qualité nutritionnelle et marchande des fruits. Même si la transformation reste le moyen le plus efficace de réduction des pertes, l'exportation de la mangue fraîche se présente comme une alternative pertinente et rémunératrice pour l'amélioration des revenus des acteurs de la filière. Bien que ce secteur soit relativement bien organisé et outillé, il reste toujours confronter à un certain nombre de problèmes d'ordre général (maturation rapide et maladies infectieuses) et sectoriel (maturation hétérogène des stocks, adaptation des méthodes de conservation au secteur d'activité). Pour répondre à la maturation rapide, les exportateurs utilisent principalement la basse température pour le stockage et le transport de la mangue. Pourtant, plusieurs auteurs ont démontré la capacité de l'hexanal à ralentir la maturation de nombreux fruits (**Cheema et al., 2014; Gill et al., 2016; Jincy et al., 2017; Kumar et al., 2018**). Il est à noter qu'en pré-récolte, l'hexanal est appliqué par pulvérisation à 30 et 15 jours avant la récolte (Anusuya et al., 2016; Kaur et al., 2020). En post-récolte, il est principalement appliqué par vaporisation (**Ashitha et al., 2019; Sharma et al., 2010**), alors que le trempage n'est appliqué qu'après une application pré-récolte (**Preethi et al., 2018; Yumbya et al., 2018**). Cette double application ou la vaporisation ne permet pas une intégration du traitement à l'hexanal dans la chaîne de conditionnement destinée à l'exportation. Toutefois, le trempage pourrait être mieux intégré dans la chaîne de conditionnement de la mangue et cela en association avec la basse température.

Par ailleurs, l'antracnose, causée par les espèces de *Colletotrichum*, est connue comme la principale maladie affectant toute activité de la mangue (production, stockage, transport,

distribution et la commercialisation). Ainsi, pour traiter les maladies fongiques, les exportateurs ivoiriens utilisent un produit de synthèse connu commercialement sous le nom de "Scholar 230SC". Selon son fabricant « Syngenta[®] », la principale molécule active de ce produit est le fludioxonil. Cependant, cette molécule aurait un effet peu significatif sur l'antracnose (**Swart et al., 2009**). D'après les professionnels de la mangue, le Scholar 230SC serait en instance de retrait de la liste des produits autorisés pour le traitement de la mangue en Côte d'Ivoire. Par conséquent, il est nécessaire de développer une méthode de contrôle alternative qui soit écologique, durable et efficace dans la lutte contre les maladies fongiques.

Objectifs

L'objectif général de cette étude est de mettre à la disposition des exportateurs de mangue, une méthode de réduction des pertes post-récoltes qui soit à la fois efficace, simple à utiliser et surtout accessible à moindre coût en vue d'améliorer les revenus des acteurs de la filière. Le choix de la variété "Kent" comme cas d'étude s'explique par le fait qu'elle représente le plus gros tonnage exporté par l'Afrique de l'Ouest dont la Côte d'Ivoire. C'est aussi la variété la plus recherchée par les importateurs en raison de son appréciation par les consommateurs et pour ses qualités organoleptiques.

Ainsi, il est proposé aux exportateurs d'une part d'introduire le trempage des mangues dans un mélange à base d'hexanal dans la chaîne de conditionnement de la mangue afin de renforcer la capacité de conservation au froid au cours du transport et du stockage. D'autre part, nous proposons aussi de tester l'extrait de plantes médicinales pour traiter les maladies au cours du stockage et transport.

Les objectifs des travaux de thèse seront (i) d'évaluer l'effet de l'application de l'hexanal par trempage après la récolte sur les pertes et la qualité de la mangue conservée à basse température (ii) d'évaluer en particulier l'effet de l'huile essentielle de *O. gratissimum* L. contre les maladies post-récoltes de la mangue et sur la qualité du fruit (iii) d'évaluer l'effet de la combinaison de ces deux produits naturels sur la conservation et la qualité des mangues.

Organisation du manuscrit

Ce manuscrit est organisé en six chapitres selon les objectifs majeurs de l'étude. Après une introduction générale qui définit le contexte de l'étude et les objectifs de la thèse, le premier chapitre fait état des connaissances actuelles disponibles sur la biologie de la mangue et les techniques et facteurs de conservation de la mangue. Le second chapitre présente la démarche expérimentale globale de la thèse. Le troisième chapitre concerne l'effet du trempage dans la

formulation à base d'hexanal à différentes températures sur la durée de conservation et les paramètres de qualité de la mangue (**Chapitre 3, Publication 1**). Le quatrième chapitre est dédié à l'évaluation de l'activité antifongique des extraits de plantes médicinales (**Chapitre 4, Publication 2**) en particulier de l'huile essentielle *Ocimum gratissimum* L. (**Chapitre 4, Publication 3**) sur la croissance de quelques pathogènes de la mangue. Le cinquième chapitre met en évidence l'influence de l'application conjointe de l'hexanal et de l'huile essentielle de *O. gratissimum* L. sur la durée de conservation à froid et les paramètres de qualité de la mangue variété « Kent » (**Chapitre 5, Publication 4**). Chaque chapitre est suivi de la liste de références bibliographiques. Le sixième chapitre concerne la synthèse générale des résultats de la thèse et une interprétation de ces résultats.

Ce mémoire est achevé par une conclusion générale qui souligne les résultats probants obtenus et des perspectives de recherche sont proposées en vue d'une amélioration continue de la conservation de la mangue. Les informations complémentaires pouvant faciliter la lecture de ce manuscrit sont annexées aux différentes publications.

La **Figure 1** présente le schéma synoptique de l'organisation du mémoire permettant d'avoir une vision synthétique des travaux mis en œuvre.

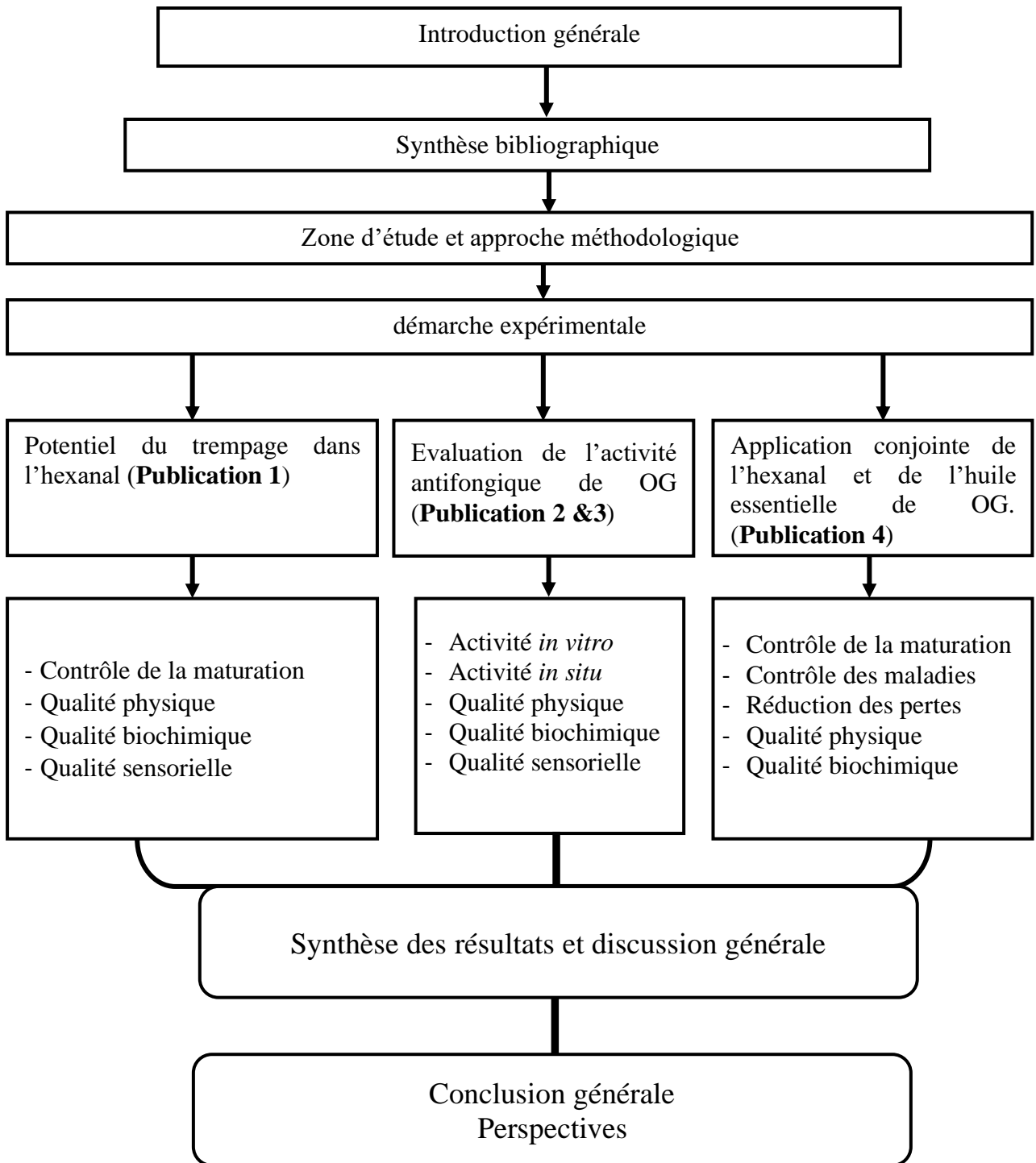


Figure 1: Schéma synoptique de l'organisation du mémoire

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Biologie du manguiier

I.1.1 Origine

Le manguiier (*Mangifera indica* L.) est cultivé depuis plus de 4000 ans (**Nakasone et Paull, 1998**). Le nom latin botanique *Mangifera indica* L. vient du nom tamoul ancien "mangos". Le manguiier est probablement originaire de la région Indo-birmane (**Bompard, 2009**). Deux centres de domestication sont reconnus : l'un en Inde avec les mangues monoembryoniques et l'autre en Asie du Sud-Est (Indonésie, Philippines, Thaïlande) avec les mangues polyembryoniques (**Iyer and Schnell, 2009**). La diffusion géographique du manguiier aurait été assurée à la fois par les commerçants indiens, les navigateurs et les prêtres bouddhistes (**Mukherjee et Litz, 2009**). Le manguiier fut introduit en Afrique (orientale) puis en Amérique à travers le Brésil par les Portugais au XVI^{ème} siècle (**Plantations, 2020**). Par ailleurs, il n'atteindra l'Afrique de l'Ouest que dans la deuxième décennie du XIX^e siècle à travers le Sénégal, avant de se répandre dans le reste de la sous-région à la fin dudit siècle (**Rey et al., 2004**). Les mangues ont été ensuite cultivées à partir du XIX^{ème} siècle au Mexique et aux Etats Unis. A ce jour, on retrouve le manguiier dans toute la zone intertropicale, au bord de la méditerranée (Egypte, Espagne, Israël, etc.), en Afrique de l'Ouest, au sud-est asiatique, en Amérique centrale et du sud (**Braz, 2004**).

I.1.2 Systématique

Le manguiier (*Mangifera indica* L.) appartient à l'ordre des Sapindales et fait partie de la famille des Anacardiaceae qui comporte en grande partie des espèces tropicales comme l'anacardier et le pistachier (**Bompard, 2009**). Selon le même auteur, le genre *Mangifera* comporte 69 espèces dont le plus grand nombre d'entre elles est retrouvé en Malaisie. L'espèce *Mangifera indica* L. comprend environ 1000 variétés présentes dans le monde entier (**Jahurul et al., 2015**).

I.1.3 Description de l'arbre

I.1.3.1 système racinaire

Le système racinaire du manguiier est de type pivotant. Après la germination, la radicule s'allonge rapidement pour former un pivot qui ne donne au départ que quelques ramifications, assurant l'ancrage de l'arbre dans le sol. Ce pivot, s'il ne rencontre pas d'obstacle, continue à s'enfoncer profondément dans le sol. D'autres racines verticales se forment à partir des racines de surface (**De Laroussilhe, 1980**).

I.1.3.2 Feuillage

Les feuilles du manguier peuvent prendre des formes variables allant de l'ovoïde-lancéolé à ovale ou elliptique, et mesurent de 15 à 40 cm de long. La largeur varie entre 1,5 cm et 4 cm ; l'apex peut être acuminé, sub-acuminé ou pointu, selon les variétés. Leurs forme et couleur varient selon l'âge et la variété (**Figure 2**). Les feuilles, au début de leur vie, jouent un rôle inhibiteur sur le développement du bourgeon apical et des subapicaux. Les feuilles sont produites par une succession de pousses végétatives entre des périodes de dormance. En général, trois à quatre pousses végétatives par année sont observées sur un arbre adulte. Le nombre de pousses est sous la dépendance du climat (**De Laroussilhe, 1980; Mukherjee et Litz, 2009**).



Figure 2: Feuillage de manguiers KENT d'âge différent (Silue, 2020)

I.1.3.3 Inflorescence

L'inflorescence du manguier est une panicule terminale de forme pyramidale, d'une longueur moyenne de 25 à 45 cm qui peut porter jusqu'à environ 3000 petites fleurs de couleur rouge blanchâtre ou vert jaunâtre (Shah et al., 2010) (**Figure 3**). Ces petites fleurs (6 mm environ) sont groupées 3 par 3 sur de courts pédicelles. Elles sont pentamères et peuvent être de couleur orange, rose verdâtre, pêche ou jaune. Elles présentent des points rouges qui sont dus à des pigments anthocyaniques. Selon **Bally (2006)**, le manguier comporte deux types de fleurs, les fleurs hermaphrodites et les fleurs mâles. Ces deux types de fleurs sont en proportion variables et l'arbre est monoïque. Chez le manguier la pollinisation est essentiellement croisée car les organes mâles et femelles ne sont pas matures en même temps. Cette pollinisation est assurée par de petits insectes comme les thrips, les aphides et les mouches ou les oiseaux et le vent. L'initiation de la floraison exige nécessairement une période de repos végétatif de 2 ou 3 mois

de sécheresse au cours desquelles des réserves s'accumulent dans les rameaux, ce qui va faciliter la différenciation du bourgeon apical en bourgeon floral. L'inflorescence se termine toujours par une fleur, ce qui fait d'elle un organe éphémère qui disparaît de la structure de l'arbre après quelques semaines ou quelques mois (Dambreville, 2013).



Figure 3: Inflorescence du manguier cv Kent (Silue, 2020)

I.1.3.4 Fruit

Le fruit du manguier appelé mangue est un fruit charnu de 7 à 12 cm de diamètre plus ou moins aplati latéralement avec une odeur caractéristique à maturité. Sa forme est très variable selon les variétés : oblongue, réniforme, elliptique, ovoïde, cordiforme ou aplatie. Son poids va de moins de 100 g pour certaines variétés à plus d'un kilogramme (1 Kg) pour d'autres avec une préférence sur le plan commercial pour les fruits de taille moyenne (Ouedraogo, 2011). Le **Tableau 1** présente les variétés les plus commercialisées. Le fruit est rattaché à l'arbre par un long pédoncule dont la longueur va de 10 à 25 cm selon les variétés. La croissance et la maturation du fruit après la fin de la floraison, peuvent durer trois à six mois selon les variétés et les conditions climatiques. Une coupe transversale de la mangue présente de l'extérieur vers l'intérieur principalement trois (03) parties : la peau ou épicarpe, la pulpe ou mésocarpe et le noyau.

- **La peau ou épicarpe** est la partie externe du fruit avec une coloration variable : verte, jaune, orange, rouge violacée seule ou en mélange sous forme de taches suivant la variété. Elle est assez mince chez les variétés cultivées et devient à maturité, jaune à jaune verdâtre chez certaines variétés ou rouge violacé chez d'autres, sur la totalité du fruit ou partiellement.

- **La pulpe ou mésocarpe** est la partie comestible du fruit. À maturité, la chair se colore en jaune orangé ou rouge vif. Avec une fermeté variable selon la variété, elle est le plus souvent juteuse. Elle est sucrée, très légèrement acidulée, avec une saveur variable et un goût nettement prononcé de térébenthine pour les mangots (fruits des manguiers sauvages ou mangotiers).
- **Noyau** présente une insertion de fibres et possède une cavité dans laquelle se loge la graine. La taille de la graine varie de 4 à 7 cm de long sur 3 à 4 cm de large et 1 cm d'épaisseur (**Rey *et al.*, 2007**).

Tableau 1: Caractéristiques des principales variétés de mangue commercialisées dans le monde

Variétés	Forme du fruit	Calibre (g)	Coloration	Période de production	Aspect et caractéristiques de la chair
Variétés floridiennes ou américaines					
Haden	Ovale à cordiforme arrondi	340-560	Jaune et rouge foncé	Précoce	Jaune orange, bien juteuse, légèrement acidulée.
Keitt	Ovale	450-680	Jaune orange coloré en rose carminé	Tardive	Orange à jaune foncé relativement ferme mais tendre, fondante, juteuse, fruité, présence de fibres
Kent	Ovoïde gros	750-800	Jaune verdâtre coloré de rouge foncé	Fin de pleine saison	Jaune intense à jaune orange, fondante, juteuse, sans fibres
Palmer	Long Oblong arrondie	450-680	Jaune orangé coloré en rose rouge/pourpre	Fin de pleine saison	Jaune à jaune orange, ferme, texture douce, sucrée à maturité, quelques fibres
Tommy Atkins	Ovoïde à légèrement oblong	450-710	Orange jaune coloré en rouge brillant	Semi-précoce	Orange prononcé, juteuse, légèrement fibreuse.
Zill	Ovoïde	228-340	Vert jaune à jaune abricot coloré en pourpre sur les ¼ de la surface	Début de pleine saison	Jaune orange ferme, sans fibre
Variété indienne					
Alphonso	Oblong	330-360	Jaune	Semi-précoce	Très sucrée, très juteuse, très agréable au goût
Variétés antillaises					
Amélie	Arrondi	300-600	Vert orange	Précoce et pleine saison	Orange foncé, molle, fondante, très savoureuse
Julie	Oblong	140-285	Jaune orange coloré de carmin	Pleine saison	Très aromatique avec parfois un léger goût de résine, peu ou pas de fibres

Source : (Extrait de *Fruitrop N°23* in *Djioua, (2010)*)

I.2 Propriétés et Usages du manguier

Le manguier présente des usages aussi nombreux que divers pour l'homme. La fleur, les feuilles, le fruit, l'écorce, le noyau ainsi que les racines du manguier sont largement utilisés en pharmacopée pour soigner de nombreuses maladies et affections (**Arbonnier, 2000**). Le bois du manguier peut servir de source d'énergie et l'arbre est parfois utilisé pour l'ombrage et l'embellissement.

Le fruit qui fait l'objet de la culture du manguier est la plus utilisée de toutes les parties de l'arbre. Il est consommé essentiellement à l'état frais dans les pays producteurs (surtout les pays du sud) et sous forme transformée dans les pays importateurs. En Afrique tropicale, le manguier joue un rôle très important dans l'alimentation des populations surtout les populations rurales. La mangue verte est utilisée en Afrique australe et en Inde pour la fabrication de condiments comme les « chutneys » et les « pickles » (**De Laroussilhe, 1980**). Le fruit mûr est utilisé comme desserts, ou entre dans la préparation de boisson, poudre, confiture, gelée, conserve de pulpes de mangue, purée de mangue, mangue séchée, cocktail de mangue, nectar de mangue, etc (**Njantou, 2006**). La mangue peut être utilisée également pour la production d'alcool, de vin, de pétillant et de vinaigre de mangue (**Koffi et al., 2012**). Si ailleurs, la transformation en sous-produits a pour but de donner de la valeur ajoutée au produit, en Afrique elle apparaît tout d'abord comme une voie de valorisation des invendus de l'état frais. En Afrique de l'Ouest, la transformation est limitée par le marché de produits finis, les jus et les nectars de mangue étant difficiles à commercialiser localement.

I.3 Composition chimique et valeur nutritive de la mangue

La pulpe de mangue est un aliment de forte valeur nutritive à majorité constituée d'eau (> 80%), de polysaccharides, de vitamines et de minéraux avec un faible taux en protéines et en matières grasses. La mangue est un fruit très bénéfique pour les pays tropicaux victimes de malnutrition et menacés d'insécurité alimentaire. Elle fait partie des fruits moyennement calorique. Le **Tableau 2** présente la composition de la mangue mûre.

Tableau 2: Composition chimique et nutritionnelle de la pulpe de mangue pour 100 g

Constituants	Quantité pour 100 g
Eau	81,7 %
Energie	65 kcal (272 KJ)
Glucides	14,98 g
Fibres alimentaires	1,6 g
Protéines	0,82
Lipides	0,38
Minéraux	
Potassium	168 mg
Phosphore	14 mg
Calcium	11 mg
Magnésium	10 mg
Sodium	1 mg
Fer	160 mg
Cuivre	110 mg
Zinc	90 mg
Manganèse	27 mg
Vitamines	
Vitamine C	36,4 mg
Vitamine E	1,12 mg
Vitamine A	1082 IU
Niacine (vit B3)	0,669 mg
Acide pantothénique (vit B5)	0,160 mg
pyridoxine (vit B6)	0,119 mg
Riboflavine (vit B2)	0,038 mg
Thiamine (vit B1)	0,028 mg
Folates totaux	0,043 mg
Vitamine K	0,0042 mg
Caroténoïdes	
β-carotène	0,445 mg
α-carotène	0,017 mg

Source : Base de données des nutriments pour une référence normative du Département de l'Agriculture des Etats unis (USDA) (2016) In : Lauricella et al., 2017

I.4 Pouvoir antioxydant de la mangue

Les antioxydants présents dans la chair de la mangue (caroténoïdes, vitamines et polyphénols dont anthocyanes) peuvent protéger les cellules du fruit par piégeage et l'élimination des radicaux libres responsables des dégâts oxydatifs des lipides, protéines et acides nucléiques (Ajila et al., 2007).

I.4.1 Caroténoïdes

Les caroténoïdes sont des molécules lipidiques appartenant à la famille des terpènes. C'est une classe de composés précurseurs de vitamines et antioxydants essentiels pour l'organisme (**Dorais et al., 2008**). La biosynthèse des caroténoïdes dérive de la biosynthèse générale des isoprénoïdes et l'embranchement de ces deux voies se fait au niveau du phytoène. La couleur, l'élément caractéristique de ces molécules, peut varier du jaune au rouge. Elles doivent leur coloration à leur système de doubles liaisons conjuguées créant un chromophore et permettant ainsi l'absorption de la lumière visible entre 400 nm et 500 nm, ce qui détermine leur couleur. Chez les organismes photosynthétiques, les caroténoïdes interviennent au niveau de l'antenne photo-collectrice qui permet le transfert de l'énergie lumineuse à la chlorophylle. Mais l'intérêt de ces pigments tient également à leurs propriétés antioxydantes (**Morin-savy, 2005**). Certains caroténoïdes notamment le β -carotène sont des éléments nutritifs importants pour l'Homme et les animaux puisqu'ils servent de précurseurs de la vitamine A, le rétinol. Ainsi, les caroténoïdes sont impliqués dans la prévention de certaines maladies telles que les maladies de l'œil dont la DMLA (Dégénérescence Maculaire Liée à l'Age), les maladies cardiovasculaires, certains cancers et l'érythème induit par la lumière (**Shi et Le Maguer, 2000**). Le β -carotène représente 60 % des caroténoïdes totaux (soixantaine) de la mangue (**Saleem Dar et al., 2016**). Cependant, la lutéine est la plus importante au premier stade de murissement (**Ediriweera et al., 2017**). Les premières traces de jaune dans la chair, en majorité dues aux caroténoïdes, apparaissent lorsque les épaules du fruit sont au même niveau que le point d'insertion du pédoncule. Les caroténoïdes sont responsables de la couleur des mangues mûres et leur teneur augmente au cours du mûrissement. La teneur en caroténoïdes dans la pulpe du fruit varie selon le stade de maturité, la variété et la zone géographique de production (**Joas, 2009**).

I.4.2 Composés phénoliques

Les polyphénols représentent une famille de molécules organiques commune aux plantes. Du point de vue structural, les polyphénols sont caractérisés par la présence de deux ou plusieurs unité(s) de phénol(s). A l'heure actuelle, plus de 8000 molécules ont été isolées et identifiées (**Hennebelle et al., 2004**). Selon leurs caractéristiques structurales, il y a quatre principales familles de composés phénoliques : les acides phénoliques, les flavonoïdes, les anthocyanes et les tanins. Les composés phénoliques sont des éléments importants dans la qualité sensorielle (couleur et goût notamment l'astringence) et nutritionnelle des végétaux. Ils possèdent une activité antioxydante très importante (lutte contre le vieillissement cellulaire) et participent ainsi à la lutte contre certains cancers (**Spencer et al., 2001**). Les flavonoïdes constituent l'un des

plus importants groupes et peuvent être subdivisés en treize (13) différentes classes avec plus de 5000 composés décrits (**Harborne et Williams, 2000**). Ils ont une activité antioxydante très importante due à leur large spectre de réactivité (piégeage) avec différentes espèces réactives d'oxygène comme les anions superoxydes, le radical hydroxyle et les radicaux peroxylys (**Harborne et Williams, 2000**). En plus de leur potentiel antioxydant, les flavonoïdes possèdent d'autres propriétés telles que l'activité antimutagénique, anti-prolifération des cellules tumeurs, propriétés antimicrobiennes et l'activité protectrice contre l'athérosclérose, les risques de maladies cardiovasculaires (Day et al., 2003; Yao et al., 2004). Selon **Schieber et al. (2000)**, la mangiférine, l'acide gallique (acides m-digallique et m-trigallique), les gallotanins, la quercétine, l'isoquercétine, l'acide ellagique et le β -glucogallin représentent les composés phénoliques majeurs de la pulpe de mangue. L'acide gallique étant identifié comme le phénol majoritaire chez la mangue suivie des tanins hydrolysables. Les polyphénols totaux accroissent pendant le grossissement du fruit et diminuent pendant le mûrissement (**Kim et al., 2007**). Selon **Diomande et al. (2021)**, les teneurs en polyphénols dans la peau et l'amande du noyau de la mangue mure varient respectivement de 39,67 à 85,18 mg/g et de 22,86 à 58,43 mg/g selon la variété.

I.4.3 Acide ascorbique

L'acide ascorbique ($C_6H_8O_6$) joue un rôle important chez l'Homme. Au cours du métabolisme aérobie dans les chloroplastes, les mitochondries ou les peroxysomes, il se produit des molécules ou radicaux très actifs et instables appelés « Espèces Réactives de l'Oxygène » (**Parent et al., 2008**). Le stress augmente la quantité de ces derniers qui peut s'avérer nocive à un certain seuil, causant ainsi des dommages au niveau des protéines, acides nucléiques et lipides. On parle alors de stress oxydatif. Certaines telles que le peroxyde d'hydrogène (le plus dangereux) sont produites par la réaction de Fenton causant l'oxydation de Fe^{2+} en Fe^{3+} (**Lauricella et al., 2017**). Une accumulation importante peut affecter négativement la capacité de réparation de la cellule entraînant ainsi des états pathologiques chroniques comme le cancer, l'athérosclérose, le diabète, les attaques cardiaques, les maladies cardiovasculaires, etc. Pour lutter contre ces dérivés d'oxygène, l'organisme a développé un groupe spécifique de systèmes enzymatiques à savoir catalase, superoxyde dismutase (SOD), glutathione peroxydase (**Done et Traustadóttir, 2016**). Au-delà de son potentiel antioxydant, la vitamine C joue un rôle essentiel dans la formation du collagène, la conversion du cholestérol en acides biliaires, la régulation de l'insuline chez les diabétiques, la lutte contre les dommages des cellules oculaires (cataracte) (**Mayne, 2003**) et surtout dans la régénération de la vitamine E, principal

antioxydant de la membrane cellulaire (**Conti et al., 2016**). Malheureusement, l'ascorbate n'est pas synthétisé par l'Homme, l'alimentation reste donc sa principale source, notamment les légumes verts feuillus et les fruits comme les agrumes, les baies (cassis, groseille), les kiwis, la tomate, la mangue, etc. Selon **Lauricella et al., (2017)**, la mangue contient une grande variété d'antioxydants, de pigments et vitamines capables de neutraliser les radicaux libres. Le mésocarpe contient une grande quantité de vitamine C et de composés phénoliques qui varie d'une variété à une autre (**Carlisi et al., 2014**). La quantité quotidienne de vitamine C recommandée est de 60 mg pour un adulte. Selon **Joas, (2009)**, avec une quantité approximative de 27 mg/100 g de matière fraîche de pulpe, une demi-mangue suffit pour combler 2/3 de l'apport quotidien recommandé en cette vitamine.

I.5 Physiologie post récolte de la mangue

La mangue est un fruit qui assure la continuité de son métabolisme même après la récolte. En effet, après la récolte certains phénomènes physiologiques tels que la respiration, la production d'éthylène et la transpiration cuticulaire se poursuivent.

I.5.1 Perte en eau : transpiration cuticulaire

La perte en eau de la mangue est un facteur important qui affecte la durée d'entreposage. Elle peut causer des changements indésirables de l'apparence tels que le ramollissement du tissu, la dessiccation en surface, la perte de masse du produit (**Irtwange, 2006**). La différence de pression de vapeur entre le produit et l'environnement (humidité relative) ainsi que la respiration du produit sont les facteurs les plus importants qui régulent la transpiration et donc la perte d'eau. En effet, lorsque l'atmosphère immédiate du fruit est saturée en eau (HR= 100% et pression de vapeur nulle), la perte d'eau par transpiration continue à cause de la respiration (transpiration inhérente) (**Tano et al., 2005**). En revanche, lorsque l'atmosphère n'est pas saturée alors la transpiration est reliée à la différence de vapeur entre le produit et l'atmosphère de l'emballage. Par ailleurs, la transpiration dépend aussi d'autres facteurs intrinsèques au fruit tel que la variété à travers le rapport surface/volume, la cuticule (porosité, épaisseur, structure et composition chimique). En outre, il faut tenir compte des facteurs externes ou environnementaux tels que la température et le mouvement de l'air qui influencent de façon significative la transpiration des fruits et légumes (**Kawabata et al., 2005**). Il est impossible d'arrêter la transpiration d'un fruit mais les moyens de réduction de la respiration, la haute humidité et la basse température peuvent permettre de la réduire (**Toivonen et al., 2002**).

I.5.2 Respiration

La respiration est l'activité physiologique majeure post-récolte de la mangue. C'est un processus catabolique impliquant la glycolyse et le cycle des acides tricarboxyliques avec consommation d'oxygène atmosphérique. Il aboutit à la formation d'éventuels composés intermédiaires de forme variable, à la production de dioxyde de carbone, d'eau et d'énergie sous forme d'ADP et ATP (adénosine di et tri phosphate) (Fernie *et al.*, 2004; Fonseca *et al.*, 2002; Patel *et al.*, 2016). Cette énergie est indispensable à la survie du végétal et au maintien de l'intégrité structurale et fonctionnelle des cellules. Généralement, le taux de détérioration d'un fruit et légume est directement proportionnel à son taux de respiration. En effet, la respiration est une réaction oxydative conduisant à la formation de radicaux libres. Ces derniers transforment les acides nucléiques et les molécules organiques (lipides, glucides et protéines ou certaines enzymes), en de petites molécules telle que le CO₂ et le H₂O (Mashau *et al.*, 2012). Ils déstabilisent ainsi la membrane cellulaire par la destruction des phospholipides membranaires. La durée de vie potentielle de la mangue après récolte dépend de son intensité respiratoire (IR). Si l'IR est élevée, le fruit consomme rapidement ses réserves (polysaccharides) et évolue vers la sénescence. L'IR dépend des facteurs internes tels que le stade de maturité, les constantes de diffusion des gaz à l'intérieur des tissus et des facteurs externes dont les principaux sont la température, la composition gazeuse de l'atmosphère (teneurs en oxygène et gaz carbonique) ainsi que l'humidité relative de l'environnement immédiat du fruit (Nakamura *et al.*, 2004). La mangue a un taux de respiration moyen compris entre 16 et 46 mg CO₂ kg⁻¹.h⁻¹ à 10 °C (Gross *et al.*, 2016). Suivant la concentration de l'oxygène, la respiration peut être aérobie (présence d'O₂) ou anaérobie (absence ou faible teneur d'O₂). Toutefois, ces deux types de respiration coexistent normalement avec une variation d'intensité qui dépend des conditions environnementales (Saquet et Streif, 2017). Lorsque la respiration aérobie prédomine, elle permet le développement naturel et la préservation de la qualité du produit. En revanche, si la respiration anaérobie est prédominante, elle génère de l'acétaldéhyde et de l'éthanol capables d'endommager le tissu et entraîner le développement de mauvaises odeurs (Saquet et Streif, 2008). Le taux de respiration est par conséquent un excellent indicateur de la durée de vie de la mangue.

I.5.3 La mangue : un fruit climactérique

Suivant l'apparition d'un pic de respiration ou de production d'éthylène, les fruits et légumes sont subdivisés en deux catégories à savoir les fruits climactériques (pic simultané de

respiration et d'éthylène) et les fruits non climactériques (absence de pic). Cette classification peut également être effectuée en fonction du caractère autocatalytique de production d'éthylène. Les fruits climactériques dont la mangue sont caractérisés par une maturation rapide sous l'influence de l'éthylène émis particulièrement à un stade de développement avancé (**Paul *et al.*, 2012**).

I.5.4 Maturation et mûrissement

La maturation et le mûrissement sont deux notions souvent mal interprétées et confuses. Pourtant en physiologie post-récolte, ce sont deux phénomènes bien distincts et désignent différents stades de développement du fruit.

La maturation d'un fruit est l'ensemble des réactions physiques, biochimiques, enzymatiques et physiologiques, qui le conduit à un stade de développement auquel, après récolte, sa qualité sera au moins à un niveau minimal acceptable pour le consommateur final (**Kassé, 2015**). Ainsi, ce stade de développement est appelé "stade de maturité".

Le mûrissement de la mangue est un processus qui survient avec la crise climactérique (pic respiratoire et pic de production d'éthylène) au cours duquel le fruit atteint sa qualité de bouche optimale. Ce stade est appelé "stade de comestibilité". Chez la mangue, ce processus dure 2 à 3 jours et est suivi par la sénescence. Le mûrissement est caractérisé par une perte de coloration verte, l'apparition de couleur jaune-orangée et d'odeur caractéristique de la mangue.

Par conséquent, le mûrissement peut être considéré comme une continuité de la maturation. Selon **Wills *et al.* (2007)**, la maturation continue même pendant le mûrissement jusqu'à la sénescence. Tandis que pour **Artés (2004)**, le mûrissement commence aux derniers stades de maturité et peut être considéré comme le début de la sénescence même si la différence est difficile à percevoir.

La sénescence est un processus de dégénérescence (dégradation) naturel et associé à l'âge du fruit. Elle est caractérisée par des changements tels que la perte totale de la chlorophylle, le flétrissement du tissu, le ramollissement ou la perte totale de la fermeté (**Djioua, 2010**).

I.5.5 Biosynthèse éthylène et action

L'éthylène (C₂H₄) est une molécule organique produite par la plupart des plantes. C'est une hormone gazeuse clé en physiologie végétale impliquée dans différents stades du développement, de la maturation et de la sénescence des fruits (**Baldwin, 2004; Saltveit, 1999**). Chez les fruits climactériques, la biosynthèse de l'éthylène est régulée par deux systèmes. Le système 1 maintient la production de l'éthylène à un niveau faible jusqu'au début du

mûrissement, alors que le système 2 est responsable de la production autocatalytique de l'éthylène pendant le mûrissement. La présence de l'éthylène exogène, même à faible dose, déclenche ou accélère le mûrissement du fruit si l'âge physiologique requis est atteint. Selon Giovannoni et al. (2017), pendant le système 1 de la biosynthèse de l'éthylène, l'apport d'éthylène exogène inhiberait le mûrissement alors que l'effet inverse c'est-à-dire accélérateur se produit au cours du système 2. Ce qui expliquerait l'absence de pic respiratoire ou de production d'éthylène chez les fruits et légumes non climactériques. En effet, les fruits non climactériques, seul le système 1 est opérationnel (Alexander et Grierson, 2002). Giovannoni et al., (2017) ont rapporté l'expression des gènes DML2 and RIN-MADS sont à l'origine de la transition du système 1 au système 2 tandis que Barry et al. (2000) ont indiqué le gène LEACS4 comme responsable de la transition. En outre, la sensibilité des fruits à l'éthylène varie avec le stade de développement, le niveau de maturité, la variété et les conditions d'entreposage après récolte (Kubo et al., 2000; Tano, 1997). De plus, les facteurs de stress tels que la perte d'eau, les dommages physiques, les attaques de pathogènes, stimulent la production de l'éthylène ce qui accélère la maturation (Kader, 1986). L'éthylène agit également sur la synthèse de certaines enzymes essentielles de changement de la couleur et de la fermeté (Rodrigo et al., 2013).

I.6 Facteurs d'altération de la qualité de la mangue

I.6.1 Notion de qualité

La qualité d'un fruit est une notion qui varie tout au long de la chaîne de valeur c'est-à-dire du producteur au consommateur en passant par le distributeur. Le producteur définira la qualité en termes de productivité ou rendement, calibre, précocité et résistance aux maladies et intempéries de la nature. Alors que le distributeur sera sensible à l'homogénéité, à la conservabilité et à l'aspect compétitif du fruit. Cette dernière qualité est appelée « qualité fonctionnelle ». Quant au consommateur, la qualité se définit par les propriétés organoleptiques (apparence, fermeté et saveur) et nutritionnelles du produit. Cette définition retient plus l'attention des chercheurs et des professionnels de la filière car le consommateur « roi de la chaîne » y est davantage sensible, même si le prix reste un critère important dans leur choix (Jaeger et al., 2011). La préférence des consommateurs étant subjective et évolutive dans le temps et dans l'espace, alors il n'existe pas de référentiel de qualité qui soit universel (Schreiner et al., 2013). Ainsi la qualité de la mangue pour le consommateur peut se résumer à quatre (04) caractéristiques que sont l'apparence, la saveur, la fermeté et conservabilité, et quelques fois la valeur nutritionnelle.

Quel que soit la définition considérée, la qualité de la mangue fait l'objet d'altération pendant la production, la récolte, la manipulation et distribution. Ces altérations de qualité peuvent induire d'énormes pertes impactant l'économie de la culture. En Côte d'Ivoire, les pertes après récolte sont estimées entre 30 et 60 % de la production annuelle. Dans cette étude, nous nous intéressons aux facteurs influencent la qualité fonctionnelle (qualité du distributeur) et la qualité du consommateur.

I.6.2 Modifications biochimiques

Au cours du mûrissement de la mangue, l'on observe des changements (couleur, saveur, odeur, texture, etc.) dus à plusieurs réactions enzymatiques. Elles sont aussi bien cataboliques (glycolyse, décarboxylation, perte de chlorophylle, etc.) qu'anaboliques (synthèse des caroténoïdes, formation de composés phénylpropanoïdes, etc.) (Zuo *et al.*, 2019). Les modifications biochimiques sont à la fois positives (amélioration de la qualité) et négatives (responsable de la senescence).

I.6.3 Désordres physiologiques

Les désordres physiologiques de la mangue surviennent lors de l'exposition du fruit à des conditions environnementales post ou pré-récolte indésirables (très basse température, exposition au soleil, etc.). Ils peuvent résulter d'un déséquilibre minéral au cours de la croissance (Wills *et al.*, 2007). Par exemple, le brunissement, symptôme de la maladie du froid (Chilling injury) peut survenir pendant le stockage à 5 °C dû à un impact négatif du froid sur le fonctionnement du malondialdéhyde (Shivashankar *et al.*, 2022).

I.6.4 Chocs mécaniques

Les dommages mécaniques (chocs de surface, vibration, etc.) sont responsables des défauts les plus sévères et communs des fruits et légumes (Erdoğan *et al.*, 2003). Ce phénomène intervient le plus souvent pendant la récolte, la manipulation et le transport. Le brunissement du tissu endommagé, la perte d'eau, les infections microbiennes et parasitaires, la respiration, la production d'éthylène et de CO₂ sont accélérés par les dommages mécaniques de la mangue fraîche (Kader, 2002; Kays et Paull, 2004; Wills *et al.*, 2007).

I.6.5 Maladies et infections post-récoltes de la mangue

La mangue est sujette de plus de 83 maladies à travers le monde, causées par 52 champignons, 3 bactéries et 3 nématodes (Khaskheli, 2020).

I.6.5.1 Maladies de la mangue

L'antracnose, la pourriture pédonculaire (Stem-end rot), la pourriture des moisissures noires (black mould rot), les taches noires (black spot) et surtout la maladie de la mouche des fruits sont les maladies post-récoltes les plus connues de la mangue.

L'antracnose est la maladie fongique du manguier la plus répandue du fait de sa capacité à se manifester aussi bien dans le champ qu'après la récolte (Akem, 2006; Corkidi *et al.*, 2006). Elle affecte toutes les variétés de mangue produites dans le monde. Cette maladie constitue ainsi la principale responsable des pertes post-récolte des mangues et engendre d'énormes pertes économiques. Elle se manifeste par la présence de taches noires sur les feuilles, la tige, les racines, les inflorescences, le fruit. Elle est causée par une variété de pathogènes du genre *Colletotrichum* dont le plus fréquent est *Colletotrichum gloeosporioides*.

La pourriture pédonculaire (Stem-End Rot) est l'une des maladies post-récoltes les plus graves qui affectent les mangues. Elle est causée par certains pathogènes fongiques tels que *Dothiorella dominicana*, *Lasiodiplodia theobromae* (syn. *Botryodiplodia theobromae*) *Dothiorella mangiferae* (Bally, 2006), *Phomopsis mangiferae* et *Pestalotiopsis mangiferae* (Cissé, 2012). Cette maladie peut être favorisée par la technique de récolte. En effet, lorsque la mangue est cueillie sans attache pédonculaire, elle devient très exposée aux champignons et donc plus vulnérable. Selon Diedhiou *et al.* (2007), les symptômes de cette maladie varient en fonction du champignon causal.

La pourriture des moisissures noires (black mould rot) est causée par *Aspergillus niger* tandis que les taches noires sur la mangue dans les pays arides sont causées par *Alternaria alternata* (Prusky, 1993). Toutefois, le latex du pédoncule du fruit peut également provoquer ces taches, s'il entre en contact avec le fruit au moment de la récolte.

A ces trois grandes pathologies fongiques de la mangue s'ajoutent les infections bactériennes telles que la pourriture molle et la maladie de la tache noire causées respectivement par *Erwinia carotovora* et *Xanthomonas campestris pv mangiferaeindica*. Cette dernière cause 10-70 % de chute des fruits ; 10-85 % des pertes de rendements et 5–100 % des pertes post récoltes (Yah, 2015).

I.6.5.2 Insectes ravageurs de la mangue

La mangue est l'hôte de plusieurs insectes tels que les cochenilles notamment la cochenille farineuse du manguier (*Rastrococcus invadens* Williams) (Otoïdobia et Atouga, 2009) ; le charançon du noyau en l'occurrence *Sternonchetus mangiferae* Fabricius dont les larves se développent dans le noyau de la mangue (De Roffignac *et al.*, 2007). Mais les plus

importants sont surtout les Diptères de la famille des Tephritidae (mouche des fruits) qui sont inféodés aux mangues et agrumes (Umeh *et al.*, 2004; Vayssières *et al.*, 2010). Les femelles gravides de ces mouches piquent les fruits pour y déposer non seulement leurs œufs mais aussi des bactéries qui accélèrent la dégradation de la pulpe. Après éclosion des œufs, le développement larvaire de ces Tephritidae entraîne la chute précoce des fruits, la baisse sensible du rendement, de la qualité et l'apparition des pathogènes (Tinkeu *et al.*, 2010). En Côte d'Ivoire, 23 espèces de Diptères Tephritidae appelés mouches des fruits ont été inventoriées. Les deux espèces les plus nuisibles sont *Ceratitis cosyra* et surtout *Bactrocera dorsalis*. La mouche *Bactrocera dorsalis* est capable d'introduire ses larves dans la chair de la mangue depuis l'arbre sans expression visuelle de défauts sur la mangue. Au cours du mûrissement, ces larves (asticots) causent les dégâts en se nourrissant de la chair du fruit à l'abri des traitements, rendant difficile le contrôle de l'insecte (Tinkeu *et al.*, 2010). Pour les mettre en évidence, il faudra réaliser une coupe superficielle de la partie touchée du fruit.

I.7 Facteurs influençant la conservation de la mangue et les moyens de contrôle

Les facteurs influençant la conservation de la mangue sont nombreux et peuvent d'ordre externe (environnemental ou cultural) ou interne (physiologie de la mangue). La conservation de la mangue peut être également influencée par les maladies et infections (Insectes, champignons, bactéries).

I.7.1 Facteurs externes

I.7.1.1 Facteurs environnementaux

Les facteurs environnementaux comprennent la température, l'humidité relative et la composition en gaz de l'environnement de stockage.

I.7.1.1.1 Température

La température est le facteur environnemental qui influe le plus la conservation de la mangue. Elle a un impact majeur car elle permet de contrôler toutes réactions physiologiques, physicochimiques et le développement microbien dans le fruit (Nunes, 2008; Tano *et al.*, 2007). La température renforce également la capacité de toutes autres méthodes de gestion post récolte pour prolonger la durée de conservation. Le contrôle de la température est la méthode de conservation par excellence pour prolonger la durée de vie de la mangue et réduire les pertes post-récoltes. Ainsi, elle est la méthode la plus couramment utilisée pour ralentir le métabolisme post-récolte. La réfrigération permet ainsi de ralentir la respiration, la production et action de l'éthylène, l'activité des microorganismes et des insectes (Sudhakar Rao et Gopalakrishna

Rao, 2008; Nunes, 2008; Tano et al., 2007). Cependant, le choix d'une basse température est aussi important que son effet sur le fruit car il peut se produire des désordres physiologiques tel que « Chilling Injury ou maladie du froid » à des températures très basses. Ainsi, la mangue doit être conservée à des températures comprises entre ~10 et 16 °C selon le cultivar, les conditions de croissance et la maturité à la récolte (**Emongor, 2015**). Par ailleurs, d'autres auteurs comme **Singh et al. (2013) ; Watanawan et al. (2014)** recommandent une température de stockage comprise entre 5-15 °C pendant 2-3 semaines selon la variété et le stade de maturité. Les dommages causés par le froid incluent le ramollissement prématuré, le développement irrégulier de la couleur, le mûrissement irrégulier de la mangue, les tâches en surface, la vulnérabilité aux attaques microbiennes (**Luengwilai et al., 2012; Singh et al., 2013**). Des auteurs ont montré qu'un bon pré-refroidissement des fruits et légumes réduit significativement la perte de qualité (texture, couleur, nutriments, arôme et flaveur) et prolonge la durée de vie (**Laurin et al., 2003**).

I.7.1.1.2 Humidité relative

L'humidité relative est la teneur en eau de l'atmosphère ambiante. Elle joue un rôle primordial dans le maintien de la fraîcheur de la mangue après la récolte. En effet, la mangue est très riche en eau, ainsi sa conservation sous une forte humidité relative permet de contrôler la cinétique à laquelle elle perd sa masse et défraîchit (perte d'apparence primitive). Cependant, une atmosphère saturée en eau est aussi à éviter car elle pourrait entraîner une condensation d'eau à la surface du fruit et favoriser le développement fongique (**Arah et al., 2016; Tano et al., 2007**). La valeur optimale d'humidité relative de stockage pour la mangue cv Kent est comprise entre 90–95 % (**Emongor, 2015**).

I.7.1.1.3 Composition en gaz de l'atmosphère de stockage

La composition en gaz de l'atmosphère tels que l'oxygène, le dioxyde de carbone, l'éthylène, influence la croissance microbienne et les processus physiologiques. Une atmosphère pauvre en oxygène avec un taux de dioxyde de carbone élevé réduit le processus de mûrissement de la mangue. Cependant la réduction de l'oxygène en dessous du seuil critique peut entraîner une respiration anaérobie et la production d'éthanol, d'acétaldéhyde et d'autres composés volatils responsables de mauvaises odeurs (**Brecht et al., 2003**). En outre, une concentration de CO₂ au-dessus du seuil de tolérance peut engendrer des effets indésirables sur le fruit tels que le brunissement interne et externe, la désintégration de la membrane cellulaire ou s'avérer toxique pour l'Homme. Par ailleurs, les effets bénéfiques de la modification de l'atmosphère dépendent

de l'âge physiologique, de la variété, de la température et la durée de stockage (**Getinet et al., 2008**). L'atmosphère optimale pour la conservation des variétés de mangue Floridiennes est de 3-5 % O₂ et 5-10 % CO₂ (**Bender et al., 2000; Rosman et al., 2019; Slaughter, 2009**).

Cette méthode est utilisée dans le but de maîtriser principalement la respiration de la mangue. Elle permet également de réduire la prévalence microbienne. Il existe deux façons de contrôler la composition en gaz de l'atmosphère et créer l'atmosphère optimale de conservation de la mangue. Il s'agit de l'atmosphère contrôlée (AC) et l'atmosphère modifiée (AM).

a. Atmosphère contrôlée

La technique de conservation sous atmosphère contrôlée consiste à maintenir dans une enceinte close contenant le produit, un niveau de CO₂ et de O₂ constant et égal à l'optimal par un système mécanique, électronique ou par l'utilisation d'un système d'absorption de CO₂ (**Tano, 1997**). Elle est définie comme toute atmosphère différente de l'atmosphère normale et strictement contrôlée à tout moment (**Yahia, 2009**). Dans le stockage sous atmosphère contrôlée, l'atmosphère est modifiée et sa composition est précisément contrôlée selon les caractéristiques spécifiques du produit pendant la période du stockage. L'atmosphère optimum de conservation de la mangue est de 3 % O₂ + 10 % CO₂ + 87 % N₂ pour la variété "Tommy Atkins" (**Kim et al., 2007**) ; de 3 % O₂ et 6 % CO₂ pour la variété "Alphonso" (**Hameed Ullah et al., 2010**) ; de 3% O₂ + 6 % CO₂+ 91 % N₂ à 13 °C pour la variété "Keitt" (**Elhefny et al., 2012**) et de 5% O₂ et 10% CO₂ à 12-13 °C pour la variété "Kent" (**Lizana et Ochagavia, 1997**). L'atmosphère contrôlée est avantageuse pour la conservation de grands volumes ou pour des produits de longue durée de conservation comme les pommes. Cependant, en atmosphère contrôlée, il n'est pas possible de mélanger plusieurs produits (variété, autres fruits) dans une même enceinte car chaque produit possède son atmosphère optimale et sa température d'entreposage (**Tano, 1997**). Les principaux inconvénients du stockage sous atmosphère contrôlée sont les coûts d'installation et d'entretien des enceintes de stockages (généralement des chambres froides) ainsi que les coûts de production et du maintien d'une atmosphère gazeuse spécifique. Par conséquent, pour le stockage d'un faible volume de mangue et/ou destiné à un usage à court terme, il faut se tourner vers d'autres alternatives comme l'emballage sous atmosphère modifiée (AM).

b. Atmosphère modifiée

L'atmosphère modifiée correspond à toute atmosphère différente de l'atmosphère normale (20 % – 21 % O₂, 0.03 % CO₂, 78 %–79 % N₂ et d'autres gaz sous forme de traces) (Yahia, 2009). Cette atmosphère modifiée doit être maintenue à l'atmosphère optimale de chaque variété de la mangue. Le principe des emballages sous atmosphère modifiée est basé sur la modification de l'atmosphère interne de l'emballage et l'interaction naturelle entre la respiration du fruit et la perméabilité de l'emballage (Mahajan *et al.*, 2007; Mangaraj *et al.*, 2009). La composition de l'atmosphère, initialement modifiée, change continuellement et dépendamment du taux de respiration du fruit ou de la perméabilité de l'emballage entourant le fruit (Jayas et Jeyamkondan, 2002). L'emballage des fruits avec des films plastiques offre la possibilité de non seulement réduire la respiration, la production de l'éthylène de la mangue, mais aussi de réduire les pertes d'eau, les infections et de le protéger contre les blessures mécaniques (Kader *et al.*, 1989). En atmosphère modifiée, il est possible de mélanger plusieurs produits dans une même enceinte d'entreposage tout en respectant les exigences en CO₂ et en O₂ de chaque produit ou variété. L'atmosphère modifiée peut se créer par voie active ou voie passive (McMillin, 2008).

I.7.1.3 Pratiques culturelles

Il existe plusieurs pratiques culturelles de la mangue qui influencent la qualité et la conservabilité post récolte du fruit. Il agit de la fertilisation, l'élagage de l'arbre, ensachage pré-récolte des fruits, les traitements phytosanitaires pré-récolte, la disponibilité de l'eau, la zone géographique de production, Pour cette synthèse nous détaillerons que trois pratiques.

I.7.1.3.1 Elagage ou aménagement de la canopée du manguier

La densité d'une plantation de manguiers augmente avec le développement des frondaisons et l'âge du verger. Cette augmentation de la densité diminue progressivement la productivité à partir de 14–15 ans du verger. Ainsi, l'aménagement de la canopée par la technique de l'élagage s'avère nécessaire. Selon Asrey *et al.* (2013), cette technique augmente le poids, la fermeté, le taux de caroténoïdes totaux et de composés phénoliques ainsi que la capacité antioxydante de la mangue. Ces mêmes auteurs ont montré que l'élagage entraîne une maturation plus lente à travers une respiration lente et un faible taux d'évolution de l'éthylène et d'activité enzymatique après la récolte. Par conséquent, l'élagage favorise une prolongation de la durée de conservation de la mangue. De plus, d'autres auteurs ont démontré que l'élagage réduit l'incidence de l'anthracnose et la pourriture pédonculaire sur la mangue après la récolte (Gu *et al.*, 2005). Ceci

est lié à l'augmentation des concentrations de composés secondaires antifongiques due à la pénétration du soleil dans la canopée. L'aménagement de la canopée réduit aussi le feuillage, favorise l'aération du manguier et par conséquent diminue la présence des microorganismes sur l'arbre. Ce qui réduit les maladies post-récolte puisque la contamination du fruit survient dans le champ par la pluie ou le vent mais les pathogènes restent quiescents jusqu'au murissement du fruit.

I.7.1.3.2 Apport de fertilisants au sol

Les fertilisants sont principalement utilisés dans l'agriculture pour augmenter le rendement de production. Certains fertilisants tels que trisulfure de phosphate, sulfate de zinc, le monophosphate permettent de produire des fruits de qualité (Sarker et Rahim, 2012). Cependant, des fertilisants inorganiques peuvent avoir un impact indésirable sur la qualité et la durée de conservation de la mangue. En effet, un apport excessif d'azote à plus de 300 g par plante augmente la sévérité de l'antracnose post-récolte de la mangue (Bally *et al.*, 2009).

I.7.1.3.3 Ensachage pré-récolte des fruits

L'emballage pré-récolte de la mangue est une technique culturale qui a principalement pour but de protéger le fruit contre les insectes (mouche). Cependant, elle influence la qualité post récolte du fruit pendant la conservation. En effet, à travers la création du micro-environnement, l'ensachage avant la récolte favorise une coloration verte et uniforme de la peau (Hofman *et al.*, 1997). Selon ces mêmes auteurs, pendant la conservation, la perte de coloration verte persiste et la pulpe se décompose rapidement. Aussi, cette persistance de la coloration entraîne des fruits mûrs et verts pouvant occasionner une réticence du consommateur qui caractérise une mangue mûre par sa couleur jaune orangé. L'ensachage augmente la transpiration du fruit (évaporation d'eau) pendant le stockage réduisant ainsi la durée de conservation (Joyce *et al.*, 1997). Par ailleurs, l'ensachage permet de réduire l'incidence de l'antracnose pendant la conservation. en fait, l'ensachage permet d'éviter ou réduire le contact entre le fruit et les propagules du pathogène pendant le développement du fruit.

I.7.1.2 Techniques de récolte

Pour une meilleure conservation, la récolte manuelle de la mangue doit être privilégiée car elle cause moins de dommages mécaniques. En outre, les outils de cueillette doivent être propres et appropriés pour éviter les blessures et la contamination par les agents pathogènes. Ainsi, l'utilisation de récipients de récolte et d'emballage à bords tranchants est déconseillée pour éviter les ecchymoses et les perforations des fruits (Arah *et al.*, 2016). L'écoulement du latex

sur la mangue à la suite de la coupure du pédoncule ou blessure du fruit non mûr, peut engendrer des brûlures (tâches noires) sur sa peau dégradant ainsi son apparence (**Brecht et al., 2020**). Il est donc important de laisser 2-3 cm de la tige (pédicelle) attachés au fruit au moment de la section pour détourner le flux de latex sur celui-ci. Aussi, **Brecht et Yahia (2017)** recommandent que la récolte soit effectuée aux heures plus froides de la journée pour éviter l'accumulation de chaleur dans le fruit. En effet, une importante de chaleur dans le fruit favorise la respiration post-récolte, les réactions enzymatiques. De même, elle entraîne un temps et coût supplémentaires au pré-refroidissement. Par conséquent, le temps de récolte est donc très capital pour contrôler non seulement le flux d'écoulement du latex mais aussi la vitesse de certaines réactions physiologiques du fruit après la récolte. La sensibilité de la mangue à l'effet du latex dépend de plusieurs facteurs tels que la variété, le stade de maturité à la récolte, le temps de récolte, la zone de production, la saison, l'âge de l'arbre (**Yahia, 2011**).

I.7.2 Facteurs internes

I.7.2.1 Cultivar

Chaque cultivar possède ses propres caractéristiques prédéfinies qui affectent la gestion post-récolte (**Getinet et al., 2008; Marrero et Kader, 2006**). En effet, la composition chimique d'un cultivar peut influencer sa capacité de résistance aux bioagresseurs (bactéries, insectes, champignons) contribuant ainsi sa conservabilité. Par exemple, la variété " Kensington pride " est très résistante à l'antracnose compte tenu de sa concentration importante de 5-n-pentadecyl resorcinol, de composés phénoliques et son pouvoir antioxydant (Supriya et al., 2020) . D'après les travaux de Paez (1996) dans **Arauz, (2000)**, les variétés Kent, Irwin sont plus sensibles à l'antracnose que Tommy Atkins and Keitt. En outre, les cultivars de mangues monoembryonnées sont généralement plus sensibles au dépérissement du manguier (causé par *Botryosphaeria ribis*) que les mangues polyembryonnées (**Ramos et al., 1997**).

I.7.2.2 Stade de maturité physiologique à la récolte

Le stade de maturité de la mangue à sa récolte est un facteur clé de sa qualité et sa gestion post-récolte. En effet, le stade de maturité auquel la mangue doit être récoltée est très crucial pour sa conservation, sa qualité marchande et nutritionnelle. Une mangue récoltée avant sa maturité physiologique subit un mûrissement inégal et une mauvaise qualité (goût acidulé, sans saveur, texture dure) (**Herremans et al., 2014**). A l'inverse, une mangue récoltée trop tard atteint très tôt la senescence et donc a une durée de vie très courte (**Doerflinger et al., 2015**). Néanmoins, un tel fruit est très juteux et présente une excellente saveur. Par ailleurs, il existe plusieurs

méthodes de détermination de stade de récolte (méthode visuelle, méthode chimique, méthode physique, méthode physiologique) mais la plus largement utilisée est la méthode visuelle. Cette dernière est basée sur la couleur de la pulpe, l'aspect et la forme de la peau, le niveau des épaules par rapport à la base. Selon **Joas et Lechaudel (2008)**, au cours de la croissance de la mangue sur l'arbre, le début de la maturation est marqué par une coloration jaune orangé au niveau de l'apex que l'on appelle le stade du « point jaune ». Malgré ces méthodes, il est toujours difficile de prédire le stade idoine de récolte de la mangue. En effet, le distributeur préfère un produit qui lui donne la possibilité de planifier sa vente, ce qui nécessite une récolte précoce mais conduit à des mangues mures de moindre qualité. Alors que le consommateur (maître de la chaîne de valeur) veut que le produit, qu'il achète, soit de meilleures qualités nutritionnelles, sanitaires et sensorielles. Et cette qualité est garantie par une récolte tardive qui entraîne une durée de vie courte. Par conséquent, le producteur gagnerait à récolter sa mangue à un stade approprié à défaut tardif.

I.7.2.3 Membrane cellulaire

La membrane cellulaire joue un rôle très essentiel dans le maintien de la fermeté de la mangue et sa résistance aux maladies. Elle régule aussi les échanges du fruit et son environnement contrôlant ainsi certains processus physiologiques du fruit (respiration, transpiration). Elle est donc quasiment indispensable dans la conservation de la mangue à l'état frais. Elle est principalement constituée de polysaccharides qui déterminent sa forme. Au cours du mûrissement, les polysaccharides de la paroi cellulaire sont dégradés par des enzymes hydrolytiques telle que la pectate lyase, la pectine estérase, β -galactosidase, la polygalacturonase et la cellulase. Ce qui conduit à une dislocation et une perte de fonctionnalité de la membrane cellulaire (**Vasquez-Caicedo et al., 2006**). Ainsi, l'état de la membrane, son épaisseur (fonction de la variété) peut influencer la conservation du fruit.

I.7.2.4 Ethylène

L'éthylène est une hormone végétale très essentielle dans la maturation de la mangue. Sa production par la mangue évolue avec la maturation jusqu'à atteindre un pic déclenchant le processus irréversible du mûrissement puis la senescence. La mangue produit de l'éthylène et est sensible à son action. Il existe plusieurs méthodes de contrôle de l'éthylène telles que le 1-méthylcyclopropane (1-MCP), le permanganate de potassium (KMnO_4); l'ozone (O_3); l'hexanal (**Preethi et al., 2018; Yumbya et al., 2018; Zhang et al., 2017**).

I.7.2.4.1 Ozone et permanganate de potassium

L'ozone peut être utilisé pour éliminer l'éthylène de l'atmosphère. Cependant, son utilisation est limitée par le risque de nocivité pour l'Homme (**Kader, 2002**). Quant au permanganate de potassium, il réduit également l'éthylène par oxydation (**Ozdemir et Floros, 2004**). Cependant, tout comme l'ozone, le permanganate de potassium ne peut pas être appliqué directement sur les fruits (**Aprilliani et al., 2018**). Il faut donc utiliser un matériel de fixation du permanganate de potassium comme la zéolite (**Syamsu et al., 2016**), les perles d'alumine (**Wills et Warton, 2004**), le charbon actif (**Cao et al., 2015**), l'argile (**Aprilliani et al., 2018**). L'utilisation du permanganate de potassium est limitée par sa faible capacité d'absorption d'éthylène.

I.7.2.4.2 1-méthylcyclopropane (1-MCP)

Cette molécule est utilisée pour l'inhiber l'action de l'éthylène sur le fruit. Le 1-méthylcyclopropène est un alcène capable de se fixer sur les récepteurs de l'éthylène et bloquer ainsi son action (**Watkins, 2006**). C'est un composé qui a plusieurs avantages dans le contrôle du mûrissement et de la senescence des fruits climactériques prolongeant leur durée de vie. Le 1-méthylcyclopropène inhibe l'action de l'éthylène, la respiration et maintient la fermeté pendant le stockage (**Itai et al., 2000**). Plusieurs études ont démontré l'efficacité du 1-MCP à différentes concentrations (0,1 -2 $\mu\text{L.L}^{-1}$) sur la conservation de la mangue (**Ngamchuachit et al., 2014; Razzaq et al., 2016; Santos et al., 2004; Silva et al., 2004; Wang et al., 2009**). Son activité sur le murissement de la mangue est influencée par plusieurs paramètres tels que le stade de récolte du fruit, la variété, la concentration. En outre, le 1-méthylcyclopropène réduit la prévalence de l'antracnose par l'inhibition de la germination et la croissance de *Colletotrichum gloeosporioides* (**Xu et al., 2017**).

I.7.2.4.3 Hexanal

L'hexanal est utilisé pour prolonger la durée de vie et éventuellement améliorer la qualité sensorielle et nutritionnelle de certains fruits tropicaux tel que la tomate (**Sharma et al., 2010**), la mangue (**Preethi et al., 2018**), la banane (**Yumbya et al., 2018**). L'hexanal commercialisé est reconnu comme additif alimentaire sûr tel qu'indiqué par l'administration Américaine des aliments et médicaments (**Thavong et al., 2011**).

On décrira ici plus largement ce produit de conservation qui fait l'objet d'étude dans le cadre de cette thèse

a. Structure molécule de l'hexanal

L'hexanal ou encore hexa-aldéhyde est un composé organique de la famille des aldéhydes et de formule brute $C_6H_{12}O$. Le poids moléculaire de l'hexanal est de $100,158 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$. Le point de fusion de l'hexanal est de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ alors le point d'ébullition est de $130\text{-}131 \text{ }^\circ\text{C}$ (Ashitha *et al.*, 2020). La **Error! Reference source not found.** ci-dessous présente la structure moléculaire de l'hexanal.

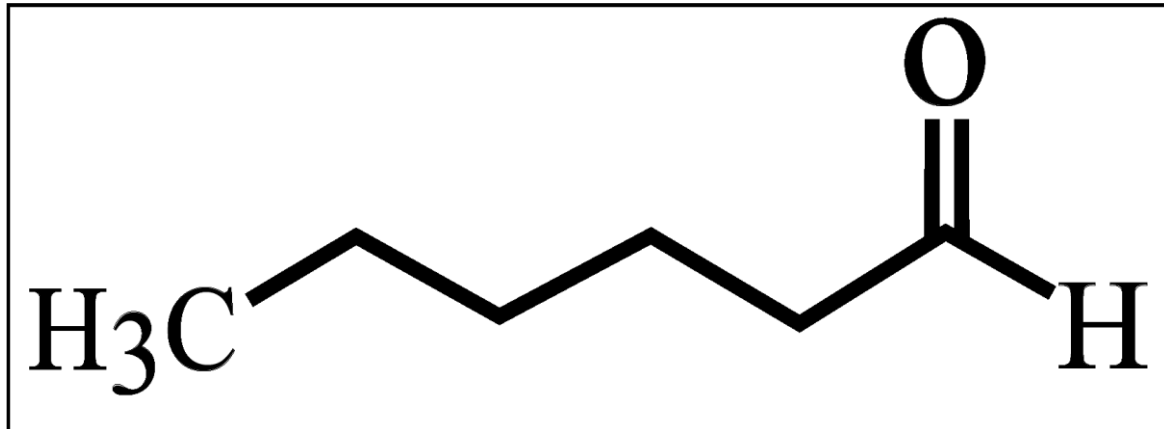


Figure 4: Structure moléculaire de l'hexanal

b. Biosynthèse de l'hexanal

L'hexanal est un composé naturel produit par la voie de lipoxygénase et dégagé de la plante à travers les blessures tissulaires. En effet, à travers ces blessures, une suite de réactions enzymatiques qui catalyse la transformation des acides gras polyinsaturés C18 tels que l'acide linoléique et l'acide linoléique en C6-aldéhyde et C12-oxo-acide (Paliyath et Padmanabhan, 2018). Ces deux acides gras sont reconnus comme les précurseurs biologiques dans le système biologique. L'hexanal peut être obtenu à partir des feuilles du tabac (Hong *et al.*, 2004), des fruits de fraiser (Myung *et al.*, 2006) ; des feuilles du fraiser (Gargouri *et al.*, 2008); les feuilles de menthe (Gargouri *et al.*, 2004). La concentration d'hexanal dans ces plantes est extrêmement faible (sous forme de traces) pour influencer physiologiquement la maturation de leur fruit. Plusieurs facteurs influencent l'extraction de l'hexanal tels que la température, le pH, le substrat (espèce de plante) et la source enzymatique. Par ailleurs, l'hexanal peut être chimiquement synthétisé (Šalić *et al.*, 2011). En outre, c'est un composé volatil caractérisé par une odeur grasse, fruitée, fraîche de l'herbe coupée dite "note verte" (Gargouri *et al.*, 2008).

c. Mode d'action de l'hexanal

Au cours de leur stockage, les fruits et légumes se dégradent sous l'effet d'une large gamme de réactions enzymatiques. Parmi ces réactions, l'une des plus importantes est l'hydrolyse des phospholipides membranaires tels que la phosphatidylcholine, la phosphatidyléthanolamine, le

phosphatidylinositol et le phosphatidylglycérol, catalysée par la phospholipase D (PLD) dégradant ainsi la membrane plasmique (**Gunasekaran et al., 2015**). En effet, la dégradation de la membrane cellulaire conduit à la perte d'intégrité du fruit et affaiblit sa résistance naturelle aux pathogènes et dommages mécaniques. Plusieurs auteurs ont indiqué que cette réaction catalysée par la phospholipase D est la première d'une série de réactions enzymatiques qui conduisent à au mûrissement puis à la sénescence du fruit (**Ashitha et al., 2020; Pak Dek et al., 2018; Paliyath et al., 2003**). Ainsi, il est largement illustré que le mode d'action de l'hexanal se situe principalement au niveau de l'activité de la PLD (**El Kayal et al., 2017; Pak Dek et al., 2018; Paliyath et al., 2003; Sriskantharajah et al., 2021**). En effet, l'inhibition de la PLD par l'hexanal entraîne une baisse de la production de l'acide phosphatidique (PA), ce qui peut affecter la transduction du signal de l'éthylène et indirectement les modèles d'expression des gènes liés à la maturation et à la sénescence (**Padmanabhan and Paliyath, 2020**). Aussi, **Yumbya et al. (2018)** ont trouvé que l'hexanal inhibe l'expression de la 1-Aminocyclopropane-1-Carboxylate Oxidase (ACO) et de la 1-Aminocyclopropane-1-Carboxylate Synthase (ACS), deux enzymes clés dans la biosynthèse de l'éthylène. Toutefois, ces auteurs n'expliquent pas le mécanisme d'inhibition de ces enzymes. Par ailleurs, L'expression du gène codant pour la PLD est induit par l'éthylène (**Paliyath et Murr, 2008**). Par conséquent, l'hexanal inhibe la production et l'activité de la phospholipase D (PLD). De plus, il réduit l'expression des gènes de certaines enzymes tel que les endo-xyloglucanes transférases (EXT), la Pectate Lyase (PL) et la Polygalacturonase (PG) (**Yumbya et al., 2018**).

d. Effet d'utilisation de l'hexanal

L'hexanal est appliqué sous forme de formulation aqueuse à des concentrations variables selon les auteurs et la culture fruitière. Il est exclusivement appliqué aux fruits et légumes climactériques. L'hexanal peut être appliqué en pré-récolte et/ou post récolte par vaporisation, trempage ou immersion et pulvérisation. Le **Tableau 3** présente l'application de l'hexanal sur quelques fruits et légumes pour prolonger leur durée de stockage.

Tableau 3: Différentes formes d'application de la formulation à base d'hexanal

Fruits ou légumes	Application pré-récolte	Application post-récolte	Résultats saillants	Auteurs
Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	Pulvérisation (0,01%), 3 fois et 6 fois en 3 semaines	Trempage (0,02%) pendant 2,5 min	Réduction de la perte de la couleur verte ; amélioration de la fermeté et de l'acide ascorbique	Cheema et al., 2014
Mango (<i>Mangifera indica</i> L.) variétés Alphonso and Banganapalli	Pulvérisation (2%), 30 et 15 jours avant la récolte	Néant	La durée de rétention sur l'arbre est prolongée de 21-28 jours. Puis conserver pendant 28-42 jours à 14 °C. la fermeté, sucres solubles et l'acidité ont été améliorées.	Anusuya et al., 2016
Mango (<i>Mangifera indica</i> L.) variétés Alphonso and Banganapalli	Pulvérisation (2%), 30 et 15 jours avant récolte	Trempage (2%) pendant 2min puis stockage à 25 °C et 13 °C	L'application conjointe pré et post- récolte de l'hexanal augmente l'acide ascorbique et l'activité antioxydante de 11 % et 28 %. De plus, elle prolonge la durée de vie de 10 et 20 jours à température ambiante et réfrigérée, respectivement.	Preethi et al., 2018
Banane (<i>Musa acuminata</i>)	Pulvérisation (2 et 3%), 30 et 15 jours avant récolte	Trempage (2 % et 3%), pendant 2,5 min et 5 min	Rétention des fruits de 12-18 jours sur l'arbre. La durée de vie après récolte est prolongée de 6 et 9 jours pour mes temps de trempages de 2,5 min et 5 min, respectivement. La respiration, la production d'éthylène et la senescence ont été retardés.	Yumbya et al., 2018
Goyave (<i>Psidium guajava</i> L.)	Néant	Vaporisation (1000, 1200, 1400 and 1600µl.l ⁻¹) pendant 3h et 4,5h	L'hexanal (1400 and 1600 µl.l ⁻¹ pendant 3h et 4,5h) permet une meilleure rétention de la texture, la couleur, la perte de masse. Il permet une durée de stockage 6 jours à température ambiante et 20 jours à en chambre froide.	Ashitha et al., 2019
Pomme (<i>Malus domestica</i> Borkh.)	Pulvérisation (0,02%), 30 et 15 jours avant la récolte	Néant	L'hexanal améliore la fermeté, le taux de sucres solubles. Il réduit l'activité de la PLD, l'incidence des tâches amères et l'expression d gène MdPLDα1	Sriskantharajah et al., 2021

I.7.3 Maladies et infections

Plusieurs microorganismes ont été identifiés comme germes responsables des maladies et infections des plantes. La mangue est sujette aux attaques de plusieurs types de bioagresseurs (nématoïdes, champignons, bactéries, insectes) dont les principaux sont les diptères tephredae (mouche blanche) et les champignons notamment *Colletotrichum gloeosporioides*. La plupart de ces organismes infectent la mangue avant la récolte et la maladie se développe pendant la maturation donc après la récolte. Pour lutter contre ces agresseurs, l'on fait recours à plusieurs types de lutte notamment la lutte chimique, physique, génétique et biologique. Ces types de lutte peuvent être appliqués seul ou combiné.

I.7.3.1 Lutte chimique

La lutte chimique contre les pathogènes de la mangue est la plus répandue. Elle concerne l'utilisation des pesticides synthétiques. Il existe plusieurs pesticides utilisés pour lutter contre les pathogènes de la mangue. Ils sont très efficaces à court terme mais néfaste à long terme. En effet, leur utilisation continue ou répétée peut perturber l'équilibre des écosystèmes (sol, eau et air), provoquer le développement d'une résistance des agents pathogènes à un ou plusieurs produits chimiques et présenter une toxicité pour les organismes non ciblés (**Brown et Wright, 2016**). De même, le non-respect de la dose recommandée entraîne l'accumulation ou la bioconcentration de résidus dans la chaîne alimentaire au-delà des limites de sécurité (**Lee et al., 2008**). Cela présente un risque pour la santé humaine et animale et pour l'environnement (**Hossain et al., 2010**).

I.7.3.2 Lutte physique

La lutte physique comprend les traitements thermiques (eau chaude), le traitement à la lumière (UV-C), l'atmosphère modifiée/contrôlée, etc (**Bintsis et al., 2000; GonzaÁlez-Aguilar et al., 2001**). Le traitement à l'eau chaude se fait en immergeant les fruits ou légumes dans l'eau chaude avant le stockage afin de contrôler les maladies post récoltes. Ce traitement à l'eau chaude assure une bonne maîtrise de l'antracnose causée par *Colletotrichum gloeosporioides* et du brunissement causé par *Hendersonia creberrima* dans la mangue variété Kent lorsque l'immersion est faite à 40 °C pendant 5 minutes (**Jacobi et al., 2001**). Ce traitement est souvent utilisé chez la mangue contre l'attaque de la mouche du fruit. Le traitement de désinfection par les UV-C (190-280 nm) se fait par l'exposition du fruit pendant un certain temps afin de détruire ou l'inactiver les micro-organismes (**GonzaÁlez-Aguilar et al., 2001**). Aussi, la réduction de

la concentration de l'oxygène ou l'absence d'oxygène (100 % azote) peut contribuer à contrôler les pathogènes aérobiques.

I.7.3.3 Lutte biologique

La lutte biologique semblerait être une bonne alternative pour gérer les maladies post récoltes. En effet, le principe du contrôle biologique consiste à faire la balance entre une population de ravageurs (insectes, agents pathogènes...) et leurs prédateurs naturels ou antagonistes, jusqu'à atteindre l'élimination totale du germe pathogène ou ravageur (**Bellows, 2001**). Cependant, ces méthodes présente une faible efficacité surtout lorsqu'il s'agit d'un nombre élevé de ravageurs ou pathogènes à éliminer (**Droby et al., 2009**). Alors, les recherches se focalisent de plus en plus sur le développement de méthodes basées sur les extraits naturels de plantes médicinales qui sont considérées comme sûres pour l'environnement et le consommateur (**Hernández-Albíter et al., 2007**). Ainsi, les feuilles, les graines, les rhizomes, les tiges, les écorces de plusieurs espèces végétales telles que *Azadirachta indica* Juss, *Carica papaya* L., *Ocimum gratissimum* L, *Zingiber officinale*, ont montré de propriétés biologiques importantes pour lutter contre les maladies (Bussaman et al., 2012; Dubey et al., 2002). Ils sont désormais reconnus, comme une bonne alternative en technologies post-récolte pour la conservation des produits agricoles bruts et/ou transformés. En effet, ces espèces sont utilisées pour leurs propriétés antifongiques (**Mishra et al., 2020**), antibactériennes (**Pai et al., 2004**) et ovicide, acaricide, insecticide (**Sagoua et al., 2013**).

Focus sur *Ocimum gratissimum* L.

a. Présentation de *Ocimum gratissimum* L.

Le genre *Ocimum*, appartenant à la famille des Lamiaceae, regroupe plus de 160 espèces dont l'espèce *O. gratissimum* L. (Kalita and Khan, 2013). Il est considéré comme le genre d'herbe le plus populaire dans le monde comprenant aussi bien des espèces sauvages que domestiques ; pérennes et annuelles. Cependant, cinq espèces sont plus répandues dans le monde à savoir *Ocimum gratissimum*, *Ocimum basilicum*, *Ocimum americanum*, *Ocimum sanctum* et *Ocimum americanum*. L'espèce *Ocimum gratissimum* L. est communément appelé basilic africain ou basilic du clou de girofle (**Nweze et Eze, 2009**). Elle a été identifiée comme une plante herbacée culinaire dans plusieurs régions du monde. Cette espèce est largement distribuée dans les régions tropicales d'Asie et d'Afrique ainsi que dans certaines régions de l'Amérique du Sud et du centre (**Kpadonou Kpoviessi et al., 2014; Tanko et al., 2008; Venuprasad et al., 2014**). Il s'agit d'une plante très aromatique, répandue et commercialement viable. La plante est autant

distribuée grâce à sa capacité d'adaptation au déficit hydrique (Pandey, 2017a), aux carences minérales (K et Ca), à la luminosité (Omobolanle Ade-Ademilua *et al.*, 2013; Osuagwu *et al.*, 2010).

Ocimum gratissimum L. est une plante qui mesure environ 1-3 m de haut (Figure 5). La tige est érigée, très ramifiée, ronde-quadrangulaire, poilue et ligneuse à la base (Ugbogu *et al.*, 2021). La feuille est ovale lancéolée avec un sommet acuminé à aigu ; de base décurrente et dentée à crénelée sur les 2/3 supérieurs. Les feuilles sont opposées, minces et marginalisées, les verticilles assez rapprochés avec des pédicelles plus courts et des bractées plus longues que le calice (Kalita et Khan, 2013). La feuille possède 1000 à 1100 trichomes (poils) à huile essentielle par cm² (Rivière *et al.*, 2017).



Figure 5: Plante de *O. gratissimum* L.

b. Propriétés et Usages de la plante de *Ocimum gratissimum* L.

➤ Propriétés

La plante de *O. gratissimum* L., particulièrement l'huile essentielle, possède d'énormes propriétés. Il s'agit des propriétés antioxydantes (Adeola *et al.*, 2014; Kouassi *et al.*, 2018), antipaludique (Ileke et Adesina, 2019; Tchoumboungang *et al.*, 2005), antimicrobienne (Faria *et al.*, 2006; Kouamé *et al.*, 2015; Matasyoh *et al.*, 2007; Mohr *et al.*, 2017) ; insecticide (Benelli *et al.*, 2019; Jirovetz *et al.*, 2005), etc. La composition de l'huile essentielle de *O. gratissimum* L. dépend de plusieurs facteurs dont l'origine géographique, l'heure de la collecte des feuilles, la phase végétative de la plante (Kpadonou Kpoviessi *et al.*, 2014 ; Lemos *et al.*, 2005). En effet, le composé majeur de *O. gratissimum* L. est entre autres le cymène avant l'inflorescence et le thymol après l'inflorescence (Kpadonou Kpoviessi *et al.*, 2014). En revanche (Rizvi *et al.*, 2014) ont trouvés l'eugénol comme composé majeur (77,8 %) de l'huile

essentielle de *O. gratissimum* L. de l'Inde. Selon **Dubey et al. (2000)**, l'activité antifongique de *O. gratissimum* L. serait attribuée au thymol, ayant un large spectre d'activité sur plusieurs microorganismes (*T. rubrum*, *T. mentagrophytes*, *C. neoformans*, *C. albicans*, and *Malassezia pachydermatis*). Plusieurs études ont montré que l'huile essentielle de *O. gratissimum* L. présente une activité antifongique efficace contre plusieurs champignons pathogènes de l'humain tels que *Basidiobolus haptosporus*, *B. ranarum*, *Trichophyton rubrum*, *T. mentagrophyte*, *Candida albicans*, etc. (**Dubey et al., 2000; Obot et Aluyi, 2002**). Cette capacité antifongique est liée à sa concentration en ethyl cinnamate. *Ocimum gratissimum* L. peut avoir également une activité fongicide sur les champignons pathogènes des plantes. La composition de *O. gratissimum* L. notamment en monoterpènes et sesquiterpènes ayant des cycles aromatiques et groupes phénoliques lui confère la capacité à former des liaisons hydrogènes avec les sites actifs des enzymes cibles (**Mohr et al., 2017**). Selon **Stefan et al. (2013)**, le linalol est un composé majeur de *O. gratissimum* L. et serait impliqué dans son activité antifongique. En effet, le linalool, alcool tertiaire monoterpénique, peut causer la dénaturation protéique et la déshydratation des cellules végétatives des microorganismes (**Pandey et al., 2014**). Ainsi, vu les potentialités de *O. gratissimum* L., elle sera utilisée dans cette étude pour contrôler les maladies post-récoltes de la mangue

➤ Usages

L'utilisation de *Ocimum gratissimum* L., principalement les fleurs et les feuilles, est assez variée et diverse. Les domaines d'utilisation de cette plante sont fonction de la forme selon laquelle elle est utilisée. En effet, cette plante est utilisée sous deux principales formes tel que les extraits aqueux ou organiques et huile essentielle. L'huile essentielle est très souvent utilisée comme antimicrobien, antioxydant et insecticide (**Pandey, 2017b**). Les extraits sont principalement utilisés dans la médecine traditionnelle (thérapeutique), l'alimentation (condiment, aromatisant, conservateurs) et la cosmétique (**Pandey, 2017a**). Les utilisations de la *O. gratissimum* varient d'une région à autre. Ainsi, en Afrique, elle est utilisée pour lutter contre la diarrhée, le vomissement, les arrêts de grossesse, les troubles digestives, la dysenterie, la fièvre les maux de tête, les douleurs abdominales, le rhume et le paludisme, convulsion (**Alexander, 2016; Bariş et al., 2006; Effraim et al., 2003**). Au Brésil, elle est utilisée comme sédatif pour les enfants et dans le traitement de la toux, les bronchites, les maux de gorge et comme aromatisant dans l'alimentation (Freire et al., 2006; Vieira et al., 2001). En Asie, la plante est utilisée dans le traitement de la migraine, la grippe et comme anti-inflammatoire (**Pandey, 2017a; Prajapati et al., 2003**).

CHAPITRE II : METHODOLOGIQUE

II.1 Zone d'étude

Cette étude a été réalisée à Korhogo, quatrième ville de la Côte d'Ivoire en termes de population et d'économie. Située à 635 km de la capitale Abidjan, elle est le chef-lieu du district des savanes et de la région du Poro. Le département de Korhogo couvre une superficie de 12 500 km², soit 3,9 % du territoire national (**Figure 6**). Ce département constitue le bassin de production de mangue le plus important du pays. Ce qui justifie son choix pour cette étude.

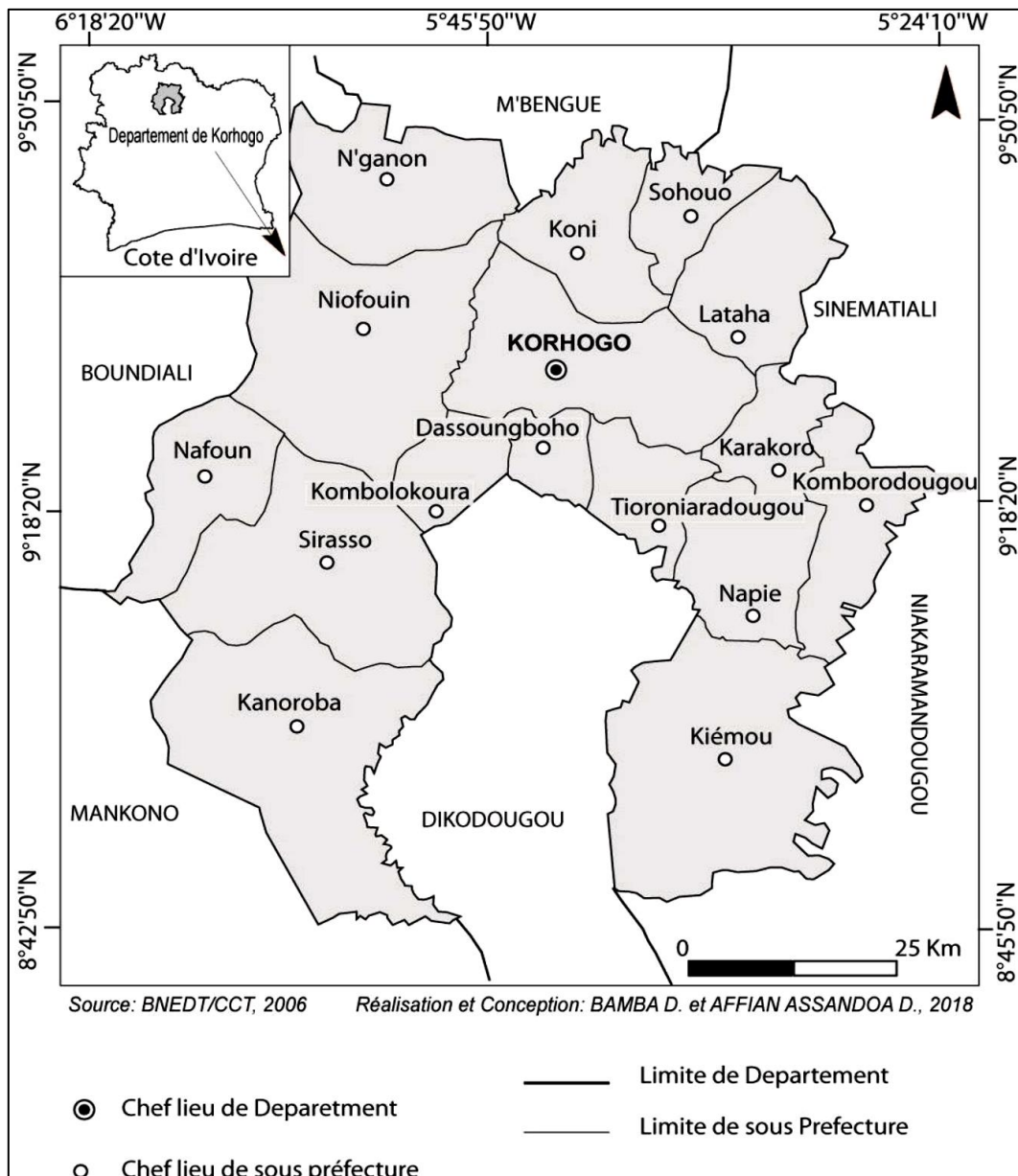


Figure 6: Zone d'étude (Affian, 2018)

Ensuite, des échantillons de mangue collectés dans cette localité ont été traités à l'hexanal ou à un fongicide ou encore la combinaison de ces deux types de produits comme présentés dans les chapitres suivants.

II.2 Influence de l'application de l'hexanal par trempage sur les pertes post-récoltes et la qualité de la mangue var « Kent » au cours du stockage à froid

II.2.1 Matériel

Le matériel végétal a été constitué de fruits de manguier de la variété "Kent" récoltée dans une plantation villageoise de type commercial (9°27'34,8"N ; 5°34'50.06"W) dans le village de Koulokakaha situé dans le département de Korhogo (à environ 1,5 km de Korhogo) dans la région du Poro au nord de la Côte d'Ivoire.

II.2.2 Stade de maturité à la récolte

Le stade de maturité est identifié selon le **guide d'export de mangues (Iflex Sénégal)**. Les critères de choix ont été visuels et physiques à savoir l'enfoncement du pédoncule ou le sur-élévation des épaules, la forme et état du fruit (dodu et lisse), la couleur de la pulpe (léger jaunissement de la pulpe soit jaune clair). La couleur de la chair a été vérifiée sur un échantillon de 15 fruits.

II.2.3 Récolte et transport des fruits

La récolte a été effectuée selon la méthode **Brecht (2010)**, tôt le matin (7h à 9h) pour éviter l'accumulation de la chaleur dans les fruits. Les fruits ont été récoltés avec un pédoncule d'environ 10 cm de long pour limiter les écoulements de sève (latex) sur le corps du fruit. Après la récolte, le pédoncule a été réduit à environ 1 cm et les fruits sont disposés avec la partie pédonculaire orientée vers le bas pendant au moins 15 min (**Figure 7.A**). Cette disposition est prise pour éviter le contact du fruit avec la sève collante et légèrement caustique qui s'écoule en abondance de la tige coupée. Ensuite, les fruits ont été placés dans des cagettes en plastique de récolte tapissées de feuilles de manguier (**Figure 7.B**) pour minimiser les chocs mécaniques au cours du transport. Enfin, le transport des mangues du champ au laboratoire a été effectué à l'aide d'un engin motorisé à trois roues.

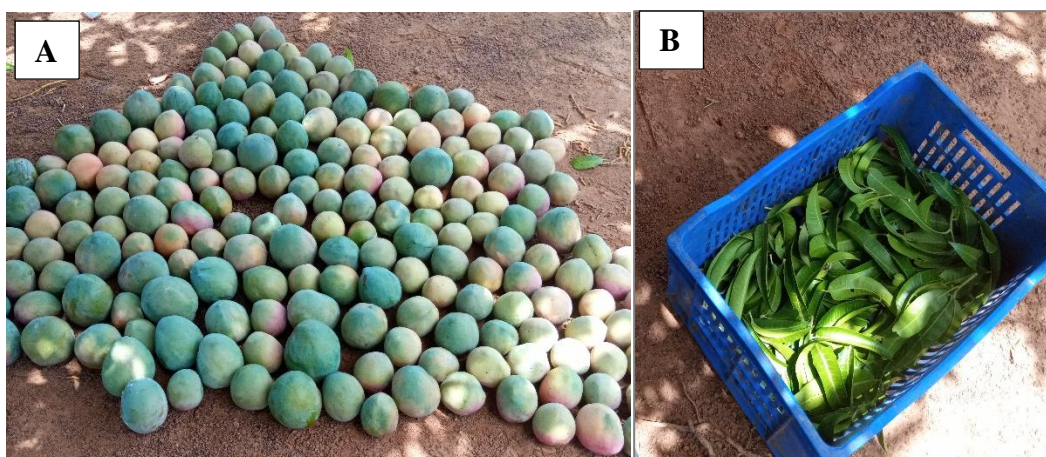


Figure 7: Elimination de la sève de la tige (A) et la cagette en plastique de récolte (B)

II.2.4 Echantillonnage

Quatre cents mangues de variété « Kent » de même calibre (forme et taille), de même maturité et exempt de dommages mécaniques et de toutes sortes de tâches, ont été sélectionnés, lavés soigneusement à l'eau contenant de l'hypochlorite de sodium (1%) et séchés à l'ombre. Ensuite, ils ont été répartis en quatre différents lots (**Figure 8**).

- Un lot de 125 mangues traitées à l'hexanal puis stockées à la température de 13 °C ;
- Un lot de 125 mangues non traitées (témoin) puis stockées à la température de 13 °C ;
- Un lot de 75 mangues traitées à l'hexanal puis stockées à la température de la pièce ;
- Un lot de 75 mangues non traitées (témoin) puis stockées à la température de la pièce.

Pour les fruits stockés à la température de la pièce, les mesures des paramètres physicochimiques (réalisées sur 10 fruits) et l'analyse sensorielle (réalisée sur 15 fruits) ont été réalisées après sept jours.

Quant aux fruits stockés à la température contrôlée de 13 °C, les mesures des paramètres physicochimiques ont été effectuées chaque semaine à partir de la deuxième semaine de stockage. Les mesures ont été réalisées à deux niveaux à savoir au sortir des fruits du froid (effet sur la qualité du fruit non mûr) et après mûrissement normal des fruits à température ambiante (effet sur la qualité du fruit mûr). L'analyse sensorielle a été effectuée sur le fruit mûr. Pour chaque sortie, 30 fruits ont été prélevés dont dix (10) fruits ayant servis aux analyses sur le fruit non mûr, dix (10) fruits après mûrissement et enfin dix (10) fruits pour l'analyse sensorielle.

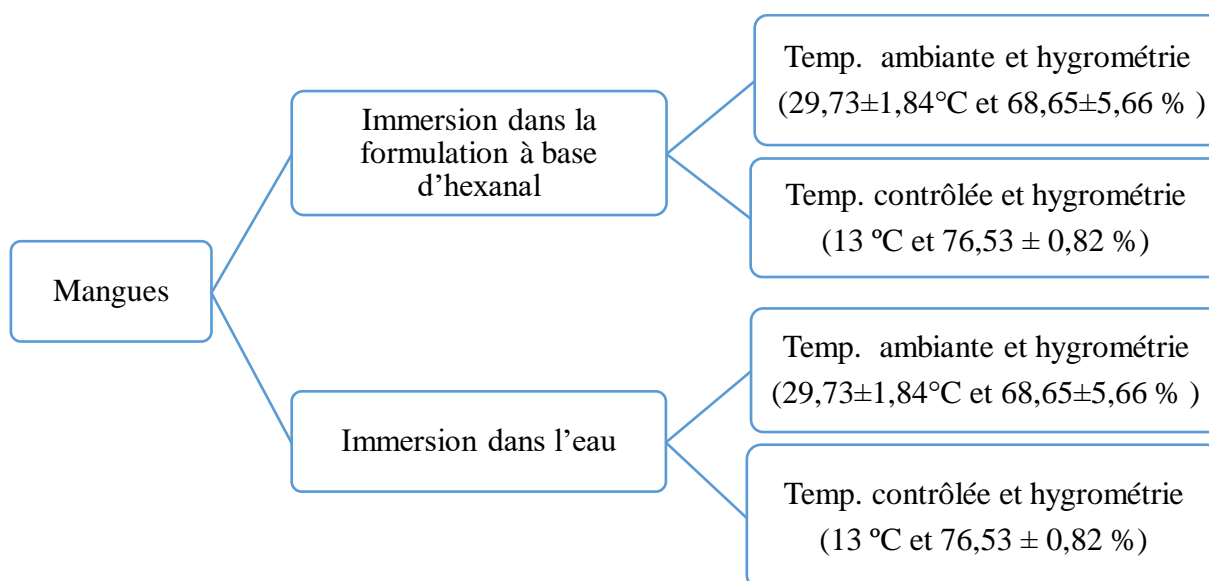


Figure 8: Schéma récapitulatif de l'échantillonnage

II.2.5 Traitement à l'hexanal

- **Préparation de la formulation d'hexanal**

La formulation à base d'hexanal a été préparé par la méthode de (Paliyath et al., 2003). Elle consiste à additionner 100 mL d'éthanol 96%, 100 mL de tween 20 (P1379, Sigma-Aldrich) et 10 mL d'hexanal (115606, Sigma-Aldrich) dans un Erlenmeyer de 250 mL enrobé de papier aluminium. Le mélange a été homogénéisé à l'aide d'un agitateur magnétique. La formulation obtenue a été stockée dans une bouteille brune en verre à 4 °C à l'abri de la lumière.

- **Application de l'hexanal**

Une quantité de 70 mL de la formulation d'hexanal a été ajoutée à 16 litres d'eau de robinet dans un bac plastique. Les mangues, par lot de 25, ont été trempées dans le mélange puis le contenant a été fermé pendant trois minutes. Les lots témoins ont été trempés dans de l'eau de robinet.

II.2.6 Paramètres de qualité

Les paramètres mesurés ont été la fermeté, la couleur, la perte de masse, la teneur en sucres solubles, l'acidité titrable, le pH, la matière sèche et la teneur en vitamine C. Une analyse sensorielle a été réalisée pour déterminer les profils sensoriels de chaque échantillon (**Publication 1**). La fiche d'évaluation est présentée en **Annexe 1**.

Cependant, il persiste une forte prévalence de l'antracnose et de la pourriture pédonculaire malgré le traitement à l'hexanal. Ce qui nécessite un traitement additionnel comme un

traitement antifongique. D'où, l'utilisation des extraits végétaux comme biopesticides naturels dans le chapitre suivant pour renforcer la capacité de l'hexanal à réduire les pourritures.

II.3 Recherche de biofongicide pour le traitement des maladies post-récoltes de la mangue

II.3.1 Evaluation de l'activité antifongique de quelques plantes médicinales sur les souches *Colletotrichum gloeosporioides*, *Botrytis cinerae* et *Fusarium oxysporum* (Publication 2)

II.3.1.1 Collecte de matériel biologique

Les huiles essentielles de *Ocimum gratissimum* L. et *Azadirachta indica* L. ainsi que les fruits de *Carica papaya* L. ont été achetés au supermarché à Avignon, France. Les graines ont été séchées à l'étuve au laboratoire (80 °C pendant 24h) puis broyées à l'aide broyeur électronique. Les feuilles de *Ocimum gratissimum* L. et *Azadirachta indica* L. ont été collectées à Dabou dans le district d'Abidjan, Côte d'Ivoire. Elles ont été lavées, séchées à l'ombre à température de 16 °C – 18 °C pendant sept (07) jours puis réduites en poudre fine à l'aide d'un broyeur électronique au Centre Suisse de Recherche Scientifique en Côte d'Ivoire. Les poudres ont ensuite été conditionnées dans des pots en polyéthylène pour être expédiées à Avignon. La souche de *Colletotrichum gloeosporioides* a été fournie par le laboratoire de microbiologie du Cirad Montpellier, France.

II.3.1.2 Préparation des extraits végétaux

Quarante-cinq grammes (45 g) de la poudre de chaque type de feuilles ont été infusés dans 200 mL d'eau tiède et d'eau chaude (100°C) dans des pots de centrifugation. L'ensemble a été homogénéisé et macéré pendant 24h. L'infusion a été centrifugée à 9000 g à 24 °C pendant 15 minutes. Le surnageant a été filtré d'abord, à travers un filtre compresse à gaz puis du papier filtre stérile à quatre plis de toile et centrifugé de nouveau à 20000 g/min à 24 °C pendant 15 min. Le surnageant a été récupéré puis filtré à l'aide d'un filtre membranaire (MiniSart®, CA = 0,45) pour éliminer à la fois les débris et les bactéries. Le filtrat ainsi obtenu a été utilisé comme l'extrait végétal.

II.3.1.3 Préparation de la culture fongique

Elle a été obtenue en ajoutant 1 mL de sérum physiologique à une culture de *Colletotrichum gloeosporioides* âgée de 10 jours (Talibi et al., 2012). Ensuite, une hanse a servi à gratter légèrement la culture pour isoler et prélever les spores. Celles-ci ont été introduites dans 1 mL de sérum physiologique dans un tube Eppendorf de 1,5 mL puis homogénéisées au vortex pour dissocier les amas de cellules. Le comptage a été effectué en prélevant 5 µL de cette suspension

qu'on dépose sur une cellule de Malassez puis recouverte de lamelle pour être observé au microscope. La concentration de la suspension a été ajustée à 10^6 spores/mL par dilution avec du sérum physiologique. Cette opération a été faite dans des conditions aseptiques pour éviter une contamination bactérienne.

L'huile essentielle commerciale s'est avérée très active sur les souches testées dans cette partie. Toutefois, la méthode de production de cette huile commerciale n'est pas connue. Aussi, son coût d'achat élevé peut entraîner un coût élevé de la technologie finale posant un problème d'adoption par les acteurs

II.3.2 Evaluation de l'activité antifongique de l'huile essentielle de *Ocimum gratissimum* L. sur les souches isolées de la mangue

II.3.2.1 Matériel végétal

Les parties aériennes fraîches d'*Ocimum gratissimum* L. ont été collectées à Dabou, située dans la banlieue d'Abidjan, Côte d'Ivoire. Elles ont ensuite été emballées dans un sac en polyéthylène tissé perforé et transportées au laboratoire de la Compagnie Ivoirienne de Coton (COIC), Korhogo, Côte d'Ivoire.

Les mangues de la variété "Kent" issues de l'agriculture biologique ont été utilisées pour l'évaluation "in vivo". La récolte a été réalisée au stade commercial par des récolteurs professionnels appelés communément « Pisteurs » dans un champ situé dans le département de Korhogo, nord de la Côte d'Ivoire. Quatre-vingt-dix fruits de mangue de la variété "Kent", apparemment sains et visiblement non endommagés ont été utilisés dans cette étude.

II.3.2.2 Matériel fongique

Le matériel fongique a été constitué de deux pathogènes à savoir *Colletotrichum gloeosporioides* et *Lasiodiplodia theobromae*, isolés à partir de mangues cv Kent infectées collectées sur le marché de Korhogo, Côte d'Ivoire.

II.3.2.3 Isolement des pathogènes

Les souches de *C. gloeosporioides* et de *L. theobromae* ont été isolées des mangues de la variété "Kent" présentant respectivement des symptômes d'antracnose et de pourriture pédonculaire selon la méthode décrite par (Cissé, 2012). Trois mangues ont été utilisées pour chaque maladie. Les mangues ont été soigneusement lavées dans de l'eau contenant 1 % (v/v) d'hypochlorite de sodium pendant 2 minutes, rincées trois fois avec de l'eau distillée stérilisée et séchées à l'aide

de papier buvard stérile. Les fruits ont ensuite été nettoyés avec une solution d'éthanol à 97 %. En effet, les mangues altérées ont été nettoyées avec du papier buvard imbibé d'éthanol (70 %). Des explants de l'épiderme des mangues ont été prélevés à la limite de progression des nécroses à l'aide d'un scalpel et d'une pince stérile. Puis ils sont ensemencés sur milieu de culture Sabouraud Dextrose Agar enrichi au chloramphénicol coulé dans des boîtes de Pétri (3 boîtes par maladie). L'incubation a été réalisée à température ambiante (29 °C) dans des conditions alternées de lumière et d'obscurité 12 :12 h pendant un à trois jours selon la présence des agents pathogènes. Les isolats obtenus ont été purifiés par repiquage successif sur des milieux Sabouraud stériles jusqu'à l'obtention d'une souche pure. Les conidies ont été inspectées visuellement au microscope optique. Les champignons isolés ont été identifiés sur la base de la morphologie de leur colonie et des structures conidiennes à l'aide de la littérature disponible (Campbell et al., 2013; Taheri et al., 2016).

II.3.2.4 Extraction de l'huile essentielle

L'huile essentielle a été extraite par la méthode de distillation à la chaleur selon la méthode recommandée par European Pharmacopoeia (1983) et décrite par Sefidkon *et al.* (2006). Après le nettoyage du système de distillation, 500 g de feuilles séchées de *Ocimum gratissimum L.* ont été introduites dans l'alambic sur une plaque perforée située à une certaine distance au-dessus du fond de la cuve rempli d'eau portée à ébullition. L'eau a été portée à ébullition à l'aide d'une flamme de butane, produisant alors de la vapeur d'eau. Ainsi, le végétal est en contact avec la vapeur d'eau saturée, mais pas avec l'eau bouillante. La vapeur d'eau détruit les structures renfermant les composés volatiles (huile essentielle). Ceux-ci sont alors rejetés dans la vapeur d'eau qui, à travers un condensateur (un tuyau spiral immergé dans l'eau froide dont le contenant est muni de deux fuites d'eau), se transforme en eau liquide. À l'extrémité du condenseur, l'eau contenant l'huile essentielle a été recueillie dans un récipient gradué appelé "Serpentine Distiller". L'huile essentielle n'étant pas miscible dans l'eau, il se forme alors deux phases. Une phase organique de couleur jaune pâle et plus légère constituant l'huile essentielle et, en dessous, une phase aqueuse (hydrolysate ou eau aromatique) appelée eau florale. Ensuite, l'hydrolat est soutiré à l'aide d'un robinet fixé dans la partie inférieure du ballon serpentine. La production d'hydrolysate étant supérieure à celle de l'huile, le processus a été effectué continuellement pendant la distillation pour éviter que le ballon ne déborde. L'extraction totale de l'huile essentielle a été effective après 2h 30 et l'huile obtenue a été conditionnée dans une bouteille brune en verre puis stockée à 4 °C à l'abri de la lumière. Le rendement d'extraction

de l'huile essentielle de *Ocimum gratissimum* L. a été exprimé en g/100 g de matière sèche de feuilles. Il a été calculé par l'équation 2 :

$$\text{Rendement (\%)} = \frac{\text{masse de l'huile extraite (g)}}{\text{masse de feuilles sèches (g)}} \times 100 \quad (2)$$

II.3.2.5 Détermination « *in vivo* » de l'activité antifongique de l'huile essentielle d'*Ocimum gratissimum* L. sur les pathogènes

Pour déterminer l'efficacité du traitement sur l'altération des mangues, la méthode de la contamination naturelle a été adoptée. Les surfaces des fruits ont été soigneusement lavées à l'eau savonneuse. Ils ont ensuite été rincés à l'eau distillée avant d'être séchés à l'air libre à la température de la pièce. Deux groupes de 45 mangues chacun ont été formés. Un groupe a été traité avec l'huile essentielle et l'autre avec de l'eau (témoin). Le traitement a été effectué en trempant les fruits pendant 3 min dans : (i) de l'eau, (ii) la formulation aqueuse contenant l'huile essentielle (2 mL.L⁻¹) amendée avec du Tween 80 (0,05 %) comme tensioactif. Enfin, les fruits ont été séchés à l'air à température ambiante, puis conditionnés dans des cartes d'exportation pour être stockés pendant 10 jours à température ambiante. Pendant le stockage, les fruits ont été inspectés visuellement tous les jours pour identifier les fruits présentant des signes visibles de la maladie (quelle que soit leur taille). Le taux d'infection a été évalué en comptant le nombre de fruits infectés pendant la durée de l'expérience (Tano *et al.*, 2007). L'effet du traitement sur le taux d'infection a été réalisée sur 25 mangues.

II.3.2.6 Effet du traitement sur les caractéristiques de qualité des mangues

Le jour de la récolte, tous les paramètres (couleur et fermeté de la peau et de la chair, teneur en solides solubles, acidité titrable, perte de masse, teneur en acide ascorbique, pH) ont été évalués sur dix fruits (Publication 3). Les fruits traités ont été stockés au laboratoire pour mûrir. Après 10 jours, l'influence du traitement sur la qualité des mangues a été évaluée sur dix fruits par groupe.

II.3.3 Détermination « *in vitro* » de l'activité antifongique des extraits végétaux sur les pathogènes (publication 2 & 3)

L'activité antifongique des extraits a été déterminée « *in vitro* » par la technique de l'empoisonnement alimentaire décrite (Bussaman *et al.*, 2012). Une quantité de 17,5 mL de chaque extrait végétal a été ajouté à 350 mL de milieu PDA (45 – 50 °C) dans une bouteille de

500 mL puis l'ensemble a été homogénéisé et coulé dans les boîtes de Pétri stériles sous une hotte. Pour le témoin, la procédure est la même à l'exception de l'extrait aqueux qui a été remplacé par de l'eau ultra pure. Quant aux huiles essentielles, différentes concentrations (21,75µL ; 43,75 µL ; 87,5 µL ; 175 µL et 262,5 µL pour *O. gratissimum*) et (87,5 µL ; 175 µL ; 262,5 µL ; 350 µL et 437,5 µL pour neem) ont été ajoutées à 350 mL de milieu PDA. À ce mélange, 0,05% (v/v) de Tween 80 a été additionné pour favoriser l'émulsion de l'huile essentielle. Le mélange a été coulé dans les boîtes de Pétri stériles. Pour le témoin, seuls les 0,05 % (v/v) de Tween 80 ont été ajoutés au milieu PDA. Pour chaque échantillon, cinq (05) réplifications ont été réalisées. Après solidification, les boîtes ont été inoculées en déposant 5 µL d'une suspension de 6.10^5 spores/mL de *C. gloeosporioides* au centre de la boîte de Pétri contenant le milieu PDA sous une hotte (0,42 m/s) et une zone stérile grâce à un bec bunsen. Après la diffusion de la suspension dans la gélose, les boîtes ont été scellées avec du parafilm et incubées à 30 °C. La mesure du diamètre de croissance fongique est effectuée chaque jour pendant 6 jours à l'aide du logiciel ImageJ. L'indice de fongicide ou pourcentage d'inhibition de croissance a été calculé par l'équation 3 :

$$PIC (\%) = \frac{C_{moy} - T}{C_{moy}} \times 100 \quad (3)$$

PIC = Pourcentage d'inhibition de croissance (%)

C_{moy} =Diamètre moyen de croissance du pathogène dans les boîtes témoins (cm)

T = Diamètre de croissance du pathogène dans les boîtes traitées (cm)

Cette huile essentielle extraite au laboratoire a montré sa forte capacité à réduire les pourritures de la mangue. Ainsi, elle peut être utilisée en combinaison avec l'hexanal pour servir à contrôler l'anthracnose et la pourriture pédonculaire de la mangue. Le but de cette combinaison (chapitre ci-après) est de retarder le mûrissement et diminuer le développement des pathogènes par un seul traitement.

II.4 Influence de la combinaison de l'hexanal a l'huile essentielle de *Ocimum gratissimum* L. sur la maturation et les maladies post-récolte de la mangue

II.4.1 Matériel végétal

Les mangues de variété "Kent" utilisées dans cette étude sont issues de l'agriculture biologique. La récolte a été réalisée par les récolteurs professionnels appelés communément « Pisteurs »

comme décrit ci-dessus dans la section II.2. Les mangues conditionnées et prêtes à expédition (**Figure 9**) nous ont été fournies par la Société de Culture Bananière (SCB), filiale de Compagnie Fruitière en Côte d'Ivoire.



Figure 9: Mangues de variété "Kent" prêtes à l'expédition

II.4.2 Matériel technique

Le matériel technique majeur a été constitué de conteneur frigorifique et groupe électrogène pour pallier les pannes d'électricité fournis par la société de transit EOLIS CI. Les plages de température et d'humidité relative du conteneur sont de -20 à 25 °C et 75-100 %, respectivement. Un thermohygromètre et un analyseur de dioxyde de carbone ont été utilisés pour vérifier régulièrement la température et l'humidité relative et la teneur de CO₂, respectivement, à l'intérieur du conteneur.

II.4.3 Echantillonnage

Des mangues de même maturité et exempt de dommages mécaniques et de toutes sortes de tâches ont été sélectionnés. Ensuite, elles ont été réparties en six différents lots.

- Un lot de 135 mangues traitées à eau ;
- Un lot de 135 mangues traitées à l'hexanal ;
- Un lot de 135 mangues traitées à l'hexanal combiné à l'huile essentielle de *Ocimum gratissimum* L. ;

- Un lot de 135 mangues traitées à l'hexanal combiné au fongicide chimique homologuée en Côte d'Ivoire (Scholar Max[®] 230 SC).
- Un lot de 70 mangues traitées à l'huile essentielle de *Ocimum gratissimum* L.
- Un lot de 70 mangues traitées au fongicide homologué Scholar Max[®] 230 SC

Après traitement, les mangues ont été conditionnées dans des cartons d'export et stockées dans le conteneur frigorifique à température moyenne de $13,2 \pm 0,7$ °C et d'humidité relative moyenne de $92,3 \pm 0,5$ %. Pour chaque traitement à l'exception des lots de 70 fruits, 56 fruits ont été disposés par sous-lot de dix (10) fruits, numérotés de 1 à 6 (**Figure 10**). Les mesures des paramètres physico-chimiques ont été effectuées tous les sept (07) jours pendant le stockage. Ainsi, à chaque prélèvement, un sous-lot est aléatoirement tiré à l'aide de la fonction "ALEA.ENTRE.BORNES()" de Microsoft Excel version 2019. Chaque fruit est considéré comme une répétition analytique et biologique.



Figure 10: Disposition des mangues dans le conteneur frigorifique

II.4.4 Préparation des différents produits de traitement

- **Préparation de la formulation d'hexanal**

La formulation à base d'hexanal a été préparée par la méthode de (Paliyath et al., 2003). Elle consiste à additionner 100 mL d'éthanol 96 %, 100 mL de tween 20 (P1379, Sigma-Aldrich) et 10 mL d'hexanal (115606, Sigma-Aldrich) dans un Erlenmeyer de 250 mL enrobé de papier aluminium. Le mélange a été homogénéisé à l'aide d'un agitateur magnétique. La formulation obtenue a été stockée dans une bouteille brune en verre à 4 °C à l'abri de la lumière.

- **Préparation de la formulation d'huile essentielle**

Elle a été obtenue en additionnant 53 mL d'huile essentielle de *Ocimum gratissimum* L. et 27 mL de Tween 80 dans un Erlenmeyer de 100 mL en verre recouvert de papier aluminium. Le mélange a été homogénéisé sous agitateur magnétique pendant cinq minutes. La formulation a été stockée à 4 °C au réfrigérateur avant le traitement.

- **Obtention du fongicide chimique**

Le Scholar Max[®] 230 SC, produit par Syngenta Crop Protection AG Bâle, Suisse, a été fourni par COMAKO (Société de conditionnement de mangue), Korhogo, Côte d'Ivoire.

II.4.5 Application des différents produits de traitement

Les différents produits de traitement ont été utilisés individuellement et en combinaison. Les combinaisons ont été effectuées tout en respectant le temps d'application et les concentrations individuelles des produits. Le lot témoin a été trempé dans de l'eau de robinet pendant 3 minutes.

- **Application de l'hexanal**

Une quantité de 70 mL de la formulation d'hexanal a été ajoutée à 16 litres d'eau de robinet dans un bac plastique de 50 litres. Les mangues, par lot de 15, ont été trempées dans le mélange puis le contenant a été fermé pendant trois minutes.

- **Application de la formulation d'huile essentielle de *Ocimum gratissimum* L.**

Trente millilitres (30 mL) d'huile essentielle a été ajoutée à 10 litres d'eau de robinet dans un bac plastique de 50 litres. Les mangues, par lot de 10, ont été trempées dans la solution puis le contenant a été fermé pendant trois minutes.

- **Application du fongicide Scholar Max[®] 230 SC**

Le fongicide Scholar Max[®] 230 SC a été appliqué selon les instructions du fabricant. Ainsi, 15 mL de Scholar Max[®] 230 SC ont été dilués dans 10 L d'eau de robinet.

Les lots témoins ont été trempés dans de l'eau de robinet pendant trois minutes.

II.4.6 Mesures de paramètres physicochimiques

La détermination des paramètres de performances des traitements (taux de pertes et de pourriture) et des paramètres physicochimiques a été décrite dans la **Publication 4**.

**CHAPITRE III : INFLUENCE DE L'APPLICATION DE L'HEXANAL
PAR TREMPAGE SUR LES PERTES POST-RECOLTES ET LA
QUALITE DE LA MANGUE VARIETE "KENT" AU COURS DU
STOCKAGE A FROID (Publication 1)**

Contexte

Le secteur de la mangue est confronté à plusieurs problèmes dont la maturation rapide du fruit et les maladies post récoltes. Ceci entraîne d'énormes pertes et par conséquent des pertes économiques. L'hexanal, un produit naturel retardateur de murissement est « largement » utilisé dans d'autres régions du monde et sur plusieurs fruits. Cependant, son application en post-récolte est exclusivement faite par vaporisation alors que le trempage est toujours précédé par une application pré-récolte (pulvérisation). Le problème est que la vaporisation ou la double application (pulvérisation et trempage) nécessitent plus de moyens financiers pour son fonctionnement.

Objectif

Le but de ce chapitre a été de réduire les pertes post-récolte et prolonger la durée de stockage de la mangue uniquement par le trempage des mangues dans une formulation aqueuse à base d'hexanal sans traitement préalable d'hexanal en pré-récolte comme généralement décrit dans la littérature.

Expérimentations

Les essais ont été effectués sur des mangues de variété "Kent" collectées en Côte d'Ivoire pendant la campagne de mangue 2019-2020. Quatre lots de mangue ont été constitués dont deux ont servi de témoins et deux ont été trempés dans la formulation à base d'hexanal. Le stockage des fruits a été fait à 13 °C et le murissement à 30 °C. un suivi et évaluation de la qualité des mangues a été fait pendant le stockage et après le murissement.

Principaux résultats

- Le trempage à l'hexanal associé au froid ont réduit les pertes post-récoltes (23 %) et la pourriture de la mangue (12 %) après 28 jours.
- L'hexanal améliore certains paramètres physicochimiques (fermeté, vitamine C) et organoleptiques (appréciation globale, la couleur de la chair, la fraîcheur) de la mangue.
- Le trempage à l'hexanal associé au froid prolonge la durée de stockage de la mangue (7 jours)

Conclusion

L'immersion dans l'hexanal peut être considérée comme une technologie prometteuse pour la conservation de la mangue.



Contents lists ScienceDir

Postharvest Biology and Technology

Journal www.elsevier.com/locate/posthar



Hexanal application reduces postharvest losses of mango (*Mangifera indica* L. variety "Kent") over cold storage whilst maintaining fruit quality

Yardjouma Silué^{a,b,d,f,*}, Charlemagne Nindjin^{b,f}, Mohamed Cissé^e, Kohi Alfred Kouamé^{b,f}, N. 'guessan Georges Amani^f, Didier Mbégué-A-Mbégué^{c,d}, Felicie Lopez-Lauri^{a,d,1}, Kablan Tano^{f,1}

^aAvignon Université, F-84916 Avignon, France

^bSwiss Centre for Scientific Research in Cote d'Ivoire, Côte d'Ivoire

^cCIRAD, UMR Qualisud, Montpellier, France

^dQualisud, Univ Montpellier, CIRAD, Univ d'Avignon, Institut Agro, IRD, Univ de La Réunion, F-34398 Montpellier, France

^eUniversité Peleforo Gon Coulibaly, Korhogo, Côte d'Ivoire

^fUniversité Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire

ARTICLE INFO

Keywords:
Storage
Quality
Shelf
Life
Postharvest losses

ABSTRACT

Mango (*Mangifera indica* L.) is a widespread crop that is affected by many factors that promote deterioration and limit its shelf life. This study aims to evaluate the effect of hexanal treatment and cold storage conditions on mango quality and postharvest losses. Mangoes var "Kent" were harvested from a commercial orchard located in Korhogo in the northern area of Ivory Coast. The fruit was then dipped in an aqueous hexanal formulation and stored at a cold temperature (13 °C) before ripening at laboratory temperature (30 °C). Their quality was assessed during storage and after ripening. The results showed that hexanal reduced postharvest losses by 22.85% and spoilage by 12% after four weeks of cold storage. Furthermore, the results revealed that hexanal treatment increased fruit firmness and ascorbic acid content compared to control fruit. However, there was no difference in soluble solids content, titratable acidity, pH, dry matter, and colour between treated and control fruit. Sensory analysis showed that hexanal treatment improved some sensory descriptors such as overall likeability, chewiness, sweetness, and colour of the mango flesh. Therefore, our study suggests that postharvest dipping of mangoes in the hexanal solution, combined with cold storage conditions, extends the shelf life of the fruit while maintaining or even improving its organoleptic features.

* Corresponding author at: University of Avignon, F-84916 Avignon, France.
E-mail address: silue.yardjouma@univ-na.ci (Y. Silué).

¹ These authors co-directed the work

<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.111930>

Received 28 December 2021; Received in revised form 23 March 2022; Accepted 27 March 2022

Available online 6 April 2022

0925-5214/© 2022 Elsevier B.V. All rights reserved.

III.1. Introduction

Fruit and vegetables play a crucial role in fighting against poverty and malnutrition in developing countries. Thus, their consumption is widely appreciated and recommended by the FAO and WHO for their beneficial effect on public health. The production of fruit and vegetables in sub-Saharan Africa was estimated in 2014 to be about 34.22 and 31.95 million tonnes, respectively (James and Zikankuba, 2017). However, their postharvest losses along the supply chain are responsible for reducing their availability and accessibility in this part of the world. According to James and Zikankuba (2017), postharvest losses are estimated to be between 30% and 80% depending on the nature of the crop. These losses are related to several factors including, among others, post-harvest metabolism and diseases, handling during harvest, transport, storage, distribution, and marketing. These commodities include mango, a fruit widely produced in tropical regions and consumed worldwide.

The mango (*Mangifera indica* L.) is an important seasonal fruit plant mainly grown in subtropical and tropical regions of the world. There are about 1000 varieties of mango including the "Kent" variety (Bally, 2006). Mango is of particular interest in human consumption due to its high content of vitamins, minerals, and bioactive compounds (Lauricella et al., 2017). However, it is low in protein and fat (Tharanathan et al., 2006). Ivory Coast is the leading African mango exporting country with a production of 159,394 tonnes in 2018 (OBAM-CI, 2018). Mango can play a central role both economically and in terms of health in this country. Yet, mango is highly perishable due to its rapid ripening and therefore requires proper handling and care to maintain its postharvest quality. Unfortunately, the lack of processing, poor handling and/or inadequate storage conditions by producers and traders are considered responsible for significant postharvest losses estimated at 30–60% of total production in 2019 (Mulder et al., 2019). Many factors are responsible for these significant losses in the mango production chain, including rapid ripening, postharvest diseases such as anthracnose and stem-end-rot. Anthracnose, caused by *Colletotrichum* species, is known to be the major disease affecting mango as its contamination can occur in the field and/or postharvest limiting the shelf life of the fruit and its export potential. Many technologies have been developed to extend the shelf life of mangoes. For example, chemical fungicides such as prochloraz, fludioxonil, benomyl are regularly applied to control postharvest diseases of mango (Swart et al., 2009; Onyeani and Osunlaja, 2012). However, these products exhibit a risk to human and animal health and the environment. As a climacteric fruit, the control of respiration and ethylene production is of particular interest for mango preservation. At the same time, the effectiveness of postharvest treatments is mainly assessed by their effect on fruit quality. Thus, a lot of research has been conducted on postharvest storage technologies. Among them, temperature and hexanal treatment have been successfully used to extend the shelf life of many fruit such as guava (Gill et al., 2016), nectarine (Kumar, 2018), plantain (Yumbya et al., 2018),

tomato (Cheema et al., 2014) and mango (Jincy et al., 2017). Hexanal is a C-6 aldehyde that is naturally produced by the lipoxygenase pathway in plants and is considered a safe ingredient for the food industry by the United States Food and Drug Administration (Thavong et al., 2011). Hexanal enhances the shelf life of fruit by inhibiting phospholipase D which initiates cell membrane degradation leading to loss of fruit integrity. In general, hexanal is applied by vapouring, spraying or dipping, depending on whether the treatment takes place before or after harvest (Paliyath and Murr, 2007). Many researchers have demonstrated the effectiveness of hexanal in the pre-harvest period (Anusuya et al., 2016; Kaur et al., 2020). But postharvest dipping could be of interest for developing countries such as the Ivory Coast where 92% of production is ensured by individual smallholder farmers and their cooperatives. Therefore, to increase shelf life and maintain fruit quality, postharvest treatments can be used alone or in combination to achieve the desired effect. The present study aims to evaluate the effect of postharvest hexanal application on postharvest losses and the quality of mango under cold storage conditions.

III.2. Materials and methods

2.1. Plant material

Healthy mangoes (*Mangifera indica* L. cv. Kent) of uniform size were harvested from a commercial mango orchard (9°27'34.8"N; 5°34'50.06"W) located in Koulokokaha near Korhogo, in northern Cote d'Ivoire. This locality is characterised by two seasons in the year, namely a rainy season (June to November) and a dry season (December to May). The 'Kent' variety sets fruit from March to June and the present experiment was conducted in May 2020. The fruit were harvested at commercial maturity with intact pedicels of 10 cm length and before 9 a. m (GMT). The pedicels were then reduced to 1 cm and the latex was removed avoiding any contact between the latex and the fruit surface. The fruit were then packed in plastic baskets and sent to the laboratory within an hour. They were kept at room temperature (27–30 °C) for 15–20 min before treatment.

2.2. Application of hexanal

The hexanal solution was obtained using pure hexanal, ethanol and Tween 20 as described by Paliyath et al. (2003) and stored at 4 °C until use. Then, a milky white aqueous formulation with 0.02% hexanal was prepared by diluting 70 mL of hexanal solution with distilled water (16 L). Apparently healthy and visibly blemish-free mangoes were selected, washed with chlorinated water (1% v/v), rinsed with tap water, and shade-dried until moisture was no longer visible on the surface of the fruit. The fruit were divided into two groups of 170 fruit each. One group was immersed for 3 min in the aqueous hexanal formulation contained in a plastic container and remain the other group was immersed in distilled water for 3 min (controls). Each group was then divided into two subgroups of 45 and 125 mangoes. The groups of 45 fruit were ripened at room temperature (29.7 ± 1.8 °C and 68.6 ± 5.7% RH) for seven

days before fruit quality assessment. The other two groups of 125 fruit were stored at cold conditions (13 °C and 76.5 ± 0.8% RH). For cold storage, assessment of various quality attributes of mangoes was carried out at 14, 21 and 28 d of storage (unripe fruit) and followed by one week of storage at room temperature for ripening. Fruit quality was assessed directly after the cold storage period and after ripening. A sample of ten randomly selected fruit was taken to determine the initial fruit quality or the harvest quality (day of harvest). The instrumental measurements of the mango's quality were followed by a sensory evaluation.

2.3. Postharvest losses and infection assessment

Mangoes were visually inspected for infection, spoilage and wilting to assess the effects of hexanal on post-harvest losses and infection rate after 7 d for room temperature and after 28 d for cold storage. The infection rate was determined by counting the number of infected fruit during the experiment. Infected fruit were those showing any sign of microbial infection, regardless of the size of the sign. The infection rate was expressed as a percentage of infected fruit for each treatment (Tano et al., 2007). Postharvest losses were defined as the ratio of the sum of ripe and/or infected fruit to the initial number of fruit. Post-harvest losses were expressed as percentage (%). The performance of hexanal on infection and losses was determined on 35 mangoes per group.

2.4. Quality attributes

At each sampling time, ten previously numbered fruit were randomly selected using the RANDBETWEEN() function in Microsoft Excel to evaluate the quality parameters (destructive parameters) to compare the different samples during and after cold storage.

2.4.1. Firmness

Firmness (skin and flesh) was measured using a digital penetrometer (FC GAUGE PCE - FM 200, Milan, Italy) following the method described by Yao et al. (2011). For skin firmness, the tip (8 mm diameter) of the penetrometer equipped with an electronic force indicator was placed on the middle part of one cheek of each fruit. The force required to pierce the skin of the fruit was measured and expressed in Newton (N). While the pulp firmness was measured in the middle of the inner side of the opposite cheek of the fruit after a longitudinal cut.

2.4.2. Colour

The colouration of the skin and flesh of the fruit was assessed using a Konica Minolta chromameter (Chromameter CR-10 plus, Japan). Measurements were made directly on the mango for each treatment using the CIE L*c*h colour space. The colour of the samples was expressed using two parameters including the brightness L* (from -100 for black to +100 for perfect white), the chromaticity coordinates: redness a* (from +60 for red to -60 for green) and yellowness b* (from +60 for yellow to -60 for blue). However, the colour was only defined

by the hue angle (h°). Fruit colour was measured in the middle of both the surface of a cheek (skin) and the inner side (flesh) after a longitudinal cut of the cheek.

2.4.3. Soluble solids content (SSC) and titratable acidity

The skin of ten fruit from each treatment was removed, and the juice from the pulp was separately extracted using a juice extractor (Kuvings D9900, Marseille, France). Soluble solids content (SSC) and titratable acidity were measured with a Brix-acid dual scale digital refractometer (PAL-BX-ACID91, ATAGO, Japan) at 25 °C according to the manufacturer's instructions.

2.4.4. Ascorbic acid

Ascorbic acid was determined by the titration method as described by Pongracz (1971) using 2,6-dichlorophenol indophenol (reference:1.03028) and expressed as mg/kg fresh pulp.

2.4.5. Sensory analysis

Panellists (15 members) were trained before the sensory analysis according to (Lateur et al., 2001). Panellists with experience in mango consumption participated in the evaluation. The descriptors were overall assessment, skin wilt, flesh colour, chew resistance, acid taste and sweetness. The assessment consisted of asking panellists to rate the intensity of these descriptors on a structured scale ranging from (1): "no perception" to (9): "extremely intense". Disposable plates were used to serve the samples coded by two numbers and panellists were asked to indicate the perceived intensities of the attributes putting a cross on the appropriate point of the scale. Spring water was used for rinsing and paper towels for cleaning the mouth between assessments. These assessed attributes were found adequate to describe changes in mango quality during storage. The evaluation was conducted in a room with daylight.

2.5. Statistical analysis

All results represent the mean, and the standard error (mean ± se) was reported as an estimate of variability. Experimental data were subjected to analysis of variance (ANOVA) using Rstudio version 4.1.1 (2021–10–08) for Windows. The means of the treatments were compared using the Least Significant Difference (LSD) test at the 5% significance level.

III.3. Results

3.1. Infection and postharvest losses during storage and ripening

The infection rate of mangoes soaked in the hexanal formulation was lower than that of unsoaked mangoes, both at room temperature and in cold storage (Fig. 1). The difference in infection between the hexanal-treated mangoes and the control was estimated to be about 6% after 7 d at room temperature and about 12% after 28 d of cold storage (13 °C). Hexanal completely inhibits infection during the first three weeks of cold storage. In addition, postharvest losses were significantly higher in control mangoes than in treated mangoes

in cold storage. However, post-harvest losses at room temperature were equal to the infection rate. The diseases observed in the present study were mainly stem-end-rot and anthracnose during and after storage. Regarding postharvest losses (Fig. 2), the application of the hexanal formulation reduced losses regardless of the temperature (ambient or cold). Thus, in cold storage, a difference of 22.85% was found between losses after hexanal treatment and water treatment (control). This difference in losses between the treatments was lower at room temperature (6%). Therefore, controlling the temperature to 13 °C emphasised the hexanal effect on fruit infection and postharvest losses.

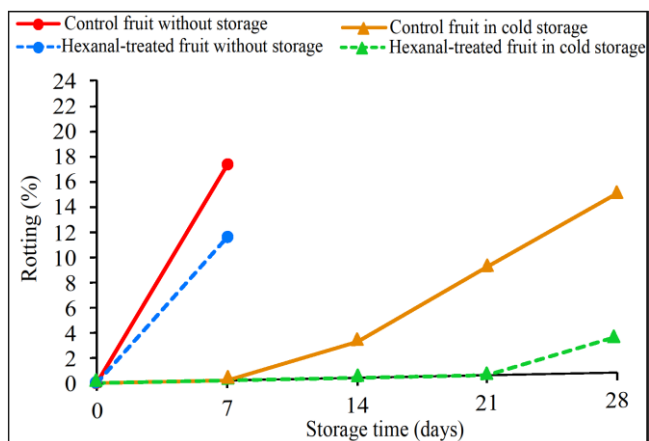


Fig. 1. Evolution of mango infection during cold storage (13 °C) and ripening without storage (30 °C) after hexanal application.

3.2. Physical quality characteristics of mango after storage and ripening

Table 1 shows the evolution of physical quality characteristics during cold storage and ripening at room temperature. Fruit firmness decreased with time in both treatments. At the last stage of cold storage (28 d), a difference in firmness between control (36.81 ± 6.98) and treated mangoes (66.49 ± 12.59) was established. Moreover, this difference between the samples was also observed after ripening at room temperature. Only mangoes removed from cold storage after 14 d showed similar skin firmness to those directly ripened without storage. However, for flesh firmness, no statistical difference was recorded between directly ripened fruit and fruit ripened after storage for 14 d and 21 d. Regardless of the postharvest storage period of the fruit, hexanal delayed the loss of firmness compared to the control sample.

The colour differences between skin and flesh were determined by the hue angle values, as shown in Table 1. The hue values of mango skin and flesh decrease during storage and ripening. However, the kinetics of the decrease in hue is more important in the control fruit than in the hexanal-treated fruit both during storage and after ripening at room temperature. In fact, the

lowest hue values were obtained in the control fruit. During cold storage, the effect of hexanal treatment on fruit colour was most pronounced from 21 d and 28 d. This action of hexanal on fruit colour disappeared after ripening.

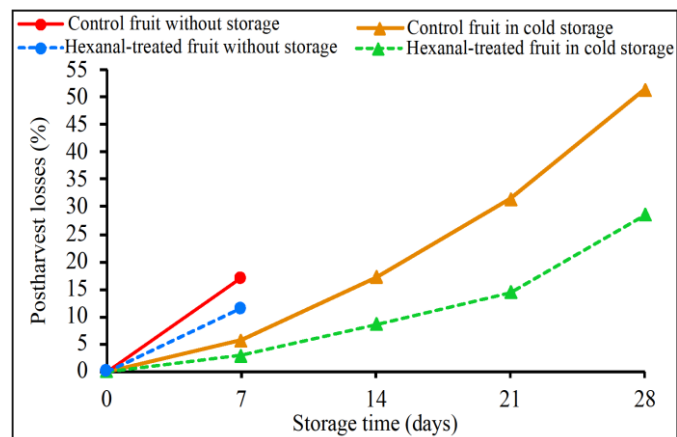


Fig. 2. Evolution of mango postharvest losses during cold storage (13 °C) and ripening without storage (30 °C) after hexanal application.

3.3. Biochemical quality characteristics of mango after storage and ripening

The changes in the biochemical parameters are described in Table 2. Our results show that the pH gradually increases throughout the storage period for all treatments. In contrast, ascorbic acid (vitamin C) and titratable acidity decreased with storage time. In general, a similar variation in biochemical parameters can be noted for fruit ripened after

Table 1: Effect of hexanal application on physical quality characteristics of mango after cold storage and ripening.

Physical traits	Storage time (days)	Treatments			
		After storage		After ripening	
		Control	Hexanal	Control	Hexanal
Skin firmness (N)	0	145.2 ± 2.05B		63.24 ± 3.32aC	82.09 ± 5.52bB
	14	61.08 ± 12.46abA	69.85 ± 9.40bA	49.66 ± 4.60aBC	50.12 ± 3.39abAB
	21	56.79 ± 12.19abA	66.55 ± 10.85bA	31.43 ± 3.34aAB	35.30 ± 7.46aA
	28	36.81 ± 6.98bA	66.49 ± 12.59cA	18.90 ± 2.29aA	28.93 ± 6.47bA
Flesh firmness (N)	0	48.50 ± 3.61B		20.51 ± 1.72aB	21.5 ± 3.29aB
	14	15.88 ± 3.17abA	24.74 ± 3.80bA	19.15 ± 2.34aB	18.77 ± 0.93aB
	21	13.38 ± 1.70abA	16.78 ± 1.17bA	10.87 ± 0.68aAB	12.28 ± 1.72abAB
	28	12.50 ± 1.46cA	18.02 ± 3.54dA	4.22 ± 0.95aA	6.95 ± 1.41bA
Skin Hue	0	88.25 ± 2.00B		59.86 ± 4.30aA	61.36 ± 3.39aA
	14	73.64 ± 3.79abAB	79.10 ± 1.83bB	63.68 ± 4.69aA	73.64 ± 3.79abAB
	21	71.80 ± 5.01bA	77.64 ± 4.05cAB	64.07 ± 2.60aA	71.80 ± 5.01bAB
	28	69.96 ± 3.25bcA	74.66 ± 4.70cA	57.63 ± 1.192aA	69.96 ± 3.25bcA
Flesh Hue	0	82.89 ± 1.56B		69.98 ± 1.12aB	68.29 ± 1.01aAB
	14	73.03 ± 1.27bA	72.82 ± 1.61bA	64.26 ± 2.23aA	73.03 ± 1.27bA
	21	71.36 ± 1.00bA	71.90 ± 0.88bA	69.70 ± 1.20abAB	71.36 ± 1.00bA
	28	70.42 ± 1.23bA	71.55 ± 1.24bA	68.07 ± 0.12aAB	70.42 ± 1.23bA

Different lower cases within the same row indicate statistically significant difference between treatments. In the same column, different upper cases indicate statistically significant differences between the storage time at $p \leq 0.05$. Values represent mean \pm SE of ten replicates

Table 2: Effect of hexanal on biochemical characteristics of mango flesh at ambient and cold storage.

Traits	Storage time (days)	Treatments			
		Cold Storage		After ripening	
		Control	Hexanal	Control	Hexanal
Titrable acidity (%)	0	0.76 ± 0.06C		0.34 ± 0.03aB	0.41 ± 0.02bB
	14	0.56 ± 0.03bBC	0.56 ± 0.03bBC	0.28 ± 0.02aAB	0.24 ± 0.01aA
	21	0.32 ± 0.07aAB	0.55 ± 0.04bBC	0.27 ± 0.03aAB	0.31 ± 0.04aAB
	28	0.31 ± 0.032bA	0.46 ± 0.04cB	0.22 ± 0.02aA	0.23 ± 0.01aA
pH	0	3.56 ± 0.16A		4.04 ± 0.08aA	3.94 ± 0.07aA
	14	3.67 ± 0.03aAB	3.67 ± 0.06aA	4.32 ± 0.07bB	4.60 ± 0.10cB
	21	3.94 ± 0.06aAB	3.91 ± 0.058aA	4.52 ± 0.05bBC	4.54 ± 0.13bB
	28	4.04 ± 0.09aB	3.89 ± 0.04aA	4.68 ± 0.015bC	4.74 ± 0.07bB
SSC (%)	0	6.95 ± 0.08A		18.80 ± 0.57aB	18.32 ± 0.34aB
	14	15.72 ± 0.63bB	14.88 ± 0.60aB	15.96 ± 0.83bA	14.64 ± 0.23aA
	21	16.95 ± 0.47aB	16.88 ± 0.41aBC	16.50 ± 0.15aAB	17.88 ± 0.82bB
	28	17.12 ± 0.09bB	17.02 ± 1.24bC	15.85 ± 0.49aA	17.17 ± 0.65bB
Ascorbic acid (mg kg ⁻¹)	0	412.5 ± 16.82C		275 ± 14.43aB	308.33 ± 8.33aB
	14	333.33 ± 8.33bB	358.33 ± 8.33bB	216.67 ± 16.67aA	250 ± 14.43aA
	21	300 ± 14.43bAB	316.67 ± 8.33bA	233.33 ± 8.33aAB	283.33 ± 22.05abAB
	28	266.67 ± 8.33bcA	283.33 ± 16.67cA	191.67 ± 22.05aA	216.67 ± 30.05abA
Dry matter (mg kg ⁻¹)	0	170.74 ± 9.86B		185.6 ± 13.79aA	175.6 ± 16.53aA
	14	149.2 ± 5.00abA	134 ± 3.51aA	172 ± 8.33bA	160 ± 23.35abA
	21	184 ± 4.00aB	173.33 ± 8.67aB	180.67 ± 1.33aA	174.67 ± 12.67aA
	28	174.4 ± 7.57aB	179.6 ± 15.6aB	186 ± 4.16aA	176 ± 4.16aA

Different lower cases within the same row indicate statistically significant difference between treatments. In the same column, different upper cases indicate statistically significant differences between the storage time at $p \leq 0.05$. Values represent mean \pm SE of ten replicates.

cold storage and those ripened directly without storage. A wide difference in acidity between the treatments was observed after direct ripening, whereas in cold storage

the difference was only recorded from 21 d (23%). For fruit ripened after cold storage, the soluble solids content (SSC) increased with storage time until reaching a peak

on day 21 of cold storage and then decreased at the end of storage. On the other hand, a difference in SSC of ripe fruit after cold storage was recorded between treatments. Regarding the ascorbic acid content of the fruit during cold storage, no statistical difference was obtained between the hexanal treated mangoes and the control. However, for mangoes ripened after cold storage, only fruit taken at day 21st had the same amount of ascorbic acid as fruit ripened directly without storage regardless of the treatment.

3.4. Sensory profile of ripe mango

Due to the similarity observed with physical and biochemical parameters between treatments (directly ripened or after storage), the organoleptic characteristics were examined by sensory analysis. The results revealed that the Hexanal (21 DCS) sample recorded the highest score for overall appreciation, chewiness, acidic taste, and the lowest score for wilting (Fig. 3). The controls, after 14 d and 28 d of storage, were characterised by advanced skin wilting and poor chewing. In addition, the panel judged that the Hexanal (NS) and Hexanal (28 DCS) samples had a bright colour and a significant sweet taste. The samples with hexanal had the high overall appreciation score.

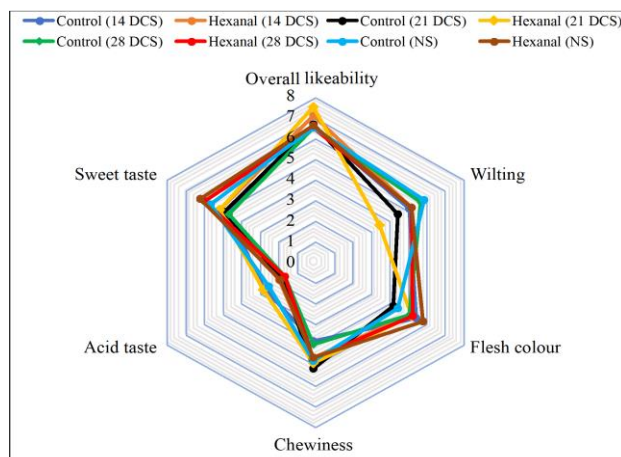


Fig. 3. Sensory profiles of different mango samples after ripening. DCS: days under cold after ripening; NS: no stored.

III.4. Discussion

Fruit ripening is a dynamic and genetically programmed process in which the fruit is morphologically static but biochemically and nutritionally active, leading to an overall improvement in the organoleptic and nutritional profile of the fruit. Mangoes are highly perishable due to their rapid ripening and attacks by various pathogens. The infection rate of hexanal-dipped mangoes was lower than that of undipped mangoes, both at room temperature and during cold storage. Naturally, postharvest losses of control mangoes were higher than those of treated mangoes, as postharvest losses result

from over-ripening, softening and spoilage. The reduction in postharvest losses of mangoes by hexanal could be attributed to the ability of hexanal to delay ripening and spoilage. This is because hexanal delays ripening by protecting the integrity of the membrane (natural fruit barrier). (Anusha et al., 2016) and (Dhakshinamoorthy et al., 2020) in their study on *Colletotrichum gloeosporioides* and *Lasiodyplodia theobromae* of mango, reported that hexanal has fungicidal properties only at a particular concentration. However, the main disease symptoms observed in our study were those of anthracnose and stem-end-rot generally caused by *C. gloeosporioides* and *L. theobromae*, respectively. This is an indicator of the inhibitory effect of hexanal on the diseases as reported by the authors cited above. The mechanism of action of hexanal as an antifungal agent is not yet understood but it is possible that the maintenance of the membrane intact by hexanal treatment contributed to developing the natural physical resistance against pathogens. Our results are also in agreement with (Gill et al., 2015) in their studies on hexanal effect on guava pathogens even if in addition to ethanol, some components like geraniol in their formulation can have antifungal activity. Furthermore, temperature control at 13 °C mainly enhanced the reducing effect of hexanal on fruit infections. This could be due to the slowing down of fruit ripening, as unripe fruit are known to have higher levels of phenolic compounds (antioxidant components, flavonoids) which decrease with storage (Hossain et al., 2014). In addition, several studies have shown that low temperature inhibits the development of many fungi by reducing all enzymatic activities (Robles-Sanchez et al., 2009; Parthasarathy et al., 2015).

As firmness is one of the most commercially important quality parameters of mango, it must be preserved during distribution, storage, and processing. However, mango naturally undergoes a rapid loss of firmness during ripening, which contributes greatly to its short shelf life. Loss of fruit firmness can be attributed to many reasons, including hydrolysis of the cell wall (Mirshekari et al., 2015). Postharvest treatment of mangoes with a hexanal-based formulation significantly reduced the loss of fruit firmness compared to the control during the last cold storage period. The reduction in firmness loss due to hexanal application could be explained by its ability to inhibit the activity of the phospholipase D (PLD) enzyme, which helps to preserve cell structure and membrane integrity (Cheema et al., 2018). Many authors have reported similar results on hexanal in reducing the loss of firmness in fruit and vegetables such as tomato (Cheema et al., 2014), mango (Anusuya et al., 2016) and table grapes (Kaur et al., 2019). Thus, single dipping of mangoes in hexanal formulation delays loss of firmness as its dual application (preharvest and postharvest) was reported by Preethi et al. (2018). During the natural ripening of the fruit, the green colour

decreases, and the yellow and red colours linearly take place with time. The decrease in hue values in the different samples during cold storage or after ripening implies the degradation of chlorophyll (greenness) and carotenoid biosynthesis (yellowing and redness). The samples with the lowest hue values are more ripened than those with the highest values. Thus, the high hue values observed on mangoes dipped in the hexanal formulation indicate that the ripening process was delayed. However, after ripening, the hexanal-treated fruit have the same quality as the naturally ripened fruit. A similar variation in the biochemical parameters of the fruit of the different samples can be noticed. The decrease in ascorbic acid (vitamin C) content can be attributed to the increase in fruit juice with ripening. The difference in the reduction of ascorbic acid content observed between treatments could be due to the slowing down of the physiological process of the fruit by hexanal. Our results are in agreement with Ashitha et al. (2019) regarding the action of hexanal on the amount of ascorbic acid in guava quality. The decrease in titratable acidity and increase in pH are related to the use of organic acids as substrates for respiration, gluconeogenesis, and biogenesis of aromatic compounds (Rathore et al., 2007; Gill et al., 2016; Preethi et al., 2018). In addition, the increase in soluble solids content (SSC) in all treatments could be mainly a result of the hydrolysis of polysaccharides into soluble solids in the form of sugars such as glucose, fructose, and sucrose. This leads to significant changes in flavour (increased sweetness) (Chitarra and Chitarra, 2005; Saeed et al., 2009; Gill et al., 2016). The maintenance of lower SSC with hexanal formulation treatment compared to the control may be due to a reduction in the ripening process and delay in the degradation of complex carbohydrates in various metabolic activities. Similar effects of postharvest hexanal treatment were reported by Kaur et al. (2019) on rachis and Sharma et al. (2010) on cherries. The sensory profile showed that the overall appreciation of the mango increased with the decline in wilting. This could be associated with the fact that appearance greatly influences consumer judgement. Furthermore, the high sweetness observed in the Hexanal (28 DCS) and Hexanal (NS) samples indicates that the application of hexanal increases the sweetness. Indeed, as shown by the evolution of the soluble solids content, during storage, the soluble solids content increases until it reaches a peak and then tends to decrease at the end of storage. However, the delay in ripening by hexanal allows a later peak to be reached compared to the control. Finally, the postharvest application of hexanal has a positive impact on the sensory descriptors studied in this study. However, the mangoes subjected to the hexanal formulation were mostly appreciated by the panel.

III.5. Conclusion

Postharvest application of the hexanal-based formulation reduced postharvest losses of mangoes and maintained their quality under cold storage conditions. Thus, the results showed that the hexanal dipping reduced postharvest losses and the incidence of fungal development symptoms by about 22.85% and 12%, respectively, after four weeks of cold storage (13 °C). In addition, hexanal increased firmness and ascorbic acid content and maintained soluble solids, titratable acid, colour, and sensory quality. There was no change in the organoleptic quality of the fruit although hexanal treatment improved some parameters such as overall assessment, chewiness, sweetness, and colour of the mango flesh. Temperature control at 13 °C amplified the retarding effect of hexanal.

Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgements

This project is funded by the Education and Research Ministry of Cote d'Ivoire as part of the Debt Reduction-Development Contracts (C2Ds) managed by IRD (French National Research Institute for Sustainable Development).

III.6. References

- Anusha, B., Kamaleesan, S., Seethapathy, P., Kuppasamy, P., Duraisamy, R., Gurudevan, T., Ramjegadesh, Subramaniam, K., Paliyath, G., Jayasankar, S., 2016. Effect of hexanal on mycelial growth and spore germination of *Colletotrichum gloeosporioides* and *Lasiodiplodia theobromae* of mango. *Trop. Agricult.* 93, 312–322.
- Anusuya, P., Nagaraj, R., Janavi, G.J., Subramanian, K.S., Paliyath, G., Subramanian, J., 2016. Pre-harvest sprays of hexanal formulation for extending retention and shelf-life of mango (*Mangifera indica* L.) fruit. *Sci. Horticult.* 211, 231–240. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.08.020>.
- Ashitha, G.N., Preetha, P., Varadharaju, N., 2019. Effect of Post Harvest Hexanal Treatment on Shelf Life of Guava. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 8, 1057–1067. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.807.127>.
- Bally, I.S.E., 2006. *Mangifera indica* (mango), Species Profiles for Pacific Island Agroforestry (< www.traditionaltree.org >). Permanent Agriculture Resources (PAR), Australia.
- Cheema, A., Padmanabhan, P., Amer, A., Parry, M.J., Lim, L.-T., Subramanian, J., Paliyath, G., 2018. Postharvest hexanal vapor treatment delays ripening and enhances shelf life of greenhouse grown sweet bell pepper (*Capsicum annum* L.).

- Postharvest Biol. Technol. 136, 80–89. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.10.006>.
- Cheema, A., Padmanabhan, P., Subramanian, J., Blom, T., Paliyath, G., 2014. Improving quality of greenhouse tomato (*Solanum lycopersicum* L.) by pre- and postharvest applications of hexanal-containing formulations. *Postharvest Biol. Technol.* 95, 13–19. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.03.012>.
- Chitarra, M.I.F., Chitarra, A.B., 2005. Pos-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manejo, 2. ed. ed. UFLA, Lavras.
- Dhakshinamoorthy, D., Sundaresan, S., Iyadurai, A., Subramanian, K.S., Janavi, G.J., Paliyath, G., Subramanian, J., 2020. Hexanal Vapor Induced Resistance against Major Postharvest Pathogens of Banana (*Musa acuminata* L.). *Plant Pathol. J.* 36, 133–147. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.03.2019.0072>.
- Gill, K.S., Dhaliwal, H.S., Mahajan, B.V.C., Paliyath, G., Boora, R.S., 2016. Enhancing postharvest shelf life and quality of guava (*Psidium guajava* L.) cv. Allahabad Safeda by pre-harvest application of hexanal containing aqueous formulation. *Postharvest Biol. Technol.* 112, 224–232. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.09.010>.
- Gill, P.S., Jawandha, S.K., Kaur, N., Verma, A., 2015. Changes in fruit colour of Dusehari mangoes during ethephon induced ripening. *Int. J. Agricult. Environ. Biotechnol.* 8, 97–101. <https://doi.org/10.5958/2230-732X.2015.00013.3>.
- Hossain, Md.A., Rana, Md.M., Kimura, Y., Roslan, H.A., 2014. Changes in Biochemical Characteristics and Activities of Ripening Associated Enzymes in Mango Fruit during the Storage at Different Temperatures. *BioMed Res. Int.* 2014, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2014/232969>.
- James, A., Zikankuba, V., 2017. Postharvest management of fruit and vegetable: A potential for reducing poverty, hidden hunger and malnutrition in sub-Saharan Africa. *Cogent Food Agricult.* 3, 1312052. <https://doi.org/10.1080/23311932.2017.1312052>.
- Jincy, M., Djanaguiraman, M., Jeyakumar, P., Subramanian, K.S., Jayasankar, S., Paliyath, G., 2017. Inhibition of phospholipase D enzyme activity through hexanal leads to delayed mango (*Mangifera indica* L.) fruit ripening through changes in oxidants and antioxidant enzymes activity. *Sci. Horticult.* 218, 316–325. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.02.026>.
- Kaur, S., Arora, N.K., Gill, K.B.S., Sharma, S., Gill, M.I.S., 2019. Hexanal formulation reduces rachis browning and postharvest losses in table grapes cv. ‘Flame Seedless. *Sci. Horticult.* 248, 265–273. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.011>.
- Kaur, K., Kaur, G., Brar, J.S., 2020. Pre-harvest application of hexanal formulations for improving post-harvest life and quality of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Dashehari. *J. Food Sci. Technol.* 57, 4257–4264. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04464-9>.
- Lateur, M., Planchon, V., Moons, E., 2001. Evaluation par l’analyse sensorielle des qualités organoleptiques d’anciennes variétés de pommes. *Biotechnol., Agronomy, Soc. Environ.* 5, 180–188.
- Lauricella, M., Emanuele, S., Calvaruso, G., Giuliano, M., D’Anneo, A., 2017. Multifaceted Health Benefits of *Mangifera indica* L. (Mango): The Inestimable Value of Orchards Recently Planted in Sicilian Rural Areas. *Nutrients* 9, 1–14. <https://doi.org/10.3390/nu9050525>.
- Mirshakari, A., Ding, P., Ghazali, H.M., 2015. Enzymatic Activity and Microstructural Changes of Hot Water Treated Banana during Ripening. *J. Agricult. Sci. Technol.* 17, 949–962.
- Mulder, H., Steemers, S., Dibouloni, J.B., Tamini, J., Niang, M.A., 2019. Value Chain Analysis for Processed Fruit from Burkina Faso, Mali and Ivory Coast. CBI (Centre for the Promotion of Imports from developing countries), Cote d’Ivoire.
- OBAM-CI, 2018. OBAMCI (Organisation Des Producteurs Exportateurs de Bananes d’ananas de Mangues et autres fruit d’exportation de Cote d’Ivoire), in: *Analyse de La Chaîne de Valeur Des Fruit Transformés Au Burkina Faso, Au Mali et En Cote d’Ivoire*, CBI, 2019. Cote d’Ivoire.
- Onyeani, C., Osunlaja, S., 2012. Comparative Effect of Nigerian Indigenous Plants In The Control of Anthracnose Disease of Mango Fruit. *Int. J. Sci. Technol. Res.* 1, 80–85.
- Paliyath, G., Murr, D.P., 2007. Compositions for the preservation of fruit and vegetables. 7,198,811 B2.
- Paliyath, G., Murr, R.Y., Yada, R., Pinhero, R.G., 2003. Inhibition of phospholipase D. 6,514,914 B1.
- Parthasarathy, S., Prabakar, K., Thiribhuvanamala, G., 2015. Influence of temperature in the incidence and management of major post-harvest diseases of mango (*Mangifera indica* L.). *Impact Climate Risks Agricult. Horticult. Prod.* 48–57.
- Preethi, P., Soorianathasundaram, K., Sadasakthi, A., Subramanian, K.S., Paliyath, G., Subramanian, J., 2018. Influence of Hexanal formulation on storage life and post-harvest quality of mango fruit. *J. Environ. Biol.* 39, 1006–1014. <https://doi.org/10.22438/jeb/39/6/MRN-777>.
- Rathore, H.A., Masud, T., Sammi, S., Soomro, A.H., 2007. Effect of Storage on Physico-Chemical Composition and Sensory Properties of Mango (*Mangifera indica* L.) Variety Dosehari. *Pakistan J. Nutr.* 6, 143–148. <https://doi.org/10.3923/pjn.2007.143.148>.
- Robles-Sanchez, R. m, Islas-Osuna, M. a, Astiazar-an-García, H., Vázquez-Ortiz, F. a, Martín-

- Belloso, O., Gorinstein, S., Gonzalez-Aguilar, G. a, 2009. Quality Index, Consumer Acceptability, Bioactive Compounds, and Antioxidant Activity of Fresh-Cut “Ataulfo” Mangoes (*Mangifera indica* L.) as Affected by Low-Temperature Storage. *J. Food Sci.* 74, S126–S134. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01104.x>.
- Saeed, F., Hagemann, S., Jacob, D., 2009. Impact of irrigation on the South Asian summer monsoon. *Geophys. Res. Lett.* 36, L20711 <https://doi.org/10.1029/2009GL040625>.
- Sharma, M., Jacob, J.K., Subramanian, J., Paliyath, G., 2010. Hexanal and 1-MCP treatments for enhancing the shelf life and quality of sweet cherry (*Prunus avium* L.). *Sci. Hortic.* 125, 239–247. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.03.020>.
- Swart, S.H., Serfontein, J.J., Swart, G., Labuschagne, C., 2009. Chemical control of post-harvest diseases of mango: the effect of fludioxonil and prochloraz on soft brown rot, stem-end rot and anthracnose. *Acta Hortic.* 503–510. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.820.64>.
- Tano, K., Oule, M.K., Doyon, G., Lencki, R.W., Arul, J., 2007. Comparative evaluation of the effect of storage temperature fluctuation on modified atmosphere packages of selected fruit and vegetables. *Postharvest Biol. Technol.* 46, 212–221. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.05.008>.
- Tharanathan, R.N., Yashoda, H.M., Prabha, T.N., 2006. Mango (*Mangifera indica* L.), “The King of Fruit”-An Overview. *Food Rev. Int.* 22, 95–123. <https://doi.org/10.1080/87559120600574493>.
- Thavong, P., Koslanund, R., Archbold, D.D., Pankasemsuk, T., 2011. Hexanal vapours suppress spore germination, mycelial growth, and fungal-derived cell wall degrading enzymes of postharvest pathogens of longan fruit. *Chiang Mai J. Sci.* 38, 139–150.
- Yao, N.B., Tano, K., Assemand, E.F., Koffi-Nevry, R., Bed' i'e, G.K., Amani, G., 2011. Effect of the Maturity Stage and Storage Temperature on the Postharvest Quality of *Carica papaya* L. Variety Solo 8. *Fresh Produce* 5, 15–21.
- Yumbya, P.M., Hutchinson, M.J., Ambuko, J., Owino, W.O., Sullivan, A., Paliyath, G., Subramanian, J., 2018. Efficacy of hexanal application on the post-harvest shelf life and quality of banana fruit (*Musa acuminata*) in Kenya. *Trop. Agricult.* 95, 14–35.

**CHAPITRE IV : RECHERCHE DE BIOFONGICIDE POUR LE
CONTROLE DES MICRO-ORGANISMES RESPONSABLES DES
MALADIES POST-RECOLTE DE LA MANGUE**

AVANT-PROPOS

La mangue fait l'objet d'attaque de plusieurs types de bioagresseurs (nématoïdes, champignons, bactéries, insectes, etc.) dont le principal est le champignon *Colletotrichum gloeosporioides* responsable de l'antracnose. Pour lutter contre ces agresseurs, l'on fait essentiellement recours à l'utilisation des fongicides synthétiques. Cependant, le consommateur est de plus en plus exigeant et demande une mangue traitée avec de produits naturels.

Ainsi, l'objectif de ce chapitre a été de trouver un fongicide naturel ayant un large spectre d'activité antifongique pour contrôler les maladies post-récolte de la mangue.

A cet effet, trois plantes médicinales ont été investiguées :

- Décoction de feuilles et huile essentielle de basilic Africain (*Ocimum gratissimum* L.),
- Décoction de feuilles et huile essentielle de neem (*Azadirachta indica*) ;
- Décoction de graines de papaye (*Carica papaya* L.) ;

Principaux résultats

- Les résultats de cette investigation sur les plantes médicinales sont présentés en **annexe 2**
- L'*Ocimum gratissimum* L. s'est montré plus efficace que les autres plantes tant au niveau des extrait aqueux que les huiles essentielles. Ainsi, son étude a fait l'objet de deux publications (publication 2 & 3).

IV.1. "In vitro" antifungal activity of aqueous extract and essential oil of *Ocimum gratissimum* L. against three phytopathogenic fungi (Publication 2)

Contexte

Dans une étude préliminaire (voir matériel supplémentaire de la publication 2), la plante médicinale *Ocimum gratissimum* L. a présenté une activité inhibitrice importante contre le champignon *Colletotrichum gloeosporioides*. Ainsi, une étude plus approfondie a été conduite pour évaluer son potentiel antifongique et son spectre d'activité sur plusieurs pathogènes de fruits et légumes.

Objectif

Évaluer l'activité antifongique "in vitro" de l'huile essentielle et de l'extrait aqueux de *O. gratissimum* L. contre trois champignons tels que *Colletotrichum gloeosporioides*, *Botrytis cinerea* et *Fusarium oxysporum*, bien connus comme agents de maladies post-récoltes.

Expérimentations

Le matériel végétal de cette étude a été constitué de feuilles et huiles essentielles de *Ocimum gratissimum* L. Le matériel fongique est composé de *Colletotrichum gloeosporioides*, *Botrytis cinerea* et *Fusarium oxysporum*, toutes fournies par des laboratoires partenaires. L'évaluation "in vitro" de l'activité antifongique a été effectuée sur un milieu PDA (Potato Dextrose Agar) au laboratoire de physiologie des fruits et légumes, Avignon université, France.

Principaux résultats

- La décoction de *Ocimum gratissimum* L. a une forte activité inhibitrice sur les trois pathogènes étudiés à partir de la concentration de 60 % (v/v).
- L'huile essentielle de *Ocimum gratissimum* L. a inhibé complètement les trois pathogènes étudiés à partir de la concentration de 750 ppm.
- Les extraits de *Ocimum gratissimum* L. (aqueux et huile essentielle) ont des activités antifongiques de type dose-réponse.

Conclusion

L'huile essentielle de *O. gratissimum* L. se présente comme une alternative intéressante aux produits chimiques dans la lutte contre les pathogènes de la mangue.

“In vitro” antifungal activity of aqueous extract and essential oil of *Ocimum gratissimum* L. against three phytopathogenic fungi (*Colletotrichum gloeosporioides*, *Botrytis cinerea* and *Fusarium oxysporum*)

Authors: Yardjouma Silué^{a,b,d,f*}; Amenan Fanny Akpo^{a,b,d,f*}; Kohi Alfred Kouamé^{b,e}; Charlemagne Nindjin^{b,e}; Kablan Tano^{ef}; Felicie Lopez-Lauri^{a,c,f}.

^aAvignon Université, F-84916 Avignon, France

^bCentre Suisse de Recherche Scientifique en Côte d’Ivoire ;

^cQualisud, Univ Montpellier, CIRAD, Univ d’Avignon, Institut Agro, IRD, Univ de La Réunion, F-34398, Montpellier, France

^eUniversité Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d’Ivoire ;

^fco-authors have jointly supervised the work

E-mail address of corresponding author: silue.yardjouma@univ-na.ci

Abstract

Fruit and vegetables are threatened by several diseases. These diseases are mainly treated with chemicals. However, the latter represents a real danger to human health and the environment. Therefore, this study is part of the search for safe and non-polluting alternatives such as medicinal plants. In the present study, the aqueous extract and essential oil of the medicinal plant *Ocimum gratissimum* L. were tested in vitro against *Botrytis cinerea*, *Colletotrichum gloeosporioides* and *Fusarium oxysporum*. The results show that the essential oil of *Ocimum gratissimum* has significant antifungal activity on the studied strains. It presents an inhibition index of 100% at the concentration of 500 ppm which represents the minimum inhibitory concentration for *B. cinerea* and *C. gloeosporioides*. On the other hand, 750 ppm is required for complete inhibition of *F. oxysporum*. For the aqueous extract, complete inhibition is observed at the 60% concentration for *B. cinerea* and *C. gloeosporioides*. Therefore, the extracts of *Ocimum gratissimum* L. are more effective on *B. cinerea* and *C. gloeosporioides* than *F. oxysporum*. The essential oil and aqueous extract of *Ocimum gratissimum* L. have important antifungal properties for use in the treatment of postharvest diseases of fruits and vegetables that are highly susceptible to attack by *C. gloeosporioides* and *B. cinerea*.

IV1.1. Introduction

Fruit and vegetables have a strong influence on food security and the global economy as they are an essential source of both economic income and nutrients (vitamins, polyphenols, minerals) (Talibi et al. 2012). However, they are susceptible to heavy attack by a variety of pathogenic microorganisms, including bacteria, viruses, and fungi (Montesinos 2003). These plant pathogens can cause considerable economic damage to plant products. The most important plant pathogens are fungi that cause serious diseases in fruit and vegetables during

the different stages of plant growth and after harvest (Chang et al. 2008). Various approaches have been put forward to prevent, control, or eradicate plant diseases. For example, synthetic fungicides are very effective in controlling several post-harvest plant diseases. However, their continuous or repeated use can disrupt the balance of ecosystems (soil, water, and air), lead to serious diseases, the development of pathogens resistant to one or more chemicals, toxicity to non-target organisms (Brown and Wright 2016). In addition, failure to comply with recommended doses results in the accumulation or bioconcentration of residues in the food chain beyond safe limits (Lee et al. 2008). This poses a risk to human and animal health and the environment (Hossain et al. 2010). Therefore, there is a need to develop an alternative control method that is environmentally friendly, sustainable, and efficient for plant disease management. Research is focused on the biological approach to control many plant diseases and overcome the resistance of new mutants to chemical antibiotics (Cragg and Newman 2013). This approach involves balancing a pest population (insects, pathogens) with their natural or antagonistic predators until total elimination of the target pathogen or pest is achieved (Bellows 2001). However, this approach is less effective, especially when large numbers of pests or pathogens are to be eliminated (Droby et al. 2009). Thus, in recent years, the use of medicinal plants (extracts and essential oils), has proven to be efficient against many plant pathogens and is known to be safe for the consumer and the environment (Bautista-Baños et al. 2003; Bussaman et al. 2012; Hernández-Albíter et al. 2007; Talibi et al. 2012). Scientific studies have also revealed that *Ocimum gratissimum* L. has natural substances that can inhibit or kill a wide variety of plant pathogenic fungi, bacteria, insects (Alexander 2016; Dubey et al. 2002; Okigbo and Ogonnaya 2006). *Ocimum gratissimum* L. commonly known as African basil or clove basil belongs to the family Lamiaceae (Nweze and Eze 2009). It is an important aromatic and medicinal plant that grows abundantly in tropical and subtropical regions. The plant has a wide geographical distribution due to its ability to adapt to water deficit (S. Pandey 2017); mineral deficiency (K and Ca), light (Omobolanle Ade-Ademilua et al. 2013; Osuagwu et al. 2010). The uses of *O. gratissimum* L. are quite varied and diverse and depend on the region. For example, in Africa, it is used in traditional medicine to treat diarrhoea, vomiting, pregnancy termination, digestive disorders, dysentery, fever, headaches, abdominal pain, colds and malaria, convulsions (Bariş et al. 2006; Effraim et al. 2003). While in Brazil, it is used as a sedative for children and in the treatment of coughs, bronchitis, sore throat (Freire et al. 2006; Vieira and Simon 2000). In Asia, the plant is used as an anti-inflammatory and in the treatment of influenza (Prajapati et al. 2003). In all regions where *Ocimum gratissimum* L. grows, it is

used as a condiment or flavouring in food to give a specific taste or smell to food. The essential oil and leaves of *O. gratissimum* are traditionally used in folk medicine to flavour foods and prevent spoilage (Matasyoh et al. 2007; Nwankwo et al. 2014). Extracts of *O. gratissimum* L., especially the essential oil, have important properties. These include antioxidant (Adeola et al. 2014; Kouassi et al. 2018), antimalarial (Ileke and Adesina 2019), antimicrobial (Faria et al. 2006); insecticide (Benelli et al. 2019). These properties of *O. gratissimum* L. are thought to result from its diversity in bioactive compounds composition (Chetia et al. 2014; Nwanjo and Oze 2007). The present study was carried out to investigate the "in vitro" antifungal activity of the essential oil and aqueous extract of *O. gratissimum* L. against three fungi such as *Colletotrichum gloeosporioides*, *Botrytis cinerea* and *Fusarium oxysporum* which are well known as causal agents of post-harvest diseases.

IV.1.2. Material and methods

IV.1.2.1 Plant material

Fresh leaves of *Ocimum gratissimum* L. were collected in Dabou located on the outskirts of Abidjan, Côte d'Ivoire, and sent for identification to the botany laboratory, Department of Natural Sciences, Nangui Abrogoua University. The leaves were carefully washed with tap water and air-dried in the shade at 16-18°C for 7 days. The dried leaf samples were ground to powder using an electronic grinder. They were then placed and sealed in polyethylene jars and taken to the laboratory of fruit and vegetable physiology, University of Avignon, France. The powdered samples were stored at 4 °C until further use. The essential oil of *O. gratissimum* L., commercially known as "Oshadi basil pungent *Ocimum gratissimum*", was purchased from the local supermarket in the city of Avignon, southern France.

IV.1.2.2 Fungal material

The fungal material consisted of three phytopathogenic fungi including *Colletotrichum gloeosporioides*, *Botrytis cinerea* and *Fusarium oxysporum*. The strains of *C. gloeosporioides* and *F. oxysporum* were provided by CIRAD, Montpellier and the University of Montpellier, France, respectively. The *Botrytis cinerea* strain was provided by INRAE Monfavet, Avignon, France. Each fungus was grown for at least 7 days and stored at 4°C until use.

IV.1.2.3 Preparation of the aqueous extract

The crude aqueous extracts of *Ocimum gratissimum* L. leaves were reconstituted to a concentration of 10 % (w/v). Thus, 100 g of powder was added to 1000 mL of ultrapure water (milli-Q) in an 1800 mL glass bottle. The mixture was autoclaved at 121 °C for 20 minutes.

After cooling, triple filtration was performed using Whatman No1 filter paper, sterile cheesecloth folds and cotton. The filtrate obtained (aqueous extract) was used to evaluate the antifungal activity tests. All filtration equipment was autoclaved to avoid bacterial contamination and aseptic conditions were ensured by a 0.42 m/s extractor hood.

IV.1.2.4 Preparation of the fungal suspension

The spore suspension was prepared from strains at least seven days old. For each fungus, a portion of the fungal shoot was removed and suspended in 1 mL of saline (Babysoin, Cooper Laboratory) contained in a 1.5 ml Eppendorf tube. The suspension was vortexed and 5 µl was poured onto a haemocytometer (Malassez cell) for counting under a light microscope. The spore concentration was adjusted to 10⁶ cells/ml of the suspension by dilution with saline.

IV.1.2.5 *In vitro* determination of the antifungal activity of aqueous extracts and essential oil against the mycelial growth of three fungi

The “*in vitro*” antifungal assays were performed using the **Schmitz** poisoned food technique (Schmitz 1930) as described by Bussaman et al. (2012) with slight modifications. The extract was added directly to the Potato Dextrose Agar (PDA) medium previously prepared following the manufacturer's instructions. The concentrations of 30%, 40%, 50%, 60% and 70% (v/v) were constituted for the aqueous extract and the concentrations of 250, 500 and 750 ppm for the essential oil. To facilitate the miscibility of the essential oil in the PDA medium, 0.05% Tween 80 was added. The mixture was then stirred manually to obtain a homogeneous medium. For each concentration, approximately 20 mL of the hot mixture (45-50 °C) was poured into sterile Petri dishes under an extractor hood (0.42 m/s). After solidification, 5 µL of fungal suspension (10⁶ cells/mL) was aseptically deposited in the centre of each Petri dish with sterilised zone treatments using a Bunsen burner. The same procedure was used for the control experiments except the PDA medium was prepared exclusively with ultrapure water (the essential oil control contains Tween 80 (0.05%)). For each concentration, the experiments were performed in five replicates and the experiment was repeated twice. The inoculated Petri dishes were sealed with adhesive parafilm and incubated at 30 °C for seven days. Every 24 hours, pictures of the incubated dishes were taken, and the mycelial growth area was measured using ImageJ software. Fungal susceptibility was calculated as the percentage of radical growth inhibition compared to the control using the following formula (Kwazou et al. 2009):

$$\text{PGI} = \frac{C_{\text{moy}} - T}{C_{\text{moy}}} \times 100$$

Where: PGI = Percentage of growth inhibition (%); C_{moy} = average surface area of pathogen growth in the control plate; T = average surface area of pathogen growth in the treated plate.

IV.1.2.6 Minimum inhibitory concentration and minimum fungicidal concentration

The nature of the toxicity (fungistatic/fungicidal) of the oil and aqueous extract was determined following Thompson (1989). For concentrations where there is no mycelium growth, the inoculum deposited in their discs was re-inoculated into a fresh PDA medium without plant extracts. The renewed growth expresses a fungistatic effect (MIC) and the absence of growth means that the plant extracts have a fungicidal effect at this concentration (FMC).

IV.1.2.7 Effect of essential oil and aqueous extract on germination

To evaluate the effect of the treatment on spore germination, Potato Dextrose Broth (PDB) was used following the method of Tian et al. (2002) with some modifications. Different concentrations of essential oil and aqueous extract were prepared as described above except for the PDA medium replaced by Potato Dextrose Broth. A 5 μ L suspension (8.10^6 spores/mL) of each fungus was added separately to 95 μ L of each sample in an Eppendorf tube. Five replicates per concentration were performed simultaneously and incubation was performed at 30°C. After 6, 24, 48 and 72 hours, the germination rate was determined using a haemocytometer and a light microscope. Germination was recorded when the germ tube could be identified.

IV.1.2.8 Statistical analysis

Data were subjected to analysis of variance (ANOVA) to determine any differences between the treatments. The significant difference was assessed using Tukey's adjustment for multiple comparisons at $P \leq 0.05$. For non-parametric data, a Kruskal-Wallis test with Bonferroni adjustment for multiple comparisons was used to determine differences ($P \leq 0.05$) between means. Statistical analysis was performed using RStudio software.

IV.1.3. Results and discussion

Post-harvest diseases control using plant extracts is a promising alternative method for post-harvest product management and ensures unique health (human and animal health and environment). The fungicidal activity of some plant extracts to control different plant pathogens has been reported by several authors (Adepoju et al. 2014; Chávez-Quintal et al. 2011; Gwa VI and Nwankiti 2017). This work aims to investigate the antifungal potential of *Ocimum gratissimum* L. (aqueous extract and essential oil) for use as a natural fungicide in the treatment of postharvest diseases of fruits and vegetables such as mango, tomato, and banana.

IV.1.3.1 In vitro effect of essential oil on mycelial growth of *C. gloeosporioides*, *B. cinerea* and *Fusarium oxysporum*

Fig. 1 shows the effect of the essential oil of *O. gratissimum* L. on the three phytopathogenic fungi in the "in vitro" test. The results revealed that the essential oil of *O. gratissimum* has strong antifungal activity against *C. gloeosporioides* (causal agent of anthracnose in mango), *B. cinerea* (grey mould in tomato and mango) and *F. oxysporum* (fusarium wilt in tomato, banana). This antifungal activity increases with concentration and decreases with the incubation time. The antifungal activity of *O. gratissimum* L. could be associated with its phytochemical composition. According to the literature, the bioactive compounds in the essential oil of *O. gratissimum* L. are mainly thymol, carvacrol, citral, eugenol, geraniol, and linalool (Kobenan et al. 2018; Koffi et al. 2013; S. Pandey 2017). Yet the antimicrobial properties of some of these compounds have been widely demonstrated such as eugenol (Rizvi et al. 2014); thymol (Chillet et al. 2019; Soro et al. 2011) or linalool (Pandey et al. 2014). Furthermore, the efficacy of the essential oil depends on the fungal pathogen. The essential oil of *O. gratissimum* L. was found to be more active on *C. gloeosporioides* and *B. cinerea* than on *F. oxysporum*. Moreover, the decrease of the inhibitory effect with time could be due to the volatilisation of the active compounds. Therefore, *O. gratissimum* L. has a dose-response antifungal activity as a function of time. The diversity and variability of the chemical composition of *O. gratissimum* L. give it a high antifungal potential and helps to reduce pathogen resistance to treatment. The essential oil of *O. gratissimum* L. had an LD₅₀ of 1750 mg/kg body weight (Fandohan et al. 2008).

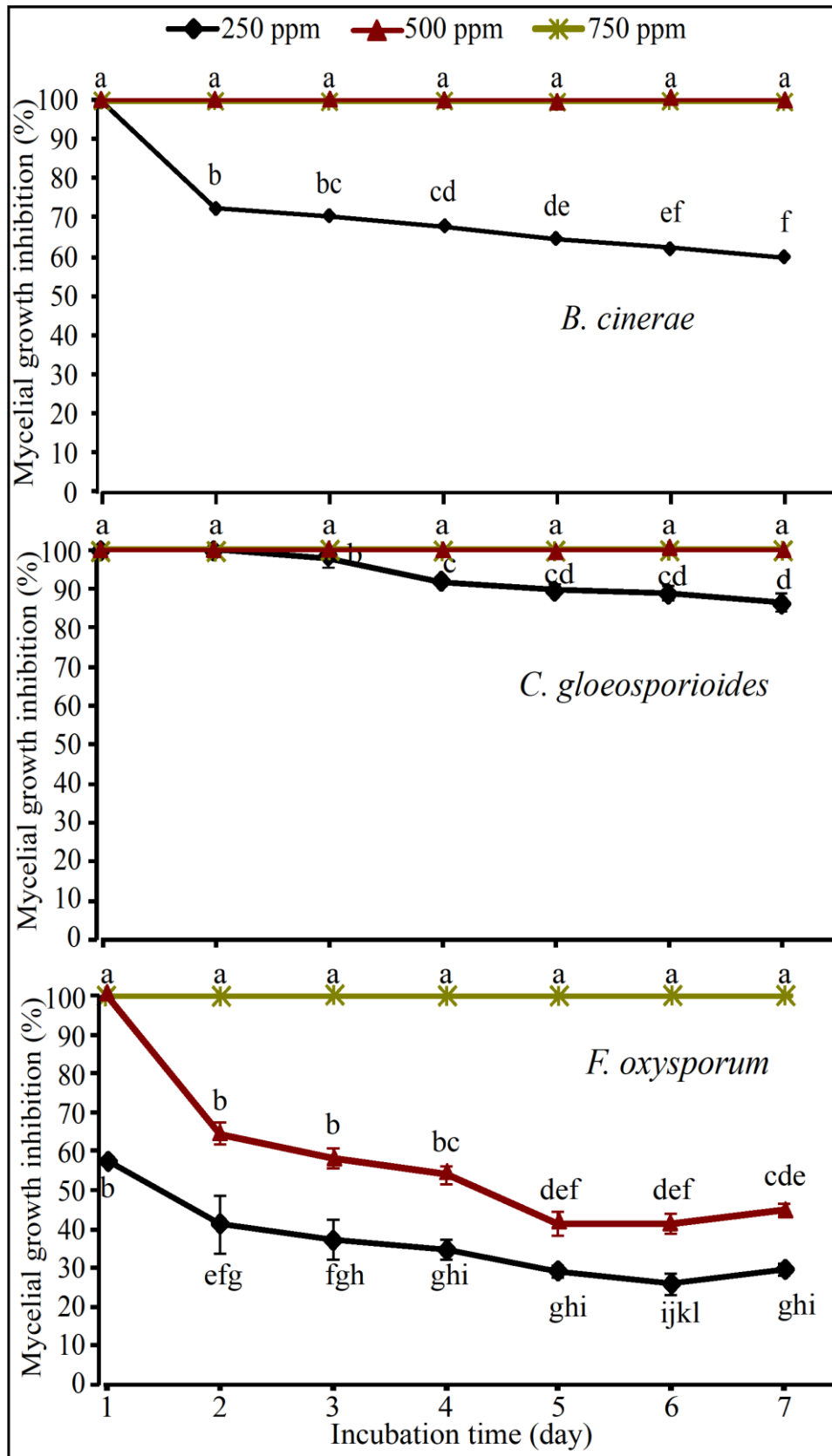


Fig. 1: Antifungal activity of *Ocimum gratissimum* L. essential oil on the mycelial growth of *B. cinerea*, *C. gloeosporioides* and *F. oxysporum* during incubation. Different letters indicate a significant difference at P<0.05

IV.1.3.2 In vitro effect of an aqueous extract on the growth of mycelia of *Colletotrichum gloeosporioides*, *Botrytis cinerea* and *Fusarium oxysporum*

The aqueous extract caused inhibition of the mycelial growth of *B. cinerea*, *C. gloeosporioides* and *F. oxysporum* (**Fig. 2**). The activity of the aqueous extract on the three pathogens varied according to the concentrations and decreases with the incubation period. Furthermore, the efficacy of the aqueous extract depends on the fungal pathogen. Thus, the inhibition rates of *B. cinerea* vary from 57.98 ± 1.06 to 100 %. While the inhibition rates of *C. gloeosporioides* and *F. oxysporum* vary from 22.37 ± 0.66 to 100 % and from 49.37 ± 2.75 to 96.4 ± 0.25 %, respectively. The rate of loss of treatment activity on *C. gloeosporioides* is higher than that of the other pathogens. The aqueous extract is thought to be composed of monoterpenes and sesquiterpenes which can induce antifungal effects by establishing hydrogen bonds with the active sites of target enzymes (Mohr et al. 2017). Thus, the antifungal activity of the aqueous extract would be related to monoterpenes and sesquiterpenes that possess aromatic rings and phenolic groups. Nevertheless, regardless of the main compound of the extract or essential oil, the summation of the effects or the synergy of the properties of the different components would be responsible for the antimicrobial potential of *Ocimum gratissimum* L. It has been reported that the aqueous extract of *O. gratissimum* L. has an LD₅₀ of 4242.64 mg/kg body weight (Okon et al. 2012).

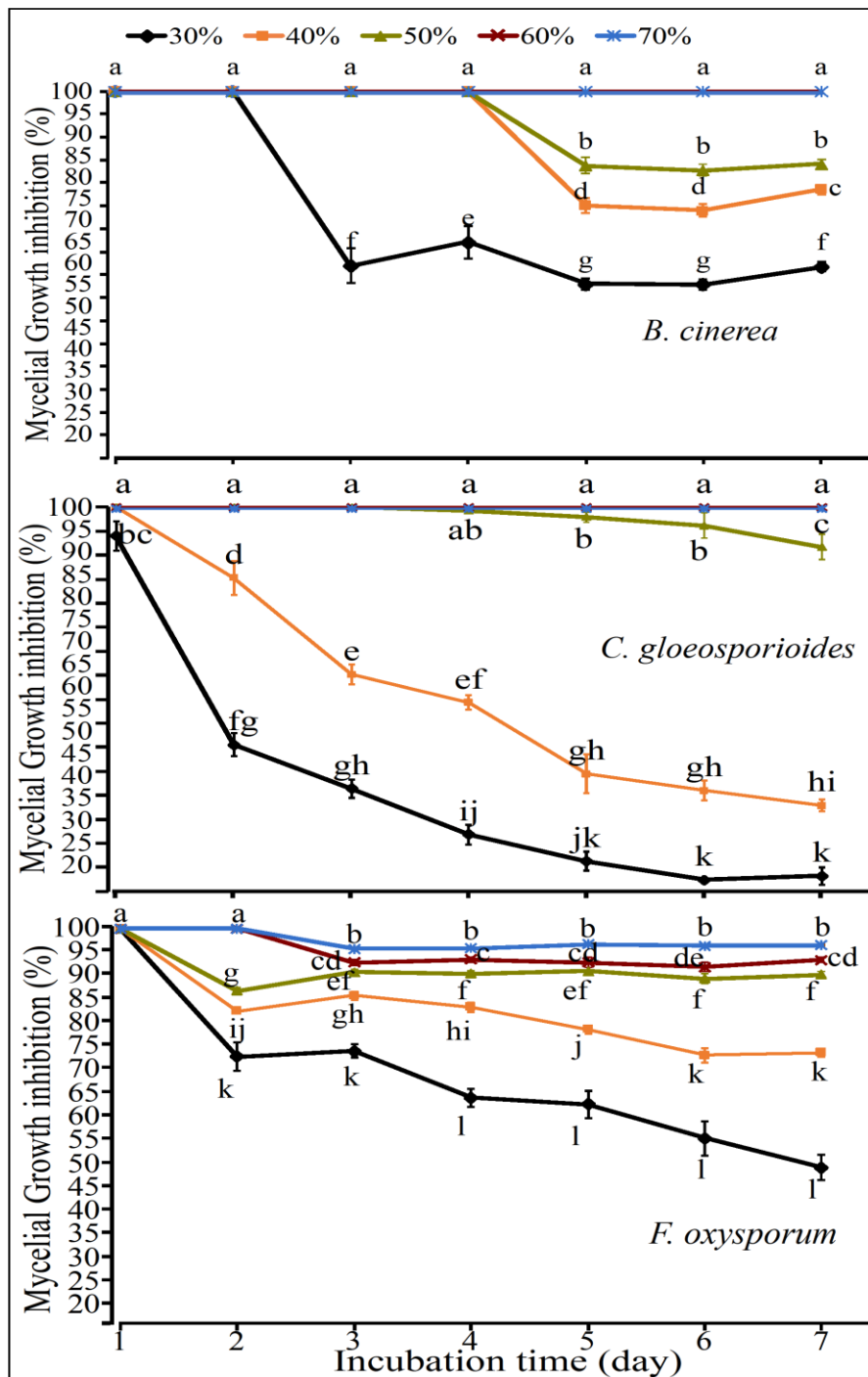


Fig. 2: Antifungal activity of aqueous extract of *Ocimum gratissimum* L. on the mycelial growth of *B. cinerea*, *C. gloeosporioides* and *F. oxysporum* during incubation. Different letters indicate a significant difference at $P < 0.05$.

IV.1.3.3 Sensitivity of three pathogens to the aqueous extract and essential oil of *O. gratissimum* L.

For all concentrations, the essential oil reduced the mycelial growth of *C. gloeosporioides* and *B. cinerea* by more than 50 % after seven days. In contrast, for *F. oxysporum*, mycelial growth was inhibited to less than 50 % except for the 750-ppm concentration which completely reduced

growth (100 %) after 7 days (**Fig. 3**). This is an indicator that *F. oxysporum* is more resistant to essential oil than other pathogens. The aqueous extract completely inhibited the mycelial growth of *B. cinerea* and *C. gloeosporioides* from the 60 % (v/v) concentration. While any concentration used in this study was able to completely stop the mycelial growth of *F. oxysporum*. This observation strengthens the idea that the pathogen of *F. oxysporum* is more resistant to the extracts of *O. gratissimum* L. Globally, the three pathogens are more sensitive to essential oil than aqueous extract. This suggests that essential oil is more concentrated in active compounds than the aqueous extract.

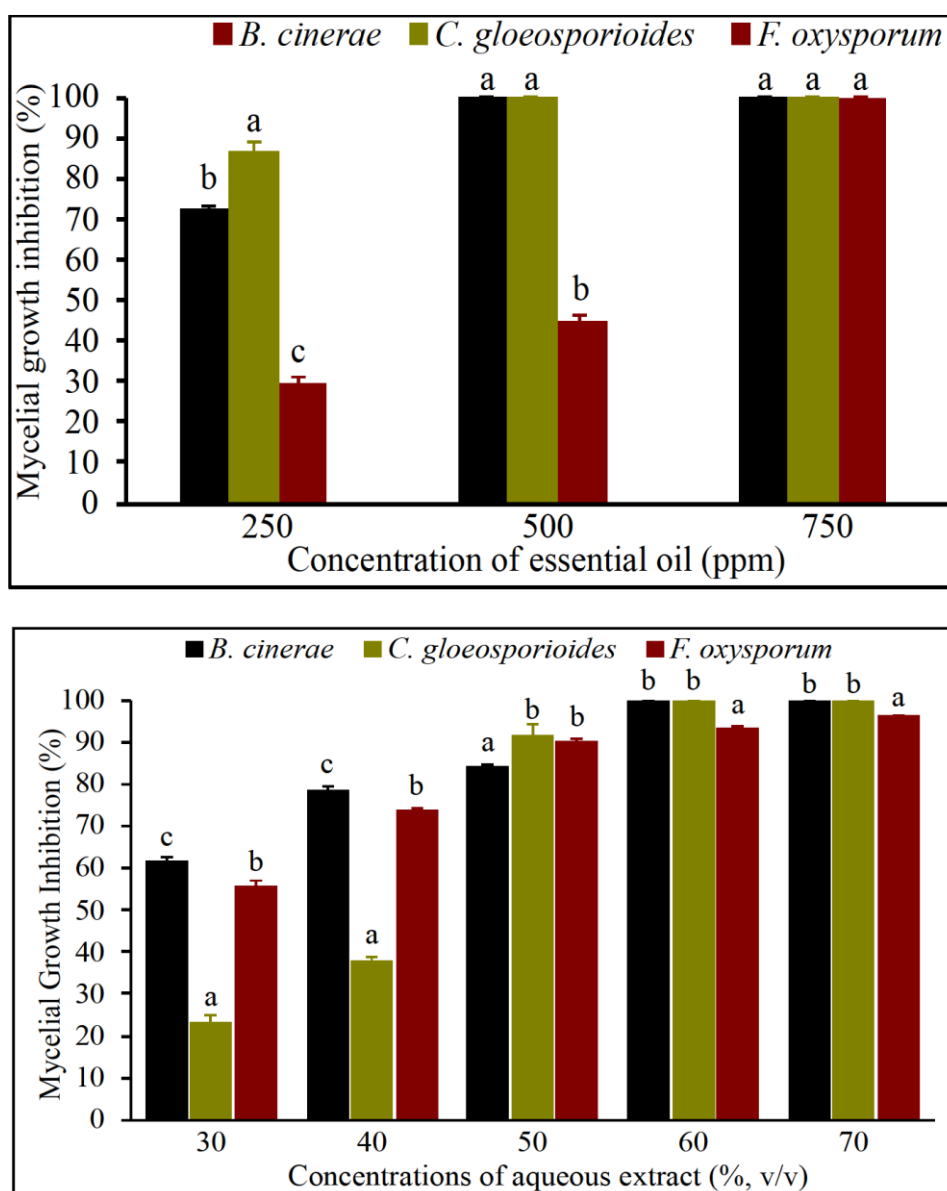


Fig. 3: Sensitivity of the three pathogens to essential oil and aqueous extract of *Ocimum gratissimum* L after seven days of incubation. Different letters indicate a significant difference at $P < 0.05$

IV.1.3.4 Antifungal parameters of the aqueous extract and essential oil of *O. gratissimum* L.

Regardless of the pathogen, the antifungal activity of *O. gratissimum* L. (aqueous extract and essential oil) was strongly correlated with concentration (**Table 1**). The minimum concentration required to completely inhibit the mycelial growth of *C. gloeosporioides* or *Botrytis cinerea* is equal to that which definitively eliminates the strain with both the aqueous extract and the essential oil. This suggests that *O. gratissimum* L. extracts have the same mode of action on *B. cinerea* and *C. gloeosporioides*. The concentrations of 500 ppm of the essential oil and 60 % of aqueous extract completely inhibited the mycelial growth of *C. gloeosporioides* and *B. cinerea* over the incubation time. Thus, the minimum inhibitory concentration (MIC) of the essential oil obtained in this study is 500 ppm for the mycelial growth of *C. gloeosporioides* and *B. cinerea*. However, other workers such as Kouamé et al. (2015) found 1000 ppm of essential oil of *O. gratissimum* L. from Ivory Coast as MIC. While Anaruma et al. (2010) reported 2000 ppm of essential oil of *O. gratissimum* L. from Brazil against the mycelial growth of *C. gloeosporioides*. While, for the pathogen *F. oxysporum*, the minimum inhibitory concentration of the essential oil found in our work is 750 ppm. This disagrees with Soro et al. (2011) who indicated 250 ppm as the minimum inhibitory concentration of the *O. gratissimum* L. essential oil for the mycelial growth of *F. oxysporum*. These differences can be explained by the chemical composition of the plant, which in turn is related to several other factors. These factors are among others the age of the plant at harvest, the extraction solvent, the extraction method, the climatic conditions of cultivation, the geographical location, the time of harvest, the part of the plant harvested (**Bautista-Baños et al. 2003; Okigbo 2005**). The work of Kobenan et al. (2018) and Koffi et al. (2013) revealed that para-cymene, γ -terpene and especially thymol are the main compounds in the essential oil of *O. gratissimum* L. from Côte d'Ivoire. Yet, the essential oil used in this study was extracted from *O. gratissimum* from India, which is mainly rich in Eugenol, Linalool, Germacrene-D, cis-beta-Ocimene according to the manufacturer (Oshadhi, India).

Table 1: Antifungal parameters of the aqueous extract and essential oil of *O. gratissimum* on the mycelial growth of the different pathogens studied

		Pathogens		
		<i>B. cinerea</i>	<i>C. gloeosporioides</i>	<i>F. oxysporum</i>
Aqueous extract	MIC (% , v/v)	60	60	-
	MFC (% , v/v)	60	60	-
	<i>r</i>	0.96	0.93	0.96
Essential oil	MIC (ppm)	500	500	750
	MFC (ppm)	500	500	-
	<i>r</i>	0.84	0.95	0.96

r: Spearman's Rho. MIC: minimum inhibitory concentration; MFC: minimum fungicidal concentration.

IV.1.3.5 Effect of plant extracts on pathogen germination

Table 2 shows the results of the effect of the different extracts of *O. gratissimum* L. on the germination of the three pathogens. The results show that the aqueous extract and the essential oil have inhibitory properties against the germination of the pathogens used in this work. This inhibitory activity increases with the concentrations and decreases with the incubation time. On the germination of *C. gloeosporioides*, from the concentration of 40 % (v/v) of aqueous extract and 500 ppm of essential oil, the inhibition is complete (100 %) after 6h of incubation. However, after 48h of incubation, the inhibition rate was recorded below 50 % and even null for the 30% and 40% (v/v) concentrations. Only the concentration of 750 ppm completely stopped the germination of *C. gloeosporioides*. This observation implies that *O. gratissimum* L. essential oil may use as a fungicide at the concentration of 750 ppm. For *Botrytis cinerea* and *Fusarium oxysporum*, during the first two days (24h and 48h), no germination was observed even in the control tube. Furthermore, the results revealed that the inhibition of germination of *B. cinerea* and *F. oxysporum* was complete during the whole incubation period at all concentrations of essential oil and aqueous extract (except for 30 %).

Table 2: Influence of aqueous extract and essential oil of *O. gratissimum* L. on the germination of *B. cinerae*, *C. gloeosporioides* and *F. oxysporum*

		<i>Pathogens</i>											
		<i>Botrytis cinerae</i>				<i>Fusarium oxysporum</i>				<i>C. gloeosporioides</i>			
Plant extracts	Dose	6h	24h	48h	72h	6h	24h	48h	72h	6h	24h	48h	72h
Aqueous extract (%, v/v)	30	-	-	-	0,00a	-	-	-	0,00a	26,32±9,12bc	17,51±2,93e	0,00e	-
	40	-	-	-	100b	-	-	-	100b	100a	34,00±3,69d	0,00e	-
	50	-	-	-	100b	-	-	-	100b	100a	48,69±6,97d	4,80±4,76d	-
	60	-	-	-	100b	-	-	-	100b	100a	85,31±4,00c	31,20±3,11c	-
	70	-	-	-	100b	-	-	-	100b	100a	96,70±2,53b	46,80±6,38bc	-
Essential oil (ppm)	250	-	-	-	100b	-	-	-	100b	83,40±3,79b	4,4±2,07f	0,00e	-
	500	-	-	-	100b	-	-	-	100b	100a	97±0,71b	88,40±2,88ab	-
	750	-	-	-	100b	-	-	-	100b	100a	100a	100a	-

Values affected by the same letter are not significantly different ($P < 0.05$).

IV.1.4. Conclusion

From the results of this study, it can be concluded that the aqueous extract and the essential oil of *Ocimum gratissimum* L. have strong antifungal activities against *Colletotrichum gloeosporioides*, *Botrytis cinerea* and *Fusarium oxysporum*. Furthermore, our results showed that the essential oil is more effective as an antifungal agent than the aqueous extract. This study also shows that *C. gloeosporioides* and *B. cinerea* are more susceptible than *F. oxysporum*. Therefore, essential oil and aqueous extract of *O. gratissimum* L. can be suggested as a valid alternative to control mango anthracnose (caused by *C. gloeosporioides*) and tomato grey mould (caused by *B. cinerea*).

Conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

Acknowledgements

This project is financed by the Ministry of Education and Research of Côte d'Ivoire, within the framework of the Debt Reduction and Development Contracts (C2D) managed by the IRD (National Institute of Research for Sustainable Development).

IV.1.5. References

- Adeola, S. A., Folorunso, O. S., Okedeyi, O. O., Ogungbe, B. F., Babatimehin, O. B., & Thanni, O. Z. (2014). Antioxidant and Antimicrobial Activities of the Volatile Oil of *Ocimum gratissimum* and its Inhibition on Partially Purified and Characterized Extracellular Protease of *Salmonella enteritidis* - SciAlert Responsive Version. *American Journal of Drug Discovery and Development*, 4(3), 180–193. <https://doi.org/10.3923/ajdd.2014.180.193>
- Adepoju, A. O., Joseph, O. A. T., & Grace, F.-A. A. (2014). Antifungal activities of seed oil of neem (*Azadirachta indica* A. Juss.). *Global Journal of Biology, Agriculture & Health Sciences*, 3(1), 106–109.
- Alexander, P. (2016). Phytochemical Screening and Mineral Composition of the Leaves of *Ocimum gratissimum* (Scent Leaf). *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, 4(2), 161–165. <https://doi.org/10.3126/ijasbt.v4i2.15101>
- Anaruma, N. D., Schmidt, F. L., Duarte, M. C. T., Figueira, G. M., Delarmelina, C., Benato, E. A., & Sartoratto, A. (2010). Control of *Colletotrichum gloeosporioides* (penz.) Sacc. In yellow passion fruit using *Cymbopogon citratus* essential oil. *Brazilian Journal of Microbiology*, 41(1), 66–73. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822010000100012>

- Bariş, Ö., Gulluce, Sahin, F., Ozer, H., Kilic, H., Ozkan, et al. (2006). Biological Activities of the Essential Oil and Methanol Extract of *Achillea biebersteinii* Afan. (Asteraceae). *Turkish Journal of Biology*, 30, 65–73.
- Bautista-Baños, S., Hernández-López, M., Bosquez-Molina, E., & Wilson, C. L. (2003). Effects of chitosan and plant extracts on growth of *Colletotrichum gloeosporioides*, anthracnose levels and quality of papaya fruit. *Crop Protection*, 22(9), 1087–1092. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(03\)00117-0](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(03)00117-0)
- Bellows, T. S. (2001). Restoring Population Balance through Natural Enemy Introductions. *Biological Control*, 21, 199–205. <https://doi.org/10.1006/bcon.2001.0936>
- Benelli, G., Pavela, R., Maggi, F., Nkuimi Wandjou, J. G., Yvette Fofie, N. G. B., Koné-Bamba, D., et al. (2019). Insecticidal activity of the essential oil and polar extracts from *Ocimum gratissimum* grown in Ivory Coast: Efficacy on insect pests and vectors and impact on non-target species. *Industrial Crops and Products*, 132, 377–385. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.02.047>
- Brown, E. D., & Wright, G. D. (2016). Antibacterial drug discovery in the resistance era. *Nature*, 529(7586), 336–343.
- Bussaman, P., Namsena, P., Rattanasena, P., & Chandrapatya, A. (2012). Effect of Crude Leaf Extracts on *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Sacc. *Psyche: A Journal of Entomology*, 2012, 1–6.
- Chang, H., Cheng, Y., Wu, C., Chang, S., Chang, T., & Su, Y. (2008). Antifungal activity of essential oil and its constituents from *Calocedrus macrolepis* var. *formosana* Florin leaf against plant pathogenic fungi. *Bioresource Technology*, 99(14), 6266–6270. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.12.005>
- Chávez-Quintal, P., González-Flores, T., Rodríguez-Buenfil, I., & Gallegos-Tintoré, S. (2011). Antifungal Activity in Ethanolic Extracts of *Carica papaya* L. cv. Maradol Leaves and Seeds. *Indian Journal of Microbiology*, 51(1), 54–60. <https://doi.org/10.1007/s12088-011-0086-5>
- Chetia, J., Upadhyaya, S., & Saikia, L. R. (2014). Phytochemical Analysis, Antioxidant and Antimicrobial Activity and Nutrient Content analysis of *Ocimum gratissimum* linn. From dibrugarh, N.E. India. *Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res.*, 25(1), 229–235.
- Chillet, M., Minier, J., Hoarau, M., & Meile, J.-C. (2019). Potential use of thymol to control anthracnose development in mango. *European Journal of Plant Pathology*, 155(3), 943–952. <https://doi.org/10.1007/s10658-019-01825-9>

- Cragg, G. M., & Newman, D. J. (2013). Natural products: A continuing source of novel drug leads. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects*, 1830(6), 3670–3695. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2013.02.008>
- Droby, S., Wisniewski, M., Macarisin, D., & Wilson, C. (2009). Twenty years of postharvest biocontrol research: Is it time for a new paradigm? *Postharvest Biology and Technology*, 52(2), 137–145. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.11.009>
- Dubey, N. K., Tiwari, T. N., Mandin, D., Andriamboavonjy, H., & Chaumont, J.-P. (2002). Antifungal proprieties of ocimum gratissimum essential oil (ethyl cinnamate chemotype). *Fitoterapia*, 71, 567–569.
- Effraim, K. D., Jacks, T. W., & Sadipo, O. A. (2003). Histopathological studies on the toxicity of Ocimum gratissimum leave extract on some organs of rabbit. *African Journal of Biomedical Research*, 6, 21–25. <https://doi.org/10.4314/ajbr.v6i1.54018>
- Fandohan, P., Gnonlonfin, B., Laleye, A., Gbenou, J. D., Darboux, R., & Moudachiroub, M. (2008). Toxicity and gastric tolerance of essential oils from Cymbopogon citratus, Ocimum gratissimum and Ocimum basilicum in Wistar rats. *Food and Chemical Toxicology*, 46, 2493–2497. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.04.006>
- Faria, T. de J., Ferreira, R. S., Yassumoto, L., Souza, J. R. P. de, Ishikawa, N. K., & Barbosa, A. de M. (2006). Antifungal activity of essential oil isolated from Ocimum gratissimum L. (eugenol chemotype) against phytopathogenic fungi. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 49(6), 867–871. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132006000700002>
- Freire, C. M. M., Marques, M. O. M., & Costa, M. (2006). Effects of seasonal variation on the central nervous system activity of Ocimum gratissimum L. essential oil. *Journal of Ethnopharmacology*, 105(1), 161–166. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.10.013>
- Gwa VI, & Nwankiti, A. (2017). Efficacy of Some Plant Extracts in In Vitro Control of Colletotrichum Species, Causal Agent of Yam (Dioscorea rotundata Poir) Tuber Rot. *Asian Journal of Plant Science and Research*, 7(2), 8–16.
- Hernández-Albíter, R. C., Barrera-Necha, L. L., Bautista, S., Bravo-Luna, L., & Cp, M. (2007). Antifungal Potential of Crude Plant Extracts on Conidial Germination of Two Isolates of Colletotrichum gloeosporioides (Penz.) Penz. and Sacc. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 25(2), 124–130.
- Hossain, M. A., Kabir, M. J., Salehuddin, S. M., Rahman, S. M. M., Das, A. K., Singha, S. K., et al. (2010). Antibacterial properties of essential oils and methanol extracts of sweet

- basil *Ocimum basilicum* occurring in Bangladesh. *Pharmaceutical biology*, 48(5), 504–511.
- Ileke, K. D., & Adesina, J. M. (2019). Toxicity of *Ocimum basilicum* and *Ocimum gratissimum* Extracts against Main Malaria Vector, *Anopheles gambiae* (Diptera: Culicidae) in Nigeria. *Journal of Arthropod-Borne Diseases*, 13(4), 362–368.
- Kobenan, K. C., Tia, V. E., Ochou, G. E. C., Kouakou, M., Bini, K. K. N., Dagnogo, M., et al. (2018). Comparaison du potentiel insecticide des huiles essentielles de *Ocimum gratissimum* L. et de *Ocimum canum* Sims sur *Pectinophora gossypiella* Saunders (Lepidoptera : Gelechiidae), insecte ravageur du cotonnier en Côte d’Ivoire. *European Scientific Journal*, 14(286–301). <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n21p286>
- Koffi, A. M., Tonzibo, Z. F., Delort, L., Ruiz, N., Caldefie-Chézet, L., & Chalchat, J. C. (2013). Corrélation entre la composition chimique et l’activité antifongique des huiles essentielles à prédominance thymol sur *Candida albicans* et *Aspergillus fumigatus*. *Phytothérapie*, 11(2), 134–139. <https://doi.org/10.1007/s10298-013-0767-9>
- Kouamé, K. G., Kouassi, K. N., Kassi, F. M., BOLOU, B. B. A., Tuo, S., Kanko, C., & Koné, D. (2015). Antifungal Activity of Essential Oils Extracted from *Monodora myristica* (Gaertn), *Ocimum gratissimum* L. and *Zingiber officinalis* Roscoe on Post-harvest Anthracnose of Mango Fruit (*Mangifera indica* L.) Variety Kent in Côte d’Ivoire. *International Journal of Sciences*, 1(11), 8–18.
- Kouassi, E. K., Ouattara, S., Seguin, C., Fournel, S., & Frisch, B. (2018). Etude De Quelques Propriétés Biologiques De *Ocimum Gratissimum* L., Une Lamiaceae Recoltee A Daloa (Côte d’Ivoire). *European Scientific Journal*, 14(3), 477. <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n3p477>
- Kwazou, N. I., Dongmo, P. M. J., Ngoune, L. T., Sameza, M. I., Dongmo, B. M., Zollo, P. H. A., & Menut, C. (2009). Propriétés antifongiques des huiles essentielles de quelques plantes du genre *Aframomum* du Cameroun contre *Aspergillus flavus*. *Cameroon Journal of Experimental Biology*, 5(1), 44–51. <https://doi.org/10.4314/cajeb.v5i1.44456>
- Lee, Y.-S., Kim, J., Shin, S.-C., Lee, S.-G., & Park, I.-K. (2008). Antifungal activity of Myrtaceae essential oils and their components against three phytopathogenic fungi. *Flavour and Fragrance Journal*, 23(1), 23–28. <https://doi.org/10.1002/ffj.1850>
- Matasyoh, L. G., Matasyoh, J. C., Wachira, F. N., Kinyua, M. G., Muigai, T., & Mukiyama, T. K. (2007). Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Ocimum gratissimum* L. growing in Eastern Kenya. *Afr. J. Biotechnol.*, 6, 760–765.

- Mohr, F. B. M., Lermen, C., Gazim, Z. C., Gonçalves, J. E., & Alberton, O. (2017). Antifungal activity, yield, and composition of *Ocimum gratissimum* essential oil. *Genetics and Molecular Research*, 16(1), 1–10. <https://doi.org/10.4238/gmr16019542>
- Montesinos, E. (2003). Development, registration and commercialization of microbial pesticides for plant protection. *International Microbiology*, 6(4), 245–252. <https://doi.org/10.1007/s10123-003-0144-x>
- Nwanjo, H. U., & Oze, G. O. (2007). Hypolipidaemic And Antioxidant Properties Of *Ocimum gratissimum* On Diabetic Rats. *Plant Products Research Journal*, 11(1), 1–4.
- Nwankwo, C. S., Ebenezer, I. A., Ikpeama, A. I., & Asuzu, F. O. (2014). The nutritional and anti - nutritional values of two culinary herbs – uziza leaf (*piper guineense*) and scent leaf (*ocimum gratissimum*) popularly used in Nigeria. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5(12), 1160–1163.
- Nweze, E. I., & Eze, E. E. (2009). Justification for the use of *Ocimum gratissimum* L in herbal medicine and its interaction with disc antibiotics. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 9(1), 37. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-9-37>
- Okigbo, R. N. (2005). Biological control of postharvest fungal rot of yam (*Dioscorea* spp.) with *Bacillus subtilis*. *Mycopathologia*, 159(2), 307–314. <https://doi.org/10.1007/s11046-004-2454-8>
- Okigbo, R. N., & Ogonnaya, U. O. (2006). Antifungal effects of two tropical plant leaf extracts (*Ocimum gratissimum* and *Aframomum melegueta*) on postharvest yam (*Dioscorea* spp.) rot. 5 (9) :727-731. *African Journal of Biotechnology*, 5(9), 727–731.
- Okon, U. A., Owo, D. U., Udokang, N. E., Udobang, J. A., & Ekpenyong, C. E. (2012). Oral Administration of Aqueous Leaf Extract of *Ocimum Gratissimum* Ameliorates Polyphagia, Polydipsia and Weight Loss in Streptozotocin-Induced Diabetic Rats. *American Journal of Medicine and Medical Sciences*, 2(3), 45–49. <https://doi.org/10.5923/j.ajmms.20120203.04>
- Omobolanle Ade-Ademilua, E., Obi, H. O., & Craker, L. E. (2013). Growth and Essential Oil Yield of African Basil, *Ocimum gratissimum*, under Light and Water Stress. *Journal of Medicinally Active Plants*, 1(4), 143–149. <https://doi.org/10.7275/R59W0CD7>
- Osuagwu, G. G. E., Edeoga, H., & Osuagwu, A. (2010). The influence of water stress (Drought) on the mineral and vitamin potential of the leaves of *Ocimum gratissimum* L. *Recent Research in Science and Technology*, 2(2), 27–33.

- Pandey, A.K, Singh, P., & Tripathi, N. N. (2014). Chemistry and bioactivities of essential oils of some *Ocimum* species: an overview. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 4(9), 682–694. <https://doi.org/10.12980/APJTB.4.2014C77>
- Pandey, S. (2017). Phytochemical constituents, pharmacological and traditional uses of *Ocimum gratissimum* L in tropics. *Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences*, 4(11), 4234–4242. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.1056925>
- Prajapati, N. D. 178354, Purohit, S. S. 178355, Sharma, S. S. 178356, & Kumar, T. 178357. (2003). *A handbook of medicinal plants: a complete source book*. Jodhpur (India) Agrobios. <https://bit.ly/3tMgP6z>. Accessed 24 January 2022
- Rizvi, A. H., Khan, M. M. A. A., Verma, P. C., & Saxena, G. (2014). Biochemical Activity of *Ocimum gratissimum* Essential Oil Against Fruit-Rotting Fungi *Penicillium expansum* and *Penicillium digitatum*. In R. N. Kharwar, R. S. Upadhyay, N. K. Dubey, & R. Raghuwanshi (Eds.), *Microbial Diversity and Biotechnology in Food Security* (pp. 343–348). New Delhi: Springer India. https://doi.org/10.1007/978-81-322-1801-2_30
- Soro, S., Abo, K., Kone, D., Coffi, K., & Kouadio, J. Y. (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.
- Talibi, I., Askarne, L., Boubaker, H., Boudyach, E. H., Msanda, F., Saadi, B., & Ait Ben Aoumar, A. (2012). Antifungal activity of some Moroccan plants against *Geotrichum candidum*, the causal agent of postharvest citrus sour rot. *Crop Protection*, 35, 41–46. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.12.016>
- Thompson, D. P. (1989). Fungitoxic activity of essential oil components on food storage fungi, 81(1), 151–153.
- Tian, S. P., Fan, Q., Xu, Y., & Jiang, A. L. (2002). Effects of calcium on biocontrol activity of yeast antagonists against the postharvest fungal pathogen *Rhizopus stolonifer*. *Plant Pathology*, 51(3), 352–358. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.2002.00711.x>
- Vieira, R. F., & Simon, J. E. (2000). Chemical Characterization of basil (*Ocimum* Spp.) found in the markets and used in traditional medicine in Brazil. *Economic Botany*, 54(2), 207–216. <https://doi.org/10.1007/BF02907824>

IV.2 Antifungal activity of the essential oil of *Ocimum gratissimum* L. against two pathogens isolated from mango, Ivory Coast (Publication 3)

Contexte

À la suite des travaux de la précédente publication, l'huile essentielle de *Ocimum gratissimum* L. a montré une forte activité antifongique sur les trois souches étudiées. L'objectif est de produire l'huile essentielle de *O. gratissimum* L. et de tester « in vivo » son activité antifongique.

Objectif

L'objectif de cette publication vise à (i) produire de l'huile essentielle, (ii) évaluer sa composition chimique et son activité antifongique sur des souches isolées directement de la mangue, (iii) évaluer son impact sur le taux de pourriture et la qualité de la mangue traitée.

Expérimentations

Des parties aériennes fraîches d'*Ocimum gratissimum* L. ont été collectées à Dabou, situé dans la banlieue d'Abidjan, Côte d'Ivoire et envoyées au Laboratoire de Botanique du centre Suisse de recherche scientifique en Côte d'Ivoire, pour identification. Ensuite, le matériel végétal a été séché pendant cinq jours à l'ombre à une température de $31,6 \pm 1,9$ °C et une humidité relative de $53,1 \pm 7,3$ %. L'huile essentielle est extraite par distillation à la vapeur pendant 2h30 à l'aide d'un appareil de type Clevenger. La composition phytochimique de l'huile essentielle a été analysée par HPLC. L'effet du traitement sur le taux de pourriture et la qualité des mangues traitées a été évalué sur des mangues de variétés "Kent" collectées à Korhogo, Côte d'Ivoire.

Principaux résultats

- L'huile essentielle *Ocimum gratissimum* L. produite localement inhibe fortement la croissance de *Colletotrichum gloeosporioides* (80 %) et de *Lasiodiplodia theobromae* (75 %).
- L'huile essentielle de *Ocimum gratissimum* L. réduit significativement le taux de pourriture des mangues avec un taux de pourriture de 18 % contre 31,43 % pour le témoin.
- L'huile essentielle de *Ocimum gratissimum* L. n'exerce aucune influence sur la qualité physicochimique et sensorielle des mangues traitées.

Conclusion

Ces travaux suggèrent que l'huile essentielle de *Ocimum gratissimum* L. peut être recommandée comme une alternative valable pour contrôler la maladie de l'anthracnose de la mangue (causée par *Colletotrichum gloeosporioides*) et la maladie de la pourriture pédonculaire (causée par *Lasiodiplodia theobromae*).

Antifungal activity of the essential oil of *Ocimum gratissimum* L. against two pathogens isolated from mango, Ivory Coast

Authors: Yardjouma Silué^{a,b,d,f*}; Charlemagne Nindjin^{b,f}; Mohamed Cissé^e; Kohi Alfred Kouamé^{b,f}; N'guessan Georges Amani^f; Didier Mbéguié-A-Mbéguié^{c,d}; Kablan Tano^{fg} Felicie Lopez-Lauri^{a,d,g}.

^aAvignon Université, F-84916 Avignon, France

^bCentre Suisse de Recherche Scientifique en Côte d'Ivoire ;

^cCIRAD, UMR Qualisud, Montpellier, France ;

^dQualisud, Univ Montpellier, CIRAD, Univ d'Avignon, Institut Agro, IRD, Univ de La Réunion, F-34398, Montpellier, France

^eUniversité Peleforo Gon Coulibaly, Korhogo, Côte d'Ivoire.

^fUniversité Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire ;

^gco-authors have jointly supervised the work

Abstract

In recent years, many mango producing countries have experienced an increase in the number of intercepted shipments to the international market due to post-harvest diseases. This is mainly addressed using chemicals but does not meet the expectations of consumers who demand fruit treated with natural products. Thus, medicinal plants can be used for their antimicrobial properties. In the present experiment, we studied the phytochemical quality of *O. gratissimum* L. essential oil and its antifungal activity "in vitro" and "in vivo" against two pathogens isolated from mango. Four concentrations (250, 500, 1000 and 2000 ppm) of essential oil were tested "in vitro" on the mycelial growth of *Colletotrichum gloeosporioides* and *Lasiodiplodia theobromae*. The optimal concentration (2000 ppm) was used "in vivo" on mango cv "Kent". Our results showed that the essential oil of *O. gratissimum* L. inhibited the mycelial growth of *L. theobromae* and *C. gloeosporioides* over 75% and 80%, respectively. Treatment of mangoes with *O. gratissimum* L. essential oil reduced the spoilage rate (19.04%) compared to the control (38.91%). This means that the essential oil of *O. gratissimum* L. has a strong antifungal potency. Therefore, the essential oil of *O. gratissimum* L. can be recommended as an alternative to chemicals to control post-harvest diseases of mango.

Keywords: Mango; post-harvest diseases; *Ocimum gratissimum* L; essential oil; antifungal activity.

IV.2.1 Introduction

Mango (*Mangifera indica* L.) is one of the most widely produced and consumed fruits in the world. It is an essential source of both economic income and nutrients (vitamins, polyphenols, minerals). Thus, it is an important fruit for food security and the economy of developing countries. However, mango suffers several post-harvest losses that are mainly attributed to diseases. These include anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*), stem-end-rot (*Lasiodiplodia theobromae* or *Dothiorella dominicana* or *Botryosphaeria spp*), black spot (*Xanthomonas citri* pv. *mangiferaeindicae*) and fruit fly (Diptera: Tephritidae) (Kouame et al., 2020; Montesinos, 2003). Various approaches have been put forward to prevent, control, or eradicate plant diseases. But it is the chemicals (short-term effective) that are regularly applied to control post-harvest diseases of mango. Exporters usually associate them with low temperatures during shipping. However, their continuous or repeated use can disrupt the biodiversity balance, inducing resistance in target pathogens to one or more chemicals (Brown and Wright, 2016). In addition, failure to comply with recommended doses results in residues accumulating throughout the food chain beyond safe limits (Lee et al., 2008). This poses a risk to human and animal health and the environment. Therefore, there is a need to develop an alternative control method that is eco-friendly, sustainable, and effective. To this end, the use of medicinal plants is becoming increasingly regular and is known to be safe for the consumer and the environment (Dubey et al., 2002; Hernández-Albíter et al., 2007). *Ocimum gratissimum* L., known as the African basil or clove basil, is an aromatic and medicinal plant belonging to the Lamiaceae family is widespread in Asia, Africa, and South America (Kpoviessi et al., 2014; Tanko et al., 2008; Venuprasad et al., 2014). According to Rivière (2017), the leaf has 1000 to 1100 pockets of essential oil per cm². The genus *Ocimum* is the most popular genus of medicinal plants with 160 species both wild and domestic, perennial and annual (Mandal et al., 2000). The uses of *O. gratissimum* L. are quite varied and diverse and depend on the region. In Africa, for example, it is used in folk medicine to treat vomiting, pregnancy termination, fever, headaches, abdominal pain, malaria, etc. (Alexander, 2016; Bariş et al., 2006; Effraim et al., 2003). In Asia, the plant is used as an anti-inflammatory and in the treatment of flu (Prajapati et al., 2003). While in Brazil, it is used as a sedative for children and in the treatment of coughs, sore throats (Freire et al., 2006; Vieira et al., 2001). In all regions, *Ocimum gratissimum* L. is used as a condiment or flavouring in the food industry to give a specific taste or smell to food. Its essential oil has enormous properties. These include antioxidant (Adeola et al., 2014; Kouassi et al., 2018), antimalarial (Ileke and Adesina, 2019), insecticide (Benelli et al., 2019;

Jirovetz et al., 2005) etc. The essential oil of *O. gratissimum* L. has a wide range of antimicrobial activity against hundreds of microorganisms of animal, human, plant, and food contamination (Faria et al., 2006; Matasyoh et al., 2007; Mohr et al., 2017). However, this plant is very abundant in Ivory Coast and is mainly used in traditional medicine. The present study was conducted to (i) analyse the chemical composition of the essential oil of *O. gratissimum* L., (ii) determine the best concentration of essential oil for the post-harvest treatment of mango diseases. Here, we evaluated the "in vitro" and "in vivo" antifungal activity of *Ocimum gratissimum* L.

IV.2.2 Materials and methods

IV.2.2.1 Plant material

Fresh aerial parts of *Ocimum gratissimum* L. were collected in Dabou, located on the outskirts of Abidjan, Côte d'Ivoire. They were then sent to the botanical laboratory, Department of Natural Sciences, Nangui Abrogoua University, for identification. They were then packed in a perforated woven polyethylene bag and taken to the laboratory of Compagnie Ivoirienne de Coton (COIC), Korhogo, Ivory Coast.

IV.2.2.2 Fungal material

The fungal material consisted of two pathogens, namely *Colletotrichum gloeosporioides* and *Lasiodiplodia theobromae* isolated from infected mangoes cv Kent collected at the market of Korhogo, Ivory Coast.

IV.2.2.3 Isolation of isolates

Pathogens were isolated from different disease symptoms namely anthracnose and stem-end-rot using the method of Cissé (2012). Three mangoes were used for each disease. Mangoes were thoroughly washed in water containing 1 % (v/v) sodium hypochlorite for 2 min, rinsed three times with sterile water and dried with a sterile paper towel. The fruits were then purged with a 97% ethanol solution. Small portions of the epicarp of the infected fruit were removed at the limit of disease symptom progression and placed in Petri dishes containing Sabouraud Dextrose Agar with Chloramphenicol. Incubation was carried out at room temperature (29°C) under alternating 12:12 h light and dark conditions for one to three days, depending on whether the pathogens were present. Pure cultures of each pathogen were obtained by successive subculturing in fresh Petri dishes. Conidia were inspected visually with a light microscope. Isolated fungi were identified based on their colony morphology and conidial structures using available literature (Campbell et al., 2013; Taheri et al., 2016).

IV.2.2.4 Preparation of the suspension

The spore suspension was prepared from strains at least seven days old. For each fungus, spores were collected from the surface of the culture, suspended in 1 mL of saline (Babysoin, Cooper Laboratory) in an Eppendorf microcentrifuge tube. The suspension was vortexed to dissociate the cell cluster and 5 μ L was poured onto a haemocytometer for counting under a light microscope. The homogeneity of the cell dispersion was checked at 10 magnifications and the spore count was performed at 40 magnifications. The spore concentration was adjusted to 10^5 cells/mL of the suspension by dilution with saline.

IV.2.2.5 Extraction of the essential oil

The aerial parts of *Ocimum gratissimum* L. were shade dried at a temperature of 31.6 ± 1.9 °C and relative humidity of 53.1 ± 7.3 % for 5 days. The dried samples (5 kg, four replicates) were subjected to steam distillation for 2.5 hours using a stainless-steel Clevenger-type apparatus, according to the method recommended by the European Pharmacopoeia (1983) as described by Sefidkon et al. (2006). The essential oil obtained was left to stand in a separating funnel for one hour in the dark to remove the water. Then the essential oil was packed in a brown glass bottle and stored at 4°C in the dark until used for analysis. To determine the yield of essential oil (% w/w), gravimetric analysis was carried out on a dry weight basis according to the following equation: Yield (%) = $\frac{\text{weight of essential oil (mg)}}{\text{weight of dried aerial parts (mg)}} \times 100$

IV.2.2.6 *In vitro* determination of the antifungal activity of aqueous extracts and essential oil against the mycelial growth of three fungi

The *in vitro* antifungal assays were carried out using the Potato Dextrose Agar diffusion method as described by Bussaman et al. (2012) with slight modifications. The concentrations of 250, 500 and 750 ppm were constituted. To facilitate the diffusion of the oil, Tween 80 (0.05%) was added, and the mixture was manually stirred to obtain a homogeneous medium. For each concentration, approximately 20 mL of the hot mixture (45-50 °C) was poured into sterile Petri dishes under an extractor hood (0.42 m/s). After solidification, 5 μ L of fungal suspension (10^6 cells/mL) was aseptically deposited in the centre of each Petri dish with sterilised zone treatments using a Bunsen burner. The inoculated Petri dishes were sealed with adhesive parafilm and incubated at 30 °C for seven days. The same procedure was used for the control experiments except for the PDA medium prepared exclusively with ultrapure water (without essential oil). For each concentration, the experiments were performed in five replicates and the

experiment was repeated twice. Every 24 hours, pictures of the incubated dishes were taken, and the mycelial growth area was measured using ImageJ software. Inhibitory activity of fungal growth was calculated compared to the control using the following formula (Kwazou et al., 2009).

$$PGI = \frac{C_{moy} - T}{C_{moy}} \times 100$$

Where:

PGI = Percentage of growth inhibition (%); C_{moy} = average surface area of pathogen growth in the control plate; T = average surface area of pathogen growth in the treated plate.

IV.2.2.7 *In situ*' determination of the antifungal activity of the essential oil

To determine the effectiveness of the treatment on mango spoilage, the natural contamination method was adopted. Ninety apparently healthy and visibly undamaged mango fruits cv. Kent mango fruits that were apparently healthy and visibly undamaged were used in this study. They were harvested at commercial maturity from a certified organic plantation in the department of Korhogo, North of the Ivory Coast. The fruit surfaces were carefully washed with soapy water. They were then rinsed with distilled water before being dried in the shade in the laboratory. Two groups of 45 mangoes each were formed. One group was treated with the essential oil and the other with water (control). The treatment was carried out by soaking the fruits for 3 min in (i) water as control, (ii) the aqueous formulation containing the essential oil (2000 ppm) amended with Tween 80 (0.05 %) as surfactant. Finally, the fruits were air-dried at room temperature and then packed in export cards for storage for 10 days. During storage, the fruits were visually inspected daily to identify fruits with visible signs of disease (regardless of size). The infection rate was assessed by counting the number of infected fruits during experiment time (Tano et al., 2007). it was performed on 25 mangoes.

IV.2.2.8 Effect of treatment on mango quality traits

On the day of harvest, all parameters (colour and firmness of skin and flesh, soluble solids content, titratable acidity, mass loss, ascorbic acid content, pH) were evaluated on ten fruits. The treated fruits were stored in the laboratory for ripening. After 10 days, the influence of the treatment on the quality of the mangoes was evaluated on ten fruits per group.

Firmness (skin and flesh), expressed in Newton (N), was measured at three points (apex, middle and base) of a cheek of each fruit using a digital penetrometer (FC GAUGE PCE - FM

200, Milan, Italy). The tip (8 mm diameter) of the penetrometer was placed on the fruit and the breaking force to be applied to pierce the fruit surface was measured. The average of three readings was taken as a measure of firmness for that fruit. Ten fruits per sample were used.

Soluble solids content (SSC) and titratable acidity (TA) were determined using a combined Brix and acid digital refractometer (PAL-BX-ACID91, Atago, Tokyo, Japan). The pH was measured using a digital pH meter. Soluble solids content and titratable acidity were expressed in percent (%).

Colour (skin and flesh) was assessed using a Konica Minolta CR-10 plus chromameter (Konica Minolta, Osaka, Japan). CIELAB coordinates (L^* , a^* , b^*) were measured at three points on both the surface of a cheek and on the inner side of the flesh after a longitudinal cut of the cheek. Only the hue value was considered in this report.

The ascorbic acid content was determined by the titration method using 2,6-dichlorophenol indophenol and expressed as mg/100 g fresh pulp.

Sensory analysis was conducted with 15 panellists experienced in mango consumption and previously trained in the sensory analysis as described by Lateur et al. (2001). The descriptors were overall evaluation, skin wilt, flesh colour, chew resistance, acid taste, sweet taste, aroma, and aftertaste. The assessment consisted of asking panellists to rate the intensity of these descriptors on a structured scale ranging from (1): "no perception" to (9): "extremely intense" (**Annexe 3**).

IV.2.2.9 Statistical analysis

The results obtained were expressed as mean \pm standard error. Data were subjected to analysis of variance (ANOVA) to highlight any differences between treatments. The significant difference was assessed using Tukey's adjustment for multiple comparisons at $P \leq 0.05$. For non-parametric data, a Kruskal-Wallis's test with Bonferroni adjustment for multiple comparisons was used to determine differences ($P \leq 0.05$) between means. Statistical analysis was performed using RStudio software version 4.1.1 (2021-08-10) for windows.

IV.2.3 Results

IV.2.3.1 Description of the essential oil yield

The essential oil obtained is characterised by a strong odour, a whitish colour and low viscosity. It has a watery texture. **Table** shows the characteristics of the essential oil of *O. gratissimum* L.

Table 1: Characteristics of the essential oil

Characteristics of the essential oil	
Colour	Whitish
Smell	Pungent odour
Distillation time	2.5 hours
Yield (%)	1.30

IV.2.3.2 In vitro inhibitory activity of the essential oil of *Ocimum gratissimum* L. on the growth of mycelia of some mango isolates

Our results revealed that the essential oil of *Ocimum gratissimum* L. has antifungal properties against the mycelial growth of the tested fungi. This inhibitory activity increased with concentrations and decreased with incubation time. Thus, the inhibition rates of mycelial growth vary between 38.86 % and 86.46 % for *Colletotrichum gloeosporioides* (**Fig. 4A**) and 40,15 % and 74.56 % for *Lasiodiplodia theobromae* (**Fig. 4B**) after 7 days. The highest inhibitory activity of the essential oil of *Ocimum gratissimum* L. was recorded on the pathogen *Colletotrichum gloeosporioides*. The kinetic of the loss of activity of the treatment on the pathogens is more important at lower concentrations.

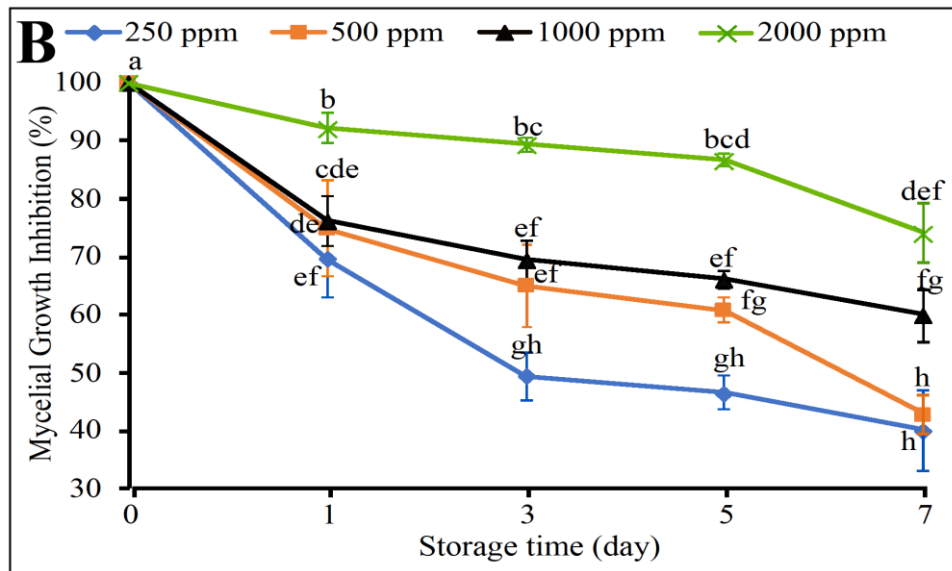
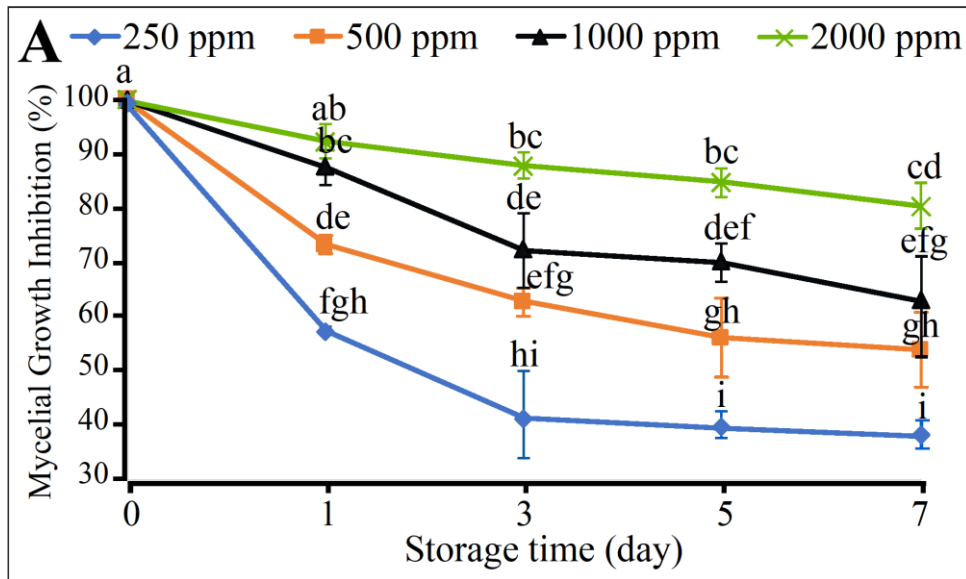


Fig. 4: Antifungal activity of *Ocimum gratissimum* L. essential oil on the mycelial growth of *C. gloeosporioides* (A) and *L. theobromae* (B) during incubation

IV.2.3.3 Sensitivity of pathogens to the essential oil of *O. gratissimum* L.

Fig. 5 shows the sensitivity of the tested pathogens to the essential oil. Regardless of concentration, no significant difference was observed in the sensitivity of *L. theobromae* and *C. gloeosporioides* to the essential oil of *Ocimum gratissimum* L. However, the sensitivity rates of *C. gloeosporioides* and *L. theobromae* reached 50 % from 500 ppm and 1000 ppm of essential oil, respectively. The pathogen *Colletotrichum gloeosporioides* tends to be more sensitive to essential oil at all concentrations.

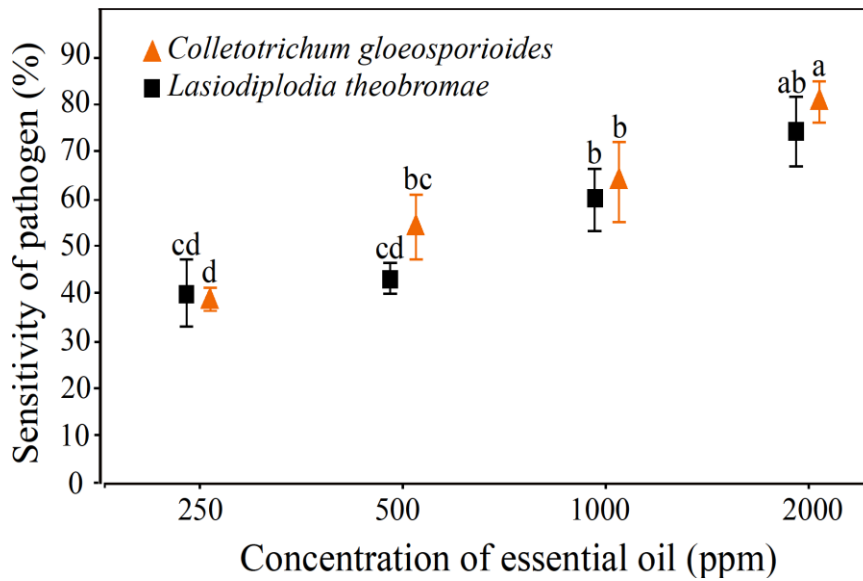


Fig. 5: Sensitivity of the two pathogens to the essential oil of *Ocimum gratissimum* L after seven days of incubation. Different letters indicate a significant difference at $P < 0.05$

IV.2.3.4 *In situ* antifungal activity of *Ocimum gratissimum* L. on mango pathogens

The infection rate of control mangoes is higher than that of treated mangoes (**Fig. 6**). Thus, at the end of the storage period, the spoilage of control mangoes (31.43%) is almost twice as high as that of mangoes treated with *Ocimum gratissimum* L. essential oil (19 %).

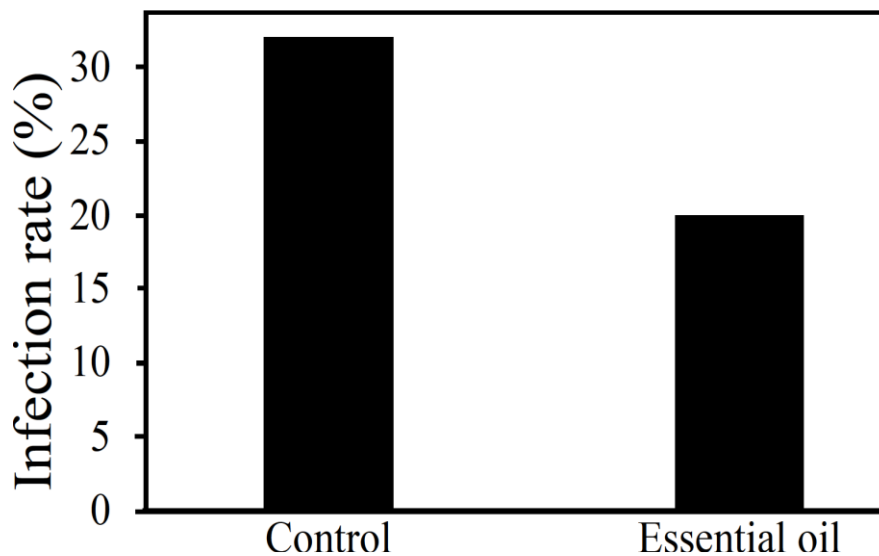


Fig. 6: Effect of *O. gratissimum* L. on the infection of mango

IV.2.3.5 Influence of the essential oil of *Ocimum gratissimum* L. on fruit quality

Except for the skin hue value, no significant differences in physical and biochemical parameters were found between treatments (**Table**). The lowest value of skin colour was obtained in the control fruit. However, the values of all parameters tend to evolve in favour of the sample treated with the essential oil of *O. gratissimum* L.

Table 2: Influence of the essential oil of *O. gratissimum* L. on the physicochemical parameters of mango

Parameters	At harvest	Control	Essential oil
Skin firmness (N)	136.46 ± 7.92a	28.3 ± 5.34b	37.81 ± 3.56b
Flesh firmness (N)	62.83 ± 4.92a	4.92 ± 0.66b	7.21 ± 1.37b
Skin colour (hue)	78.07 ± 2.34a	54.88 ± 3.99c	66.15 ± 3.51b
Flesh colour (hue)	73.7 ± 1.20a	62.98 ± 0.13b	63.98 ± 1.32b
Soluble solids content (%)	7.17 ± 0.37b	21.28 ± 0.10a	21.15 ± 0.67a
Titrateable acidity (%)	0.75 ± 0.05a	0.23 ± 0.00b	0.22 ± 0.02b
pH	3.43 ± 0.13b	4.11 ± 0.01a	4.03 ± 0.04a
Ascorbic acid (mg/100g)	47.5 ± 1.44a	25 ± 1.44b	25.83 ± 2.21b
Dry matter (mg/100g)	22.8 ± 2.60a	22.95 ± 0.44a	21.90 ± 0.82a

Different letters within the same row indicate statistically significant difference between treatments at $p \leq 0.05$. Values represent mean ± SE of ten replicates.

IV.2.3.6 Sensory profile of the mango after ripening

Fig. 7 shows the profiles of the control and treated samples. For all sensory descriptors, no differences were observed between treatments. These observations confirm the results on physicochemical parameters.

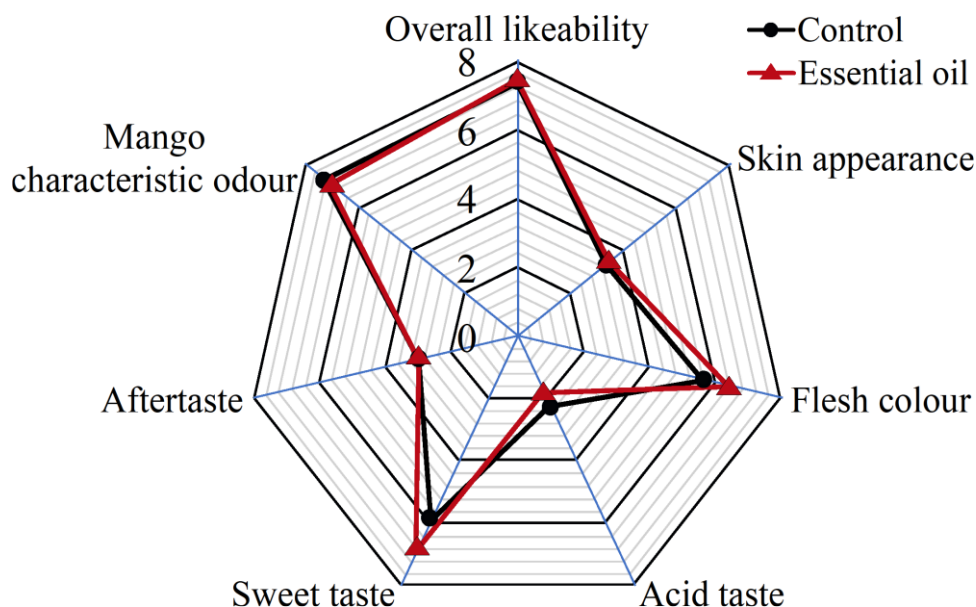


Fig. 7: Sensory profiles of different mango samples after ripening

IV.2.4 Discussion

To date, synthetic fungicides are widely used in agriculture to control plant diseases, including fungal diseases that cause post-harvest rots in fruit and vegetables. Yet they often pose a serious

threat to the balance of biodiversity and human and animal health. Moreover, in developing countries where users are generally from rural areas, the doses applied very often do not follow the recommended dose. The objective of this experiment was to determine "*in vitro*" the optimal concentration of *O. gratissimum* L. essential oil for the post-harvest treatment of mango against pathogenic microorganisms.

The results of this study revealed that the essential oil of *O. gratissimum* is pathogen dependent. Hence, it has an "*in vitro*" inhibitory activity of 80 % against *Colletotrichum gloeosporioides* and 74 % against *Lasiodiplodia theobromae*. This confirms that the essential oil of *O. gratissimum* L. tends to act more actively on *C. gloeosporioides* than on *Lasiodiplodia theobromae*. This is a major advantage because we surveyed this study area in 2021 (unpublished data) that showed that anthracnose (caused by *C. gloeosporioides*) is the main post-harvest disease of mango. Also, the stem-end-rot (caused by *L. theobromae*) appeared among the observed diseases in this survey. Further, this antifungal activity increases with concentration and decreases during the incubation time. The increase in antifungal activity with dose can be attributed to an increase in the compounds responsible for inhibition. While the decline in activity with time could be due to the volatile nature of the active compounds or an adaptation of the pathogen. According to Soro et al. (2011) scale, the essential oil of *O. gratissimum* L. can be considered very active on *C. gloeosporioides* and *Lasiodiplodia theobromae*. The compounds of *Ocimum gratissimum* L. essential oil responsible for this antifungal activity and their mechanism of action are not yet clearly established. Thus, the antifungal activity is generally explained by the action of the major compounds which depends on many factors (age of the plant, extraction method, geographical location, parts of the plant collected and time of harvest). Scariot et al. (2020) reported that thymol, carvacrol, citral, carvacrol and geraniol affect cell membrane permeability and homeostasis of the fungus. While, according to Pandey et al. (2014), linalool, one of the main compounds in clove basil essential oil, can cause protein denaturation and dehydration of vegetative cells, leading to the death of microorganisms in contact with the essential oil. In addition, monoterpenes and sesquiterpenes can create hydrogen bonds with the active sites of target enzymes and are the main cause of the antimicrobial effects of *O. gratissimum* L. (Mohr et al., 2017). However, the antimicrobial activity of *O. gratissimum* L. essential oil could be related to several compounds such as eugenol (Rizvi et al., 2014); thymol (Chillet et al., 2019; Soro et al., 2011); among other compounds. Based on these different reports, the antifungal activity of the oil observed in our study can be attributed to the compounds considering their quantity in this oil. Nevertheless,

we believe that regardless of the main compound of the essential oil, its antimicrobial potential is related to (or enhanced by) the sum of the effects or synergy of the properties of the individual components. As reported by (Tripathi et al., 2009), the antifungal activities of essential oils depend mainly on the qualitative and quantitative characteristics of their constituents such as functional groups. The diversity and variability of the chemical composition of *O. gratissimum* L. essential oil confers it a wide proprieties such as antioxidants, insecticides (Ogendo et al., 2008; Olamilosoye et al., 2018). This may explain the susceptibility of other phytopathogenic fungi to *O. gratissimum* L. essential oil depending on the concentrations. In this work, no minimum inhibitory concentration (MIC) of the essential oil was found for the pathogens studied. However, other researchers such as Kouamé et al. (2015) reported 1000 ppm of *O. gratissimum* L. essential oil from Ivory Coast as MIC on *C. gloeosporioides*. This disagreement would be associated with the method of extraction of the essential oil. In fact, the essential oil used by these authors was dried using anhydrous sodium sulphate allowing a high concentration of oil. While Anaruma et al. (2010) found 2000 ppm of essential oil of *O. gratissimum* L. from Brazil as the minimum inhibitory concentration against mycelial growth of *C. gloeosporioides*. This means that the activity of the oil may vary with plant parts harvested, method of extraction, the geographical origin of plant and the pathogen. The essential oil nearly halved the spoilage of the mangoes. Also, the most frequent symptoms observed in the control were those of anthracnose. This confirms the results obtained "*in vitro*" evaluation. Moreover, one of the strong points of the present experiment is the fact that the application of *O. gratissimum* L. essential oil on mango cv Kent does not have any negative influence on the quality of the fruit, both from a physicochemical and sensory point of view. This observation suggests that clove basil essential oil acts directly on pathogens on mango surface. Therefore, it may be recommended to use the essential oil for curative purposes.

IV.2.5 Conclusion

From the results of this study, it can be concluded that the essential oil of African basil (*Ocimum gratissimum* L.) has a strong antifungal activity against *Colletotrichum gloeosporioides* and *Lasiodiplodia theobromae*. This work showed that *C. gloeosporioides* is more sensitive than *L. theobromae*. The concentration of 2000 ppm has a positive effect on the microbial spoilage of mango. Furthermore, the essential oil of *O. gratissimum* L. does not affect the physicochemical parameters and sensory attributes of mango. Therefore, the essential oil of *Ocimum gratissimum* L. can be suggested as a valid alternative to control mango anthracnose disease (caused by *C. gloeosporioides*) and stem-end-rot disease (caused by *L. theobromae*).

Conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

Acknowledgements

This project is financed by the Ministry of High Education and Research of Côte d'Ivoire, within the framework of the Debt Reduction and Development Contracts (C2D) managed by the IRD (National Institute of Research for Sustainable Development).

IV.2.6 References

- Adeola, S.A., Folorunso, O.S., Okedeyi, O.O., Ogungbe, B.F., Babatimehin, O.B., Thanni, O.Z., 2014. Antioxidant and Antimicrobial Activities of the Volatile Oil of *Ocimum gratissimum* and its Inhibition on Partially Purified and Characterized Extracellular Protease of *Salmonella enteritidis* - SciAlert Responsive Version. *American Journal of Drug Discovery and Development* 4, 180–193. <https://doi.org/10.3923/ajdd.2014.180.193>
- Alexander, P., 2016. Phytochemical Screening and Mineral Composition of the Leaves of *Ocimum gratissimum* (Scent Leaf). *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology* 4, 161–165. <https://doi.org/10.3126/ijasbt.v4i2.15101>
- Anaruma, N.D., Schmidt, F.L., Duarte, M.C.T., Figueira, G.M., Delarmelina, C., Benato, E.A., Sartoratto, A., 2010. Control of *Colletotrichum gloeosporioides* (penz.) Sacc. In yellow passion fruit using *Cymbopogon citratus* essential oil. *Brazilian Journal of Microbiology* 41, 66–73. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822010000100012>
- Bariş, Ö., Gulluce, Sahin, F., Ozer, H., Kilic, H., Ozkan, Sokmen, A., Ozbek, M., 2006. Biological Activities of the Essential Oil and Methanol Extract of *Achillea biebersteinii* Afan. (Asteraceae). *Turkish Journal of Biology* 30, 65–73.
- Benelli, G., Pavela, R., Maggi, F., Nkuimi Wandjou, J.G., Yvette Fofie, N.G.B., Koné-Bamba, D., Sagratini, G., Vittori, S., Caprioli, G., 2019. Insecticidal activity of the essential oil and polar extracts from *Ocimum gratissimum* grown in Ivory Coast: Efficacy on insect pests and vectors and impact on non-target species. *Industrial Crops and Products* 132, 377–385. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.02.047>
- Brown, E.D., Wright, G.D., 2016. Antibacterial drug discovery in the resistance era. *Nature* 529, 336–343.

- Bussaman, P., Namsena, P., Rattanasena, P., Chandrapatya, A., 2012. Effect of Crude Leaf Extracts on *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Sacc. *Psyche: A Journal of Entomology* 2012, 1–6.
- Campbell, C.K., Johnson, E.M., Warnock, D.W., 2013. Identification of pathogenic fungi, 2nd ed. ed. Wiley-Blackwell, Chichester, West Sussex ; Hoboken, NJ.
- Chillet, M., Minier, J., Hoarau, M., Meile, J.-C., 2019. Potential use of thymol to control anthracnose development in mango. *European Journal of Plant Pathology* 155, 943–952. <https://doi.org/10.1007/s10658-019-01825-9>
- Cissé, M., 2012. Immobilisation d'un système lactoperoxydase dans un enrobage de chitosane dans le but de prolonger la conservation des mangues (Doctorat). Montpellier SupAgro, Montpellier (France).
- Dubey, N.K., Tiwari, T.N., Mandin, D., Andriamboavonjy, H., Chaumont, J.-P., 2002. Antifungal proprieties of *Ocimum gratissimum* essential oil (ethyl cinnamate chemotype). *Fitoterapia* 71, 567–569.
- Effraim, K.D., Jacks, T.W., Sadipo, O.A., 2003. Histopathological studies on the toxicity of *Ocimum gratissimum* leave extract on some organs of rabbit. *African Journal of Biomedical Research* 6, 21–25. <https://doi.org/10.4314/ajbr.v6i1.54018>
- Faria, T. de J., Ferreira, R.S., Yassumoto, L., Souza, J.R.P. de, Ishikawa, N.K., Barbosa, A. de M., 2006. Antifungal activity of essential oil isolated from *Ocimum gratissimum* L. (eugenol chemotype) against phytopathogenic fungi. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 49, 867–871. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132006000700002>
- Freire, C.M.M., Marques, M.O.M., Costa, M., 2006. Effects of seasonal variation on the central nervous system activity of *Ocimum gratissimum* L. essential oil. *Journal of Ethnopharmacology* 105, 161–166. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.10.013>
- Hernández-Albíter, R.C., Barrera-Necha, L.L., Bautista, S., Bravo-Luna, L., Cp, M., 2007. Antifungal Potential of Crude Plant Extracts on Conidial Germination of Two Isolates of *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. and Sacc. *South African Avocado Growers Association Yearbook* 25, 124–130.

- Ileke, K.D., Adesina, J.M., 2019. Toxicity of *Ocimum basilicum* and *Ocimum gratissimum* Extracts against Main Malaria Vector, *Anopheles gambiae* (Diptera: Culicidae) in Nigeria. *Journal of Arthropod-Borne Diseases* 13, 362–368.
- Jirovetz, L., Buchbauer, G., Martin, N., Ngamo, L., Adjoudji, O., 2005. Combined investigation of the chemical composition of essential oils of *Ocimum gratissimum* and *Xylopia aethiopica* from Cameroon and their insecticidal activities against stored maize pest *Sitophilus zeamais*. *Ernaehrung* 29, 55–60.
- Kouamé, K.G., Kouassi, K.N., Kassi, F.M., BOLOU, B.B.A., Tuo, S., Kanko, C., Koné, D., 2015. Antifungal Activity of Essential Oils Extracted from *Monodora myristica* (Gaertn), *Ocimum gratissimum* L. and *Zingiber officinalis* Roscoe on Post-harvest Anthracnose of Mango Fruit (*Mangifera indica* L.) Variety Kent in Côte d'Ivoire. *International Journal of Sciences* 1, 8–18.
- Kouame, L.M., Kouame, A.K., Ouattara, L., N'Guessan, F.K., 2020. Contraintes liées à la production et à la commercialisation des mangues (*Mangifera indica*) en Côte d'Ivoire : cas des variétés exportées vers l'Europe. *Afrique Science* 17, 16–27.
- Kouassi, E.K., Ouattara, S., Seguin, C., Fournel, S., Frisch, B., 2018. Etude De Quelques Propriétés Biologiques De *Ocimum Gratissimum* L., Une Lamiaceae Recoltee A Daloa (Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal* 14, 477. <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n3p477>
- Kpoviessi, B.G.H.K., Kpoviessi, S.D.S., Yayi Ladekan, E., Gbaguidi, F., Frédéric, M., Moudachirou, M., Quetin-Leclercq, J., Accrombessi, G.C., Bero, J., 2014. In vitro antitrypanosomal and antiplasmodial activities of crude extracts and essential oils of *Ocimum gratissimum* Linn from Benin and influence of vegetative stage. *Journal of Ethnopharmacology* 155, 1417–1423. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2014.07.014>
- Kwazou, N.I., Dongmo, P.M.J., Ngoune, L.T., Sameza, M.I., Dongmo, B.M., Zollo, P.H.A., Menut, C., 2009. Propriétés antifongiques des huiles essentielles de quelques plantes du genre *Aframomum* du Cameroun contre *Aspergillus flavus*. *Cameroon Journal of Experimental Biology* 5. <https://doi.org/10.4314/cajeb.v5i1.44456>

- Lateur, M., Planchon, V., Moons, E., 2001. Évaluation par l'analyse sensorielle des qualités organoleptiques d'anciennes variétés de pommes. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement* 5, 180–188.
- Lee, Y.-S., Kim, J., Shin, S.-C., Lee, S.-G., Park, I.-K., 2008. Antifungal activity of Myrtaceae essential oils and their components against three phytopathogenic fungi. *Flavour and Fragrance Journal* 23, 23–28. <https://doi.org/10.1002/ffj.1850>
- Mandal, J., Pattnaik, S., Chand, P.K., 2000. Alginate encapsulation of axillary buds of *Ocimum americanum* L. (hoary basil), *O. Basilicum* L. (sweet basil), *O. gratissimum* L. (shrubby basil), and *O. Sanctum* L. (sacred basil). *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant* 36, 287–292. <https://doi.org/10.1007/s11627-000-0052-0>
- Matasyoh, L.G., Matasyoh, J.C., Wachira, F.N., Kinyua, M.G., Muigai, A.W.T., Mukiyama, T.K., 2007. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Ocimum gratissimum* L. growing in Eastern Kenya. *African Journal of Biotechnology* 6, 760–765. <https://doi.org/10.4314/ajb.v6i6.56899>
- Mohr, F.B.M., Lermen, C., Gazim, Z.C., Gonçalves, J.E., Alberton, O., 2017. Antifungal activity, yield, and composition of *Ocimum gratissimum* essential oil. *Genetics and Molecular Research*. 16, 1–10. <https://doi.org/10.4238/gmr16019542>
- Montesinos, E., 2003. Development, registration and commercialization of microbial pesticides for plant protection. *International Microbiology* 6, 245–252. <https://doi.org/10.1007/s10123-003-0144-x>
- Ogendo, J.O., Kostyukovsky, M., Ravid, U., Matasyoh, J.C., Deng, A.L., Omolo, E.O., Kariuki, S.T., Shaaya, E., 2008. Bioactivity of *Ocimum gratissimum* L. oil and two of its constituents against five insect pests attacking stored food products. *Journal of Stored Products Research* 44, 328–334. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2008.02.009>
- Olamilosoye, K.P., Akomolafe, R.O., Akinsomisoye, O.S., Adefisayo, M.A., Alabi, Q.A., 2018. The aqueous extract of *Ocimum gratissimum* leaves ameliorates acetic acid-induced colitis via improving antioxidant status and hematological parameters in male Wistar rats | Elsevier Enhanced Reader. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences* 5, 220–227. <https://doi.org/10.1016/j.ejbas.2018.05.006>

- Pandey, A.K., Singh, P., Tripathi, N.N., 2014. Chemistry and bioactivities of essential oils of some *Ocimum* species: an overview. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine* 4, 682–694. <https://doi.org/10.12980/APJTB.4.2014C77>
- Prajapati, N.D., Purohit, S.S., Sharma, S.S., Kumar, T., 2003. A handbook of medicinal plants: a complete sourcebook. Jodhpur (India) Agrobios.
- Rivière, L., Pasquier, B., Godin, M., 2017. Basilics: La diversité du genre *Ocimum* dans les collections du CNPMAI, Conservatoire National des Plantes à Parfum, Médicinales, Aromatiques et Industrielles. CNPMAI, France.
- Rizvi, A.H., Khan, M.M.A.A., Verma, P.C., Saxena, G., 2014. Biochemical Activity of *Ocimum gratissimum* Essential Oil Against Fruit-Rotting Fungi *Penicillium expansum* and *Penicillium digitatum*, in: Kharwar, R.N., Upadhyay, R.S., Dubey, N.K., Raghuvanshi, R. (Eds.), *Microbial Diversity and Biotechnology in Food Security*. 343–348. https://doi.org/10.1007/978-81-322-1801-2_30
- Scariot, F.J., Foresti, L., Delamare, A.P.L., Echeverrigaray, A.P.L.S., 2020. Activity of monoterpenoids on the in vitro growth of two *Colletotrichum* species and the mode of action on *C. acutatum*. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 170, 104698. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104698>
- Sefidkon, F., Abbasi, K., Khaniki, G.B., 2006. Influence of drying and extraction methods on yield and chemical composition of the essential oil of *Satureja hortensis*. *Food Chemistry* 99, 19–23. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.026>
- Soro, S., Abo, K., Kone, D., Coffi, K., Kouadio, J.Y., 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, 43–52.
- Taheri, H., Javan-Nikkhah, M., Nikkhah, –, Elahinia, S., Khodaparast, seyed akbar, Golmohammadi, M., 2016. Species of *Colletotrichum* associated with citrus trees in Iran. *Mycologia Iranica* 3, 1–14. <https://doi.org/10.22043/mi.2017.42395.1073>
- Tanko, Y., Magaji, G.M., Yerima, M., Magaji, R.A., Mohammed, A., 2008. Anti-Nociceptive and Anti-Inflammatory Activities of Aqueous Leaves Extract of *Ocimum Gratissimum*

- (Labiata) in Rodents. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*. 5, 141–146.
- Tano, K., Oulé, M.K., Doyon, G., Lencki, R.W., Arul, J., 2007. Comparative evaluation of the effect of storage temperature fluctuation on modified atmosphere packages of selected fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology* 46, 212–221. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.05.008>
- Tripathi, A.K., Upadhyay, S., Bhuiyan, M., Bhattacharya, P.R., 2009. A review on prospects of essential oils as biopesticide in insect-pest management. *Journal of Pharmacognosy and Phytotherapy* 1, 052–063.
- Venuprasad, M.P., Kumar Kandikattu, H., Razack, S., Khanum, F., 2014. Phytochemical analysis of *Ocimum gratissimum* by LC-ESI–MS/MS and its antioxidant and anxiolytic effects. *South African Journal of Botany* 92, 151–158. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2014.02.010>
- Vieira, R.F., Grayer, R.J., Paton, A., Simon, J.E., 2001. Genetic diversity of *Ocimum gratissimum* L. based on volatile oil constituents, flavonoids and RAPD markers. *Biochemical Systematics and Ecology* 29, 287–304. [https://doi.org/10.1016/S0305-1978\(00\)00062-4](https://doi.org/10.1016/S0305-1978(00)00062-4)

**CHAPITRE V : INFLUENCE DE LA COMBINAISON DE L'HEXANAL
ET L'HUILE ESSENTIELLE DE *OCIMUM GRATISSIMUM* L. SUR LA
MATURATION ET LES MALADIES POST-RECOLTE DE LA MANGUE
(Publication 4)**

Contexte

La mangue est un fruit dit climactérique c'est-à-dire caractérisée par une maturation rapide. Aussi vu l'importance et la diversité des maladies de la mangue, il est nécessaire de développer une technologie capable de contrôler la maturation et les maladies. Ce projet de thèse est réalisé en partenariat avec des professionnels de la mangue.

Objectif

Evaluer l'effet synergétique de l'hexanal et l'huile essentielle sur le mûrissement et les maladies de la mangue en conditions de l'exportation.

Expérimentations

Le matériel végétal de cette étude a été constitué de mangues variété "Kent" issues de l'agriculture Bio collectées dans le département de Korhogo, Côte d'Ivoire. Les fruits ont été fournies par l'entreprise SCB, filiale de Compagnie Fruitière en Côte d'Ivoire. Les mangues ont été traitées à la fois à l'hexanal et l'huile essentielle puis stockées dans un conteneur frigorifique d'exportateur.

Principaux résultats

- L'hexanal seul a un effet significatif sur la maturation de la mangue en prolongeant la durée de conservation
- L'huile essentielle seule réduit significativement la pourriture de la mangue et ce, mieux que le fongicide chimique commercial utilisé à ce jour en Côte d'Ivoire.
- L'addition de l'huile essentielle à l'hexanal permet de renforcer sa capacité à réduire la pourriture mais diminue son effet retardateur de mûrissement de la mangue. Toutefois, l'association de l'huile essentielle et l'hexanal a réduit les pertes de 25 % après 28 jours

Conclusion

L'effet antifongique de l'hexanal peut être renforcé avec l'huile essentielle de *Ocimum gratissimum* L. Cependant, pour contrôler la maturation de la mangue, il est recommandé d'utiliser l'hexanal.

Reducing post-harvest losses and improving shelf-life of the mango variety "Kent" (*Mangifera indica* L.) by post-harvest application of different formulations containing hexanal

Yardjouma Silué^{a,b,d,f,*}; Charlemagne Nindjin^{b,f}; Mohamed Cissé^e; Kohi Alfred Kouamé^{b,f}; Felicie Lopez-Lauri^{a,d}; Kablan Tano^f

^aAvignon Université, F-84916 Avignon, France

^bCentre Suisse de Recherche Scientifique en Côte d'Ivoire ;

^dQualisud, Univ Montpellier, CIRAD, Univ d'Avignon, Institut Agro, IRD, Univ de La Réunion, F-34398, Montpellier, France

^eUniversité Peleforo Gon Coulibaly, Korhogo, Côte d'Ivoire.

^fUniversité Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire

Abstract

Mango (*Mangifera indica* L.) is one of the world's most produced and consumed tropical fruits. However, it is highly perishable due to its rapid ripening and various diseases caused by fungi, bacteria, and insects. The present study was carried out to evaluate, in cold storage, the effect of the combination of hexanal and *Ocimum gratissimum* L. essential oil on postharvest losses and the quality of mango. Mangoes of the variety "Kent" were soaked in different aqueous formulations containing hexanal. Storage was performed in a refrigerated container (13°C, RH 92%). Physiological and physicochemical parameters associated with fruit ripening were assessed every seven days. The findings showed that the application of hexanal alone slowed down the evolution of all measured parameters compared to the control. This implies that hexanal alone influences fruit ripening. The combination with essential oil of *Ocimum gratissimum* L. recorded intermediate values between hexanal alone and the control except for rotting. The combination of hexanal with fungicide reduced the fruit rotting compared to hexanal alone. All formulations improved the shelf life of the mango by seven days. Postharvest application of hexanal alone or combined with essential oil can be suggested for mango preservation depending on microbial prevalence.

Keywords: Hexanal, Essential oil, Fruit quality, Postharvest losses, Shelf life.

V.1 Introduction

In sub-Saharan Africa, fruit and vegetable production has been estimated at 34.2 and 31.9 million tonnes in 2014 (James and Zikankuba, 2017). However, postharvest losses have been estimated at between 30 % and 80 % of total annual production depending on the commodity. According to FAO statistics, up to 10 to 25 % of these losses occurs during storage and distribution (Gustavsson *et al.*, 2011). This limits the export of these products, thus reducing their added value. With an average annual production of 159,394 tonnes, postharvest losses of mango in Ivory Coast are estimated at between 30 % and 60 % (Mulder *et al.*, 2019) while export is at about 10 % of this production. These losses are associated with the lack of processing, the spread of mango pathogens (fungi, bacteria, and insects). In addition, like all climacteric fruits, mango has a very rapid ripening after harvest due to its metabolism including respiration and ethylene production. Thus, several postharvest technologies are used to manage mango storage. Among these, chemicals are the most used because of their low cost and ease of integration into packaging lines. In recent years, many authors have revealed that hexanal, a natural molecule, is very active against the ripening process of climacteric fruits. Hexanal can be extracted from tobacco leaves (Hong *et al.*, 2004); tomato leaves (Suurmeijer *et al.*, 2000) and menthe leaves (Gargouri *et al.*, 2004). Thus, it has been shown that hexanal can extend the shelf life of strawberries (Yuan *et al.*, 2009), nectarines (Kumar *et al.*, 2018), plantain (Yumbya *et al.*, 2018), sweet pepper (Cheema *et al.*, 2018), tomato (Sharma *et al.*, 2010) and mango (Jincy *et al.*, 2017), etc. Hexanal is used before harvest by spraying and after harvest essentially by vapouring. In postharvest, it is also applied by dipping but preceded by pre-harvest spraying. However, vapouring, or double application (spraying and dipping) requires a relatively high investment and maintenance cost. Thus, the use of hexanal is limited in mango producing countries and most of which are developing countries such as Ivory Coast. In fact, in these countries, the actors are mainly smallholders with low investment power. We have previously researched the effect of hexanal by soaking on postharvest losses and shelf life of the mango variety "Kent" (unpublished data). The results of this study showed that hexanal significantly influences losses and ripening. However, the development of fungal diseases had limited the positive impact of hexanal on mango preservation. Hence, in a second study (submitted data), we found that the essential oil extracted from the African basil plant (*Ocimum gratissimum* L.) has a strong inhibitory activity on mango pathogens (*Colletotrichum gloeosporioides* and *Lasiodyplodia theobromae*). Therefore, the present study was conducted to determine the influence of the combination of hexanal and essential oil of *O. gratissimum* L. on losses and

ripening of mango variety "Kent". To facilitate the integration of this technology into the export mango processing supply, the study was carried out in a refrigerated export container and on the premises of a mango exporter in Ivory Coast.

V.2 Materials and methods

V.2.1 Plant material

Healthy, uniformly sized mangoes (*Mangifera indica* L. cv. Kent) were harvested at commercial maturity from a certified organic commercial field in the Korhogo department in the north of Ivory Coast. In this locality, there are two seasons in the year, namely a rainy season (June to November) and a dry season (December to May). Fruiting of the "Kent" variety takes place from April to June and the present experiment was conducted in May 2021. The mangoes were sorted to select the apparently healthy and visibly blemish-free mangoes. Selected mangoes were washed, shade-dried and packed in export cartons by professional mango packers. The cartons were then transported to the laboratory and stored at room temperature for 5-10 minutes until treatment.

V.2.2 Preparation of treatment products

The hexanal solution was obtained as described by Paliyath *et al.* (2003) and stored at 4 °C until use. The essential oil from the aerial parts of *Ocimum gratissimum* L. was extracted by steam distillation using a Clevenger type apparatus according to the method recommended in the European Pharmacopoeia (1983), as described by (Sefidkon *et al.*, 2006). Scholar Max[®]230SC, a synthetic fungicide approved in postharvest treatment of mango in Ivory Coast. It is used to control postharvest diseases on pome and stone fruits such as mango.

V.2.3 Application of treatments

The fruits were divided into six groups of 135 fruits each. Four groups were soaked separately for three minutes in different treatments namely (i) an aqueous formulation of hexanal, (ii) an aqueous formulation of hexanal combined with essential oil (2 mL/L) and (iii) an aqueous formulation of hexanal combined with Scholar 230SC (1.5 mL/L). The hexanal solution was used at the same concentration (0.02 %). The last group was soaked for three minutes in tap water as a control. After treatment, the mangoes were shade-dried, packed and stored in a refrigerated container at a temperature of 13.2 ± 0.7 °C, relative humidity of 92.3 ± 0.5 % and volume of 67 m³. During cold storage, ten fruits per group were randomly sampled using the Microsoft Excel function RANDBETWEEN() every seven days for destructive quality measurements. The mass loss, postharvest losses, ripening and rotting rates were measured on 70 mangoes per group.

V.2.4 Assessment of infection, ripening and postharvest losses

During storage, seventy mangoes per group were visually inspected daily to remove infected and/or senescent fruits. The infection rate was determined by counting the number of infected fruits during the experiment. Infected fruits were those showing any sign of microbial infection, regardless of the size of the sign. The infection rate was expressed as a percentage of infected fruit for each treatment (Tano *et al.*, 2007). The ripening rate expressed as a percentage was determined by counting senescent fruits. Mango was considered ripe when it showed low firmness and a characteristic mango aroma. Postharvest losses were assessed by counting the number of infected and/or senescent fruits removed during the experiment period. The storage experiment was stopped when more than 2/3 of the initial number of fruits in the batch were removed.

V.2.5 Assessment of quality attributes

V.2.5.1 Loss of mass

Mass loss was measured according to the method of Proulx *et al.* (2005). For each batch, seventy mangoes were individually and initially weighed using an electronic laboratory balance. Subsequently, they were weighed weekly during the storage period. Mass loss was expressed as a percentage of mass loss according to the following equation 1:

$$\text{Mass loss (\%)} = \sum_{i=1}^n \frac{(Mi_1 - Mi_2)}{Mi_1} \times 100 \quad (1)$$

Mi₁: initial fruit mass; Mi₂: final fruit mass; n: total number of fruits

V.2.5.2 Firmness

Firmness was assessed using a digital penetrometer (FC GAUGE PCE - FM 200, Milan, Italy). The tip (8 mm diameter) of the penetrometer was placed on the fruit and the force required to pierce the fruit surface was measured. The firmness expressed in Newton (N) was measured at three points (apex, middle and base) of a single cheek of each of ten mangoes. The average of the three readings was taken as the measure of firmness for that fruit.

V.2.5.3 Respiratory intensity

Ten (10) mangoes were initially and separately weighed using an electronic laboratory scale for each group. Respiratory intensity (RI) was determined by individually conditioning each fruit in a sealed 750 ml airtight glass container for 90 minutes. Through a rubber septum on the containers, an air sample was taken to determine carbon dioxide (CO₂) and oxygen (O₂) concentrations using the Tiempo gas analyser (Janny MT, Peronne, France). The RI experimentations were carried out at 0, 15, 30, 45, 60 and 90 minutes. The experiment was

performed every two days during the storage period. The respiratory intensity was expressed as mL CO₂ kg⁻¹h⁻¹ under the storage temperature and pressure conditions.

V.2.5.4 Biochemical changes during storage

The skin of ten fruits from each treatment was removed and the juice from the pulp of each mango was extracted separately using a juice extractor (Kuvings D9900, Marseille, France). Soluble solids content (SSC) and titratable acidity (TA) were measured with a Brix-acid dual scale digital refractometer (PAL-BX-ACID91, Atago, Tokyo, Japan) at 25 °C according to the manufacturer's instructions. Both parameters were expressed as a percentage (%). The stage of ripeness (SR) was given by the SSC/TA ratio and the speed ripening (Rs) was defined between the fruit at a given time and the reference mangoes (day of harvest) following equation 2 (Dissa *et al.*, 2011).

$$Rs = \frac{SR_t}{SR_{reference}} \quad (2)$$

SR_t: stage of ripeness at a given time, SR_{reference}: stage of ripeness at harvest; Rs: Ripening speed

V.2.6 Statistical analysis

Data were subjected to one-way ANOVA analysis using RStudio version 4.1.1 (2021-08-10) statistical software for windows. Tukey's multiple tests were used at a significance level of 5% (P ≤ 0.05).

V.3 Results

V.3.1 Infection, ripening and postharvest losses

Fig. 8 shows the evolution of ripening, rotting, and postharvest losses. The control sample of mangoes had the highest ripening, rotting and postharvest losses rates. More than 2/3 of the control mangoes were withdrawn from the trials after 28 days due to the degradation of the stock concerned. The shelf life of treated mangoes had been prolonged for seven additional days. The lowest rates of ripening and postharvest losses were observed with the application of hexanal alone (32 %), while the lowest rate of decay was observed with the application of the hexanal formulation containing the essential oil of *Ocimum gratissimum* L (12%). The symptoms observed in this study were mainly those of anthracnose caused by pathogens of the genus *Colletotrichum*.

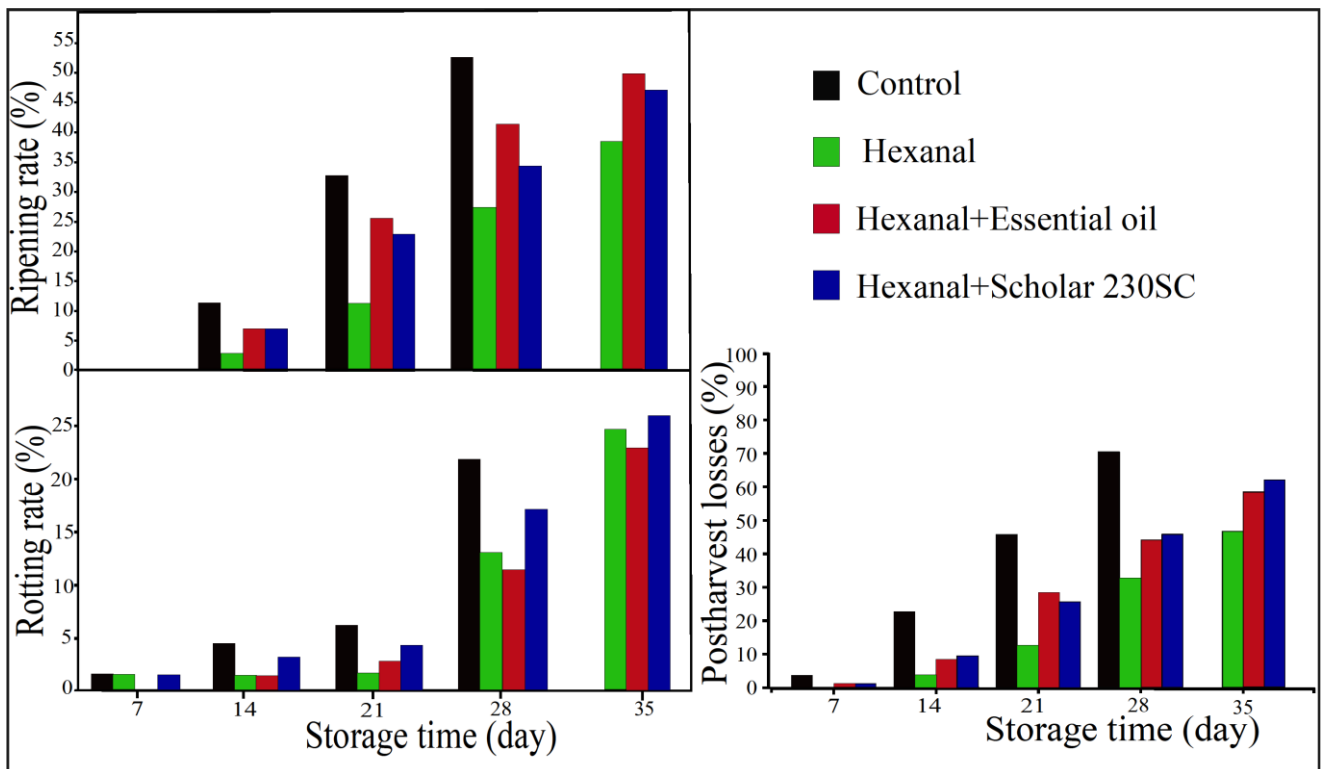


Fig. 8: Effect of treatments on ripening, rotting and losses rates of mango

V.3.2 Respiratory intensity

The respiration rate of stored mangoes is presented in **Fig. 2**. The respiratory intensities of all treatments, including the control (water treated), were decreased during the first two days. After that, the respiration of the fruits gradually increases until they reach their different peaks (respiratory peak) before decreasing. The control mangoes reach their respiratory peak at 11 days whereas the combination treatments reach their peaks at 14 days. The hexanal treatment alone reaches its respiratory peak at 17 days of storage. On the other hand, mangoes treated with hexanal alone have a low respiratory intensity over the storage period compared to the treatments.

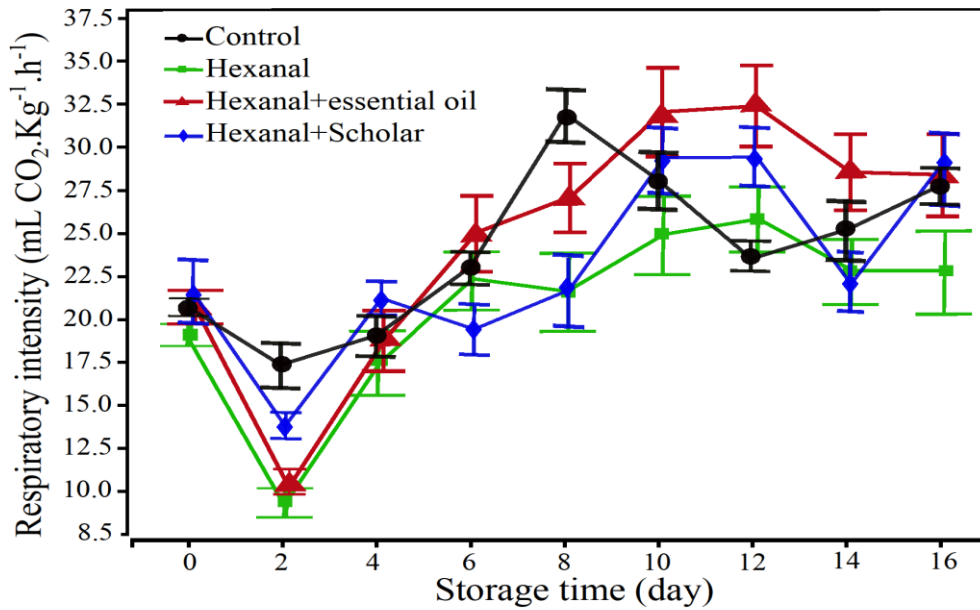


Fig. 2: Effect of treatments on the evolution of the respiratory intensity of mango in refrigerated container

V.3.3 Loss of mass

Fig. 3 shows the evolution of the mass loss of mangoes during storage. Overall, the mass loss of all treatments increased with the storage time. No difference was observed during the first 14 days. However, from the third week, control mangoes and mangoes treated with hexanal combined with Scholar 230SC had significantly higher mass loss than hexanal alone or combined with essential oil. In addition, throughout the storage period, the mass loss of the control mangoes was greater than that of the treated mangoes.

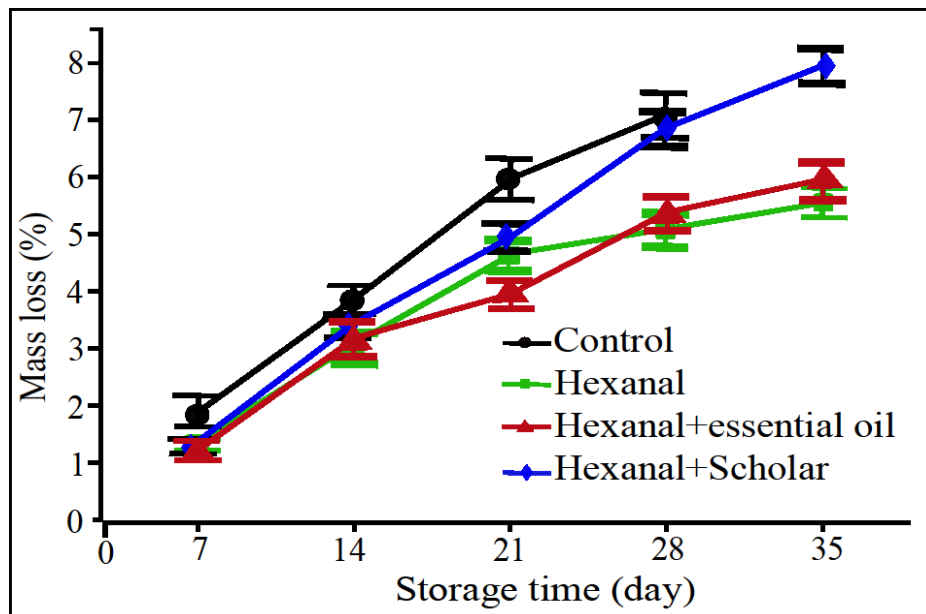


Fig. 3: Effect of treatments on the evolution of mass loss of mango in refrigerated container

V.3.4 Firmness

The evolution of firmness during storage is illustrated in **Fig. 7**. For both skin (A) and flesh (B), firmness decreased progressively with storage time. The rate of loss of firmness of the control fruits was significantly higher than that of the mangoes treated with the formulation containing hexanal alone. No difference was found between the different treatments. A relative stability of the firmness of mangoes treated with hexanal alone was recorded throughout the storage time.

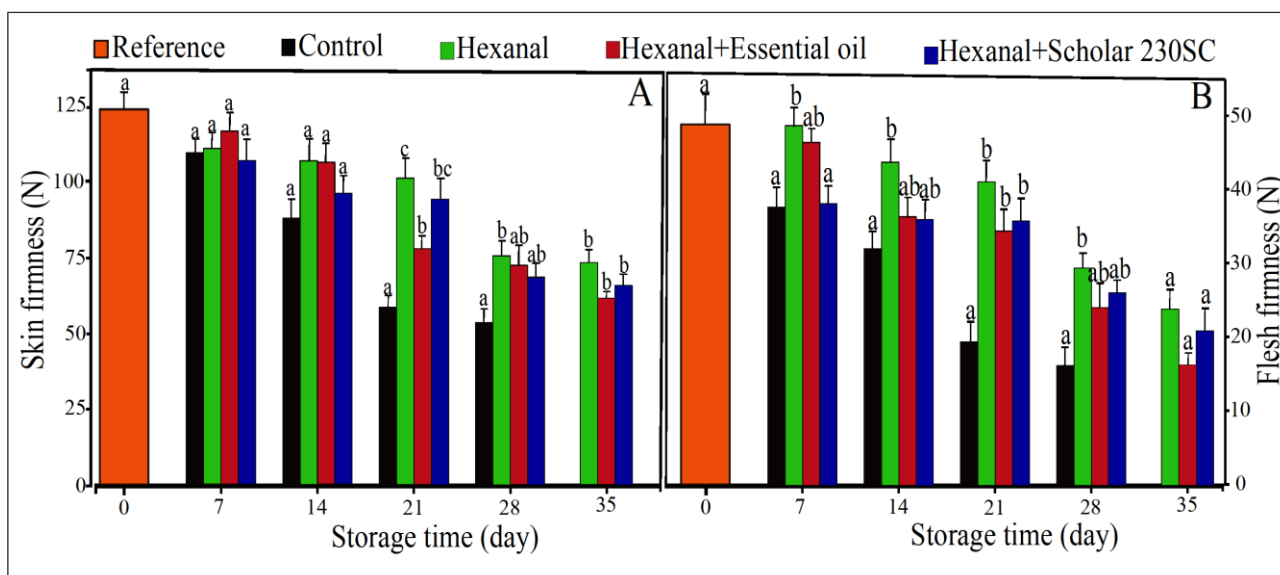


Fig. 4: Effect of treatments on the firmness evolution of mango in refrigerated container

V.3.5 Biochemical changes during storage

Table 4 shows the evolution of biochemical properties during the storage period. The results revealed that titratable acidity decreased while soluble solids content and ripening speed increased with storage time. For all parameters presented in this table, a significant difference was recorded between control mangoes and mangoes treated with the hexanal alone. The other treatments, namely hexanal combined with essential oil or Scholar 230SC were obtained intermediate means between the control and hexanal alone application.

Table 4: Effect of treatments on the biochemical changes in mango in the refrigerated container

Biochemical parameters	Time (day)	Treatments			
		Control	Hexanal	Hexanal + Essential oil	Hexanal + Scholar 230SC
Acidity (%)	0	0.79 ± 0.03a			
	7	0.58 ± 0.04a	0.71 ± 0.03b	0.69 ± 0.09ab	0.65 ± 0.05ab
	14	0.49 ± 0.02a	0.64 ± 0.04b	0.56 ± 0.03ab	0.51 ± 0.04ab
	21	0.41 ± 0.02a	0.57 ± 0.05b	0.49 ± 0.03ab	0.46 ± 0.03ab
	28	0.37 ± 0.04a	0.52 ± 0.02b	0.46 ± 0.02ab	0.42 ± 0.01a
	35	na	0.46 ± 0.01a	0.41 ± 0.03a	0.37 ± 0.03a
Soluble solids content (%)	0	6.34 ± 0.23a			
	7	10.89 ± 0.18a	9.98 ± 0.49a	10.73 ± 0.39a	10.90 ± 0.36a
	14	15.16 ± 0.37a	13.60 ± 0.61a	14.94 ± 0.23a	14.45 ± 0.28a
	21	17.19 ± 0.53b	14.90 ± 0.42a	16.67 ± 0.37ab	16.00 ± 0.6ab
	28	18.08 ± 0.12b	15.54 ± 0.34a	16.76 ± 0.45ab	16.66 ± 0.46ab
	35	na	15.67 ± 0.73a	17.06 ± 0.34a	17.16 ± 0.46a
Ratio SSC/AT	0	8.12 ± 0.52a			
	7	19.53 ± 2.04a	14.41 ± 1.02a	17.61 ± 2.38a	17.92 ± 1.83a
	14	31.45 ± 1.26b	21.96 ± 1.79a	27.51 ± 1.54ab	28.94 ± 2.04b
	21	42.59 ± 2.39b	28.01 ± 3.42a	34.28 ± 1.53ab	35.49 ± 2.48ab
	28	52.19 ± 5.81b	30.17 ± 1.16a	36.798 ± 1.98a	40.08 ± 1.94ab
	35	na	34.04 ± 1.45a	43.58 ± 3.12a	48.87 ± 4.78a
Ripening speed	7	2.41 ± 0.25a	1.78 ± 0.13a	2.17 ± 0.29a	2.21 ± 0.23a
	14	3.87 ± 0.15b	2.71 ± 0.22a	3.39 ± 0.19ab	3.57 ± 0.25b
	21	5.25 ± 0.29b	3.45 ± 0.42a	4.22 ± 0.19ab	4.37 ± 0.31ab
	28	6.43 ± 0.72b	3.72 ± 0.15a	4.53 ± 0.24a	4.94 ± 0.24ab
	35	na	4.20 ± 0.18a	5.37 ± 0.38a	6.02 ± 0.59a

Values followed by the same letter within a row are not significant according to the comparison of means Tukey Multiple Range test at $\alpha=0.05$. na: no available

V.4 Discussion

Rapid ripening and postharvest diseases are the main factors in mango deterioration during storage. To extend the shelf life of mango and reduce postharvest losses, it is necessary to control disease agents and/or slow down ripening through respiration and ethylene production. Thus, the present study was conducted to delay the ripening process and inhibit the development of fungal diseases on mango. Our results revealed that the respiratory intensity of treated and untreated mangoes decreased during the first two days of storage in the container. This result is mainly due to the decrease in fruit temperature caused by exposure to cold (13 °C) in the container. However, the decrease in respiratory intensity is emphasised with the treatments

containing hexanal, indicating an additional action caused by hexanal. The results also showed that the treatments delayed the respiratory peak of the mangoes. This delay was more important in mangoes treated with hexanal alone. This confirms that hexanal delays respiration and therefore ripening. This retarding effect of hexanal was observed by Preethi *et al.* (2018) at different hexanal doses and mango immersion times than ours. However, the presence of the essential oil or scholar leads to an increase in respiratory intensity reducing the time needed to reach peak respiratory. This is an indicator that the decrease in efficacy of the combinations would not be related to an antagonistic effect between hexanal and these fungicides. But it might be the fact of the accelerating respiration of fruits by these compounds. Mass loss is an indicator of fruit freshness during storage. A high loss of mass essentially implies a high loss of water, which is detrimental to the appearance of the mango and therefore on its marketing. Naturally, the fruit mass loss increases with the duration of storage due to the physiology of the fruit (respiration, transpiration). Indeed, during the respiration process of the fruit, the material is used as a substrate to produce energy and water which evaporates (transpiration) at a rate depending on exogenous factors such as postharvest treatments and storage conditions. Our results showed that mangoes treated with hexanal alone or combined with essential oil had similar and lower mass losses than control mangoes or those treated with hexanal combined with Scholar. This suggests that hexanal alone or combined with essential oil maintains fruit freshness. The similarity in mass loss between hexanal alone and its combination with essential oil proves that the action of the essential oil might be localised to the membrane wall of the fruit which regulates water exchanges. The maintenance of the freshness of the fruit is explained by the reduction of respiration and membrane protection. The maintenance of mango freshness by hexanal had also been reported by Anusuya *et al.* (2016) after pre-harvest spraying followed by soaking of hexanal and cold storage ($14 \pm 1^\circ\text{C}$). Firmness is one of the most important quality parameters of mango. It is closely proportional to ripening and storage time. It decreases with ripening and storage time. This decrease is associated with a series of catabolic reactions initiated by a hydrolytic enzyme called Phospholipase D (PLD). This enzyme hydrolyses membrane phospholipids, thus weakening the integrity of the membrane structure and firmness of the fruit. The results of our study show that hexanal alone significantly reduces the loss of firmness compared to the control. This reflects an inhibitory action of hexanal on the Phospholipase D. This inhibitory activity of hexanal has been widely demonstrated in the literature on fruit and vegetables (Paliyath *et al.*, 2008; Tiwari and Paliyath, 2011; Yumbya *et al.*, 2018). This result strengthens that hexanal delays the ripening of mango. Moreover, in our

study, no difference was found between the different combinations and hexanal alone or the control. This means that the fungicides used could not act on the Phospholipase D enzyme. The SSC/AT couple is an important ratio that characterises the flavour of the mango. This ratio is a function of the ripening stage and increases as the fruit tends to the softening. In this study, we observed that hexanal significantly slows down the progression of this ratio compared to the control. This observation reinforces the idea that hexanal delays the ripening of the mango, whereas the combination of hexanal with a fungal treatment did not lead to any difference in this ratio. This result suggests that the adding of essential oil or Scholar 230SC made no difference to the activity of hexanal on ripening.

Ripening, rotting, and loss rates were the tangible characteristics of the treatments' performance. Our findings show that hexanal recorded the lowest ripening rate followed by the combination with essential oil. This result confirms the delaying effect of hexanal observed on all physiological and physicochemical parameters studied in this study. On the other hand, the lowest decay rate was observed with the combination of hexanal with the essential oil of *Ocimum gratissimum* L. This result indicates that the action of the essential oil is especially antimicrobial. The antimicrobial activity of the essential oil of *Ocimum gratissimum* L. was observed in one of our previous studies (unpublished) and the literature (Kouamé *et al.*, 2015). Furthermore, the decay rate is lower in the combination of hexanal with essential oil than in the combination with Scholar (synthetic fungicide). This indicates that the essential oil has higher activity on the observed diseases (mainly anthracnose) than Scholar 230SC. This is a major asset in the quest for an alternative to chemicals. In addition, it has been reported in the literature that the active molecule of Scholar 230SC (fludioxonil) has a poor inhibitory power on anthracnose (Swart *et al.*, 2009). Despite the antimicrobial activity of *O. gratissimum* L. essential oil and Scholar 230SC, the rate of losses including ripening and decay was lower in mangoes treated with hexanal alone than in the combination. This implies that postharvest losses would be mainly due to ripening. Therefore, the use of hexanal alone may be recommended. Nevertheless, as it has been shown in the literature (Swart *et al.*, 2009; Kouamé *et al.*, 2015) that *O. gratissimum* L. essential oil and Scholar 230SC are contact fungicides, they could be used curatively. The treatments do not influence external and internal quality of mango (**material supplementary 2**).

V.5 Conclusion

Hexanal reduced postharvest losses of mango by delaying the ripening. The *Ocimum gratissimum* L. essential oil mainly has an antifungal effect on mango. Therefore, the

combination of the two products strengthens the antifungal activity of hexanal but reduces its anti-ripening effect. Consequently, hexanal alone can be recommended for postharvest treatment of mangoes. While the combination would be better suited to the end of the mango season which usually corresponds to the beginning of the rains.

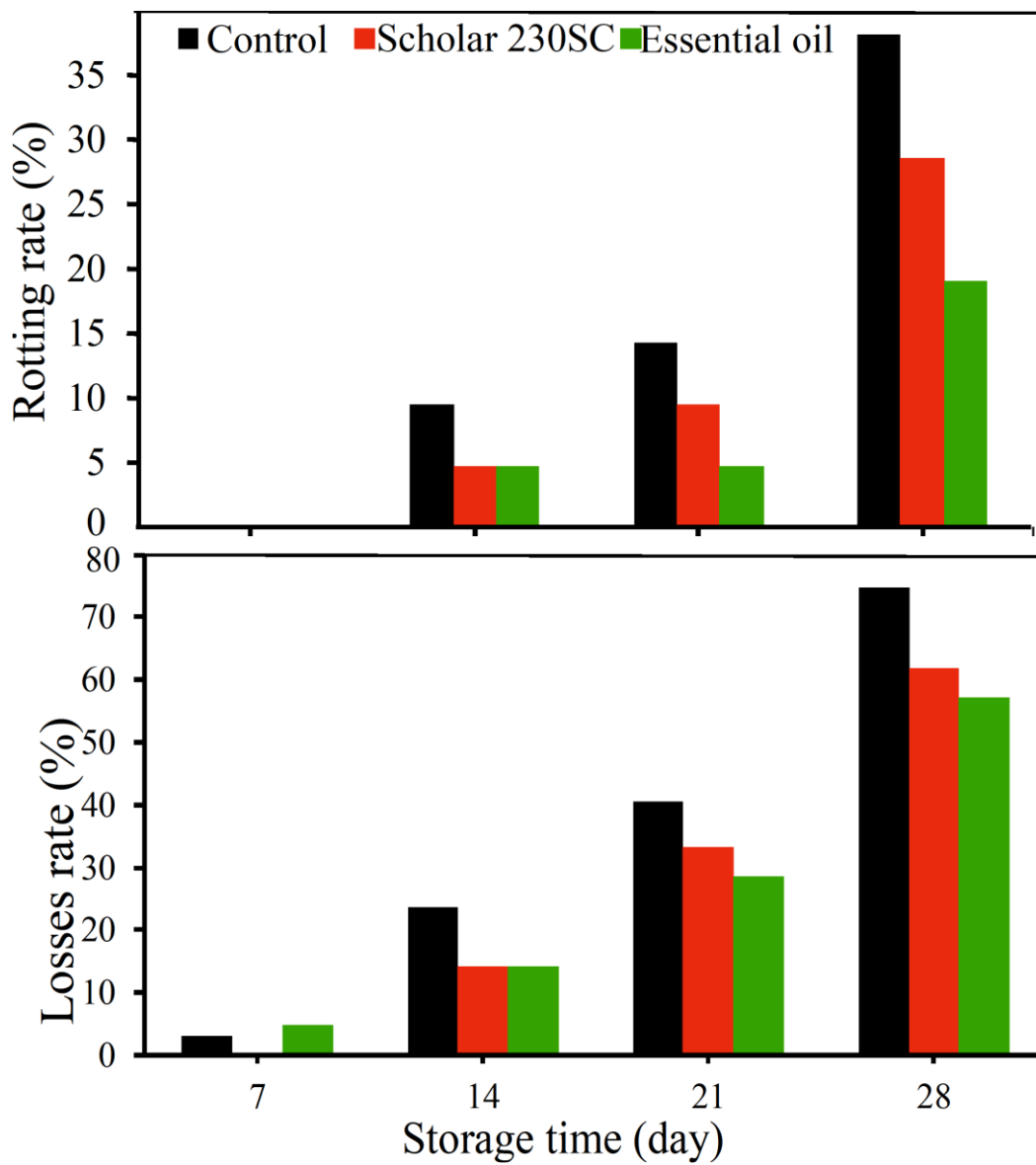
V.6 References

- Anusuya, P., Nagaraj, R., Janavi, G.J., Subramanian, K.S., Paliyath, G. & Subramanian, J. (2016). Pre-harvest sprays of hexanal formulation for extending retention and shelf-life of mango (*Mangifera indica* L.) fruits. *Sci Hortic.*, **211**, 231–240.
- Cheema, A., Padmanabhan, P., Amer, A., Parry, M.J., Lim, L.-T., Subramanian, J. & Paliyath, G. (2018). Postharvest hexanal vapor treatment delays ripening and enhances shelf life of greenhouse grown sweet bell pepper (*Capsicum annum* L.). *Postharvest Biol. Technol.*, **136**, 80–89.
- Gargouri, M., Drouet, P. & Legoy, M.-D. (2004). Hydroperoxide-lyase activity in mint leaves Volatile C6-aldehyde production from hydroperoxy-fatty acids. *J. Biotechnol.*, **111**, 59–65.
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Otterdijk, R. van & Meybeck, A. (Eds.). (2011). Global food losses and food waste: extent, causes and prevention. Presented at the International Congress Save Food! Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Hong, M., Zilinskas, B.A., Knipple, D.C. & Chin, C.-K. (2004). cis-3-Hexenal production in tobacco is stimulated by 16-carbon monounsaturated fatty acids. *Phytochemistry*, **65**, 159–168.
- James, A. & Zikankuba, V. (2017). Postharvest management of fruits and vegetable: A potential for reducing poverty, hidden hunger and malnutrition in sub-Saharan Africa. *Cogent Food & Agric*, **3**, 1312052.
- Jincy, M., Djanaguiraman, M., Jeyakumar, P., Subramanian, K.S., Jayasankar, S. & Paliyath, G. (2017). Inhibition of phospholipase D enzyme activity through hexanal leads to delayed mango (*Mangifera indica* L.) fruit ripening through changes in oxidants and antioxidant enzymes activity. *Sci. Hortic.*, **218**, 316–325.
- Kouamé, K.G., Kouassi, K.N., Kassi, F.M., BOLOU, B.B.A., Tuo, S., Kanko, C. & Koné, D. (2015). Antifungal Activity of Essential Oils Extracted from *Monodora myristica*

- (Gaertn), *Ocimum gratissimum* L. and *Zingiber officinalis* Roscoe on Post-harvest Anthracnose of Mango Fruit (*Mangifera indica* L.) Variety Kent in Côte d'Ivoire. *Int. J. Sci.*, **1**, 8–18.
- Kumar, S.K., El Kayal, W., Sullivan, J.A., Paliyath, G. & Jayasankar, S. (2018). Pre-harvest application of hexanal formulation enhances shelf life and quality of 'Fantasia' nectarines by regulating membrane and cell wall catabolism-associated genes. *Sci. Hortic.*, **229**, 117–124.
- Mulder, H., Steemers, S., Dibouloni, J.B., Tamini, J. & Niang, M.A. (2019). *Value Chain Analysis for Processed Fruits from Burkina Faso, Mali and Ivory Coast*. Côte d'Ivoire: CBI (Centre for the Promotion of Imports from developing countries).
- Paliyath, G., Murr, R.Y., Yada, R. & Pinhero, R.G. (2003). Inhibition of phospholipase D.
- Paliyath, G., Tiwari, K., Yuan, H. & Whitaker, B.D. (2008). Structural Deterioration in Produce: Phospholipase D, Membrane Deterioration, and Senescence. In: *Postharvest Biology and Technology of Fruit, Vegetables, and Flowers*; Paliyath, G., Murr, D. P., Handa, A. K., Lurie, S., Eds.; Wiley-Blackwell: USA, . Pp. 195–239.
- Preethi, P., Soorianathasundaram, K., Sadasakthi, A., Subramanian, K.S., Paliyath, G. & Subramanian, J. (2018). Influence of Hexanal formulation on storage life and post-harvest quality of mango fruits. *J. Environ. Biol.*, **39**, 1006–1014.
- Proulx, E., Cecilia, M., Nunes, N., Emond, J.P. & Brecht, J.K. (2005). Quality attributes limiting papaya postharvest life at chilling and non-chilling temperatures. *Proc. annu. meet. Fla. State Hort. Soc.*, **118**, 389–395.
- Sefidkon, F., Abbasi, K. & Khaniki, G.B. (2006). Influence of drying and extraction methods on yield and chemical composition of the essential oil of *Satureja hortensis*. *Food Chem.*, **99**, 19–23.
- Sharma, M., Jacob, J.K., Subramanian, J. & Paliyath, G. (2010). Hexanal and 1-MCP treatments for enhancing the shelf life and quality of sweet cherry (*Prunus avium* L.). *Sci. Hortic.*, **125**, 239–247.
- Suurmeijer, C.N., Pérez-Gilabert, M., Unen, D.J. van, Hijden, H.T. van der, Veldink, G.A. & Vliegenthart, J.F. (2000). Purification, stabilization and characterization of tomato fatty acid hydroperoxide lyase. *Phytochemistry*, **53**, 177–185.

- Swart, S.H., Serfontein, J.J., Swart, G. & Labuschagne, C. (2009). Chemical Control of Post-Harvest Diseases of Mango: The Effect of Fludioxonil and Prochloraz on Soft Brown Rot, Stem-End Rot and Anthracnose. *Acta Hortic.*, 503–510.
- Tano, K., Oulé, M.K., Doyon, G., Lencki, R.W. & Arul, J. (2007). Comparative evaluation of the effect of storage temperature fluctuation on modified atmosphere packages of selected fruit and vegetables. *Postharvest Biol. Technol.*, **46**, 212–221.
- Tiwari, K. & Paliyath, G. (2011). Microarray analysis of ripening-regulated gene expression and its modulation by 1-MCP and hexanal. *Plant Physiol. Biochem.*, **49**, 329–340.
- Yuan, H.Y., Hu, X.L., Li, X., Li, Y.H. & Gopinadhan, P. (2009). Effect of hexanal treatment on postharvest quality of “darselect” strawberry (*Fragaria ×ananassa* Duch.) Fruit. *Acta Hortic.*, **839**, 315–321.
- Yumbya, P.M., Hutchinson, M.J., Ambuko, J., Owino, W.O., Sullivan, A., Paliyath, G. & Subramanian, J. (2018). Efficacy of hexanal application on the post-harvest shelf life and quality of banana fruits (*Musa acuminata*) in Kenya. *Trop. Agric.*, **95**, 14–35.

Supplementary material



Material 1: Effect of antifungal treatments on the rotting and losses of mango in refrigerated container



Control



Hexanal + Essential



Hexanal + Scholar 230SC



Hexanal



Material 2: External and internal quality of mango according to treatments after 28 days

CHAPITRE VI : SYNTHÈSE DES RESULTATS

La mangue, par son importance économique et nutritionnelle, joue un rôle très important dans la lutte contre la pauvreté et la malnutrition particulièrement dans les pays producteurs. Cependant, ces produits subissent d'énormes pertes après la récolte dues aux maladies et aux conditions de gestion post-récolte. Certes, il existe des technologies pour réduire ces pertes mais la conciliation de leur coût, efficacité, sûreté et application reste encore problématique face aux attentes du consommateur. En effet, ce dernier est devenu réticent aux produits chimiques exigeant en lieu et place des produits naturels.

Pour contribuer à la réduction des pertes de la mangue et répondre aux attentes du consommateur, nous avons décidé d'étudier deux produits naturels à savoir l'hexanal et l'huile essentielle de *Ocimum gratissimum* L. ». L'hexanal a été utilisé dans cette étude dans le but de contrôler la maturation rapide de la mangue alors que l'huile essentielle a été appliquée afin de réduire les moisissures se développant au cours du stockage et de la maturation. Du point de vue technologique, les objectifs de l'étude étaient de mettre à la disposition des exportateurs des fruits et légumes tropicaux, et notamment de la mangue, une méthode de réduction des pertes post-récoltes qui soit à la fois efficace, simple à utiliser et surtout accessible à moindre coût en vue d'améliorer les revenus des acteurs de la filière.

Nos essais expérimentaux ont été réalisés sur des mangues de variétés « Kent » qui représente le plus grand pourcentage de mangues cultivées et exportées par la Côte d'Ivoire.

L'approche méthodologique a consisté à étudier les effets des produits individuellement puis l'impact de leur combinaison.

- **Impact de l'hexanal sur les pertes et la qualité de la mangue**

La première partie de nos expérimentations a été consacrée à l'étude de l'effet du trempage des mangues après récolte dans la formulation à base d'hexanal sur les pertes post-récolte et les paramètres de qualité de la mangue (**Publication 1**). Les essais ont été réalisés sur des mangues de variété "Kent" récoltées dans un verger commercial. Les fruits ont été trempés dans la formulation aqueuse d'hexanal avant d'être stockées au froid (13 °C) puis mûries à la température du laboratoire (30 °C). D'une part, les résultats montrent qu'un traitement par trempage à l'hexanal permet d'augmenter la durée de conservation de la mangue au froid. De plus, l'hexanal réduit les pertes post-récolte de 22,85 % et la détérioration de 12 % après quatre semaines de stockage au froid. Ce qui permettrait donc aux exportateurs de gagner un temps de manœuvre et surtout de faire un profit monétaire. Enfin, au niveau qualitatif, le traitement à l'hexanal augmentait la fermeté des fruits et la teneur en acide ascorbique par rapport aux fruits

témoins. Alors qu'aucune différence n'est observée au niveau de la teneur en solides solubles, l'acidité titrable, le pH, la matière sèche et la couleur. Mieux, l'analyse sensorielle a montré que l'hexanal améliore l'appréciation générale, le goût sucré et la couleur de la chair de la mangue. Ceci est un indicateur important pour la satisfaction des attentes du consommateur. La présence de mangues non-mures infectées a suscité l'intérêt de la recherche d'un fongicide naturel détaillée dans la seconde partie de cette étude.

- **Recherche de traitement antifongique naturel**

La deuxième partie de notre étude a été dédiée à l'évaluation de l'activité antifongique de plusieurs espèces de plantes à savoir la basilic Africaine (*Ocimum gratissimum* L.), le neem (*Azadirachta indica*) et la papaye (*Carica papaya* L.). Dans une étude préliminaire, les extraits aqueux et huile essentielle de ces plantes ont été testés pour leur capacité à inhiber le pathogène *Colletotrichum gloeosporioides*, l'agent causal de la principale maladie de la mangue. Les résultats de cette étude préliminaire ont révélé que l'espèce *Ocimum gratissimum* L. a le pouvoir antifongique le plus important (**Annexe 2, publication 2**).

Les propriétés antifongiques de cette espèce végétale ont été confirmées sur d'autres champignons des fruits et légumes (**Publication 2**). La confirmation a consisté à évaluer "in vitro" l'activité inhibitrice de l'extrait aqueux et l'huile essentielle de *Ocimum gratissimum* L. sur *Botrytis cinerea*, *Colletotrichum gloeosporioides* et *Fusarium oxysporum*. Les résultats ont montré que l'huile essentielle a une capacité inhibitrice de 100 % à la concentration de 500 ppm sur *B. cinerea* et *C. gloeosporioides* et à 750 ppm sur *F. oxysporum*. Quant à l'extrait aqueux, une inhibition totale (100 %) de *B. cinerea* et *C. gloeosporioides* a été observée à la concentration de 60 % (v/v) ou 16,66 % (p/v) alors que *F. oxysporum* a été inhibé à 93 % à la même concentration. Ainsi, nous démontrons non seulement le pouvoir antifongique de *Ocimum gratissimum* L.

Conscient que ce résultat peut varier selon la production et la conservation de l'huile essentielle de *Ocimum gratissimum* L. achetée dans le commerce, nous avons décidé d'approfondir notre étude sur le pouvoir antifongique de cette plante. Ainsi, nous avons déterminé l'activité inhibitrice de l'huile essentielle produite en laboratoire sur des pathogènes directement isolés de la mangue (**publication 3**). Dans cette troisième expérience sur le fongicide, nous avons étudié la qualité phytochimique de l'huile essentielle de *O. gratissimum* L. et son activité antifongique contre deux pathogènes isolés de la mangue. L'évaluation "in vitro" et "in vivo" sur des mangues de variété "Kent" collectées à Korhogo, Côte d'Ivoire. Ainsi, quatre

concentrations (250, 500, 1000 et 2000 ppm) d'huile essentielle ont été testées "in vitro" sur la croissance mycélienne de *Colletotrichum gloeosporioides* et *Lasiodiplodia theobromae*. La concentration optimale (2000 ppm) a été utilisée "in vivo" sur la mangue cv "Kent". Nos résultats ont montré que l'huile essentielle de *O. gratissimum* L. a inhibé la croissance mycélienne de *L. theobromae* et *C. gloeosporioides* de plus de 75 % et 80 %, respectivement. Le traitement des mangues avec l'huile essentielle de *O. gratissimum* L. a réduit quasiment de moitié le taux d'altération fongique (19,04 %) par rapport au témoin (38,91 %). Même si le mode d'action de l'huile essentielle de *O. gratissimum* L n'est pas établi, il est clair qu'elle possède un fort pouvoir antifongique. En outre, l'analyse chimique de l'huile essentielle a montré qu'elle contient de nombreux composés chimiques divers et variés. Ce qui constitue un atout majeur car cela réduirait les possibilités d'adaptation ou de résistance du pathogène cible. De plus, l'application de l'huile essentielle sur les mangues n'a aucun impact sur les paramètres physicochimiques et sensoriels. En conséquence, l'huile essentielle de *O. gratissimum* L. peut servir d'alternative aux produits chimiques pour contrôler les maladies post-récolte de la mangue.

- **Association des traitements d'hexanal et d'huile essentielle suivie d'un stockage au froid (13 °C)**

Le dernier volet de notre étude a été consacré à l'influence de l'application conjointe de l'hexanal et de l'huile essentielle de *O. gratissimum* L. sur les pertes et les paramètres de qualité de la mangue variété « Kent » (**Publication 4**).

La forte périssabilité de la mangue est majoritairement liée à sa maturation rapide et à diverses maladies causées par des champignons et des bactéries. Évaluer l'effet synergique de l'hexanal et l'huile essentielle sur la maturation et les maladies de la mangue en conditions d'exportation. Cette expérimentation a été menée d'une part pour évaluer l'effet de l'application post-récolte d'hexanal combiné à un fongicide sur les pertes post-récolte de la mangue tout en maintenant sa qualité en chambre froide. D'autre part, pour proposer une technologie efficace aux exportateurs de la mangue en un seul traitement. Ainsi, des mangues de la variété 'Kent' ont été récoltées dans un champ commercial certifié biologique situé dans la région de Korhogo en Côte d'Ivoire. Les fruits ont ensuite été trempés dans une formulation aqueuse d'hexanal, une formulation aqueuse d'hexanal combinée à de l'huile essentielle de *Ocimum gratissimum* L. ou Scholar Max® 230SC et stockés dans un conteneur réfrigéré ($13,2 \pm 0,7$ °C et HR $92,3 \pm 0,5$ %). Les paramètres physiologiques et physicochimiques associés au mûrissement des fruits

ainsi les infections ont été évalués chaque semaine. Comme attendu (à travers l'article 1), l'application d'hexanal seul a eu un effet significatif sur la fermeté, la perte de masse, le TSS, le taux de respiration, l'acidité et la vitesse de maturation par rapport au contrôle. En revanche, hormis le taux de pourriture, la combinaison avec l'huile essentielle ou Scholar Max® 230 SC a montré des valeurs intermédiaires entre l'hexanal seul et le témoin. La combinaison de l'hexanal avec un fongicide permet certes de réduire la pourriture des fruits par rapport à l'hexanal seul, mais de manière surprenante elle diminue l'effet inhibiteur de l'hexanal sur le mûrissement des mangues. Ainsi, par rapport au témoin, l'hexanal a enregistré une différence de pertes de 37,14 % pour l'hexanal après cinq semaines de stockage, tandis que cette différence est de 24,29 % et de 25,71 % pour sa combinaison avec l'huile essentielle et Scholar Max® 230SC (le fludioxonil), respectivement. Ces résultats indiquent que les pertes de la mangue sont plus liées à la maturation qu'aux maladies. Cela peut s'expliquer par le fait que les maladies, particulièrement l'antracnose, se développent qu'une fois que le fruit débute son mûrissement. Aussi, la période de la campagne (début, mi-saison ou fin) peut être un indicateur du choix du traitement à appliquer. En effet, à la fin de la campagne qui coïncide avec le début de la saison pluvieuse, la prévalence des maladies est plus importante. Ce qui signifie que les pertes seront plus associées aux maladies et donc la combinaison de l'hexanal et l'huile essentielle sera plus bénéfique. En plus, tous les traitements ont augmenté la durée de conservation des mangues de sept jours par rapport au témoin. Ce chapitre a aussi confirmé les résultats des précédents chapitres. Il a également montré que l'huile essentielle de *O. gratissimum* L. est une bonne alternative à l'utilisation du Scholar Max® 230 SC.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Conclusion

Dans cette étude, nous avons étudié individuellement l'hexanal et l'huile essentielle puis en combinaison pour améliorer la conservation de la mangue. L'objectif de l'étude a été de mettre à la disposition des exportateurs des fruits et légumes tropicaux, cas de la mangue, une méthode de réduction des pertes post-récoltes qui est à la fois efficace, simple à utiliser et surtout accessible à moindre coût en vue d'améliorer les revenus des acteurs de la filière. L'hexanal a permis de réduire les pertes post-récoltes de la mangue (23 % à 38 %) et l'huile essentielle a réduit les pourritures (11 %). La combinaison des deux produits limite l'effet retardateur de murissement par l'hexanal mais renforce sa capacité à réduire les pourritures. Par conséquent, l'hexanal peut être recommandé en début de campagne de la mangue (où la prévalence des maladies est faible) alors la combinaison sera mieux indiquée dans les zones ou périodes humides (fin de saison mangue). En effet, la prévalence des maladies post-récoltes de la mangue est plus importante en fin de saison qui correspond à la reprise des pluies.

Perspectives

Certes, cette étude offre de bons résultats mais pour une amélioration continue de la conservation de la mangue, plusieurs pistes de recherche peuvent être explorées en vue d'optimiser cette technologie telles que :

- Améliorer l'extraction de l'huile essentielle et tester *in vivo* la décoction
- Identifier la fraction active de l'huile essentielle et son mode d'action
- Identifier le(s) composé(s) de l'huile essentielle responsables de l'augmentation de l'intensité respiratoire de la mangue ;
- Faire une analyse transcriptomique ou métabolomique pour comprendre le mécanisme d'action de l'hexanal et l'huile essentielle
- Étendre l'application de cette technologie à d'autres fruits et légumes ou même à d'autres fruits et légumes ;
- Faire une évaluation de la rentabilité économique et l'adoption de la technologie par les acteurs en industrie

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adeola, S.A., Folorunso, O.S., Okedeyi, O.O., Ogungbe, B.F., Babatimehin, O.B., Thanni, O.Z., 2014. Antioxidant and Antimicrobial Activities of the Volatile Oil of *Ocimum gratissimum* and its Inhibition on Partially Purified and Characterized Extracellular Protease of *Salmonella enteritidis* - Sci Alert Responsive Version. *American Journal of Drug Discovery and Development* 4, 180–193. <https://doi.org/10.3923/ajdd.2014.180.193>
- Ajila, C.M., Naidu, K.A., Bhat, S.G., Rao, U.J.S.P., 2007. Bioactive compounds and antioxidant potential of mango peel extract. *Food Chemistry* 105, 982–988. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.04.052>
- Akem, C.N., 2006. Mango Anthracnose Disease: Present Status and Future Research Priorities. *Plant Pathology Journal* 5, 266–273.
- Alexander, L., Grierson, D., 2002. Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climacteric fruit ripening. *Journal of Experimental Botany* 53, 2039–2055. <https://doi.org/10.1093/jxb/erf072>
- Alexander, P., 2016. Phytochemical Screening and Mineral Composition of the Leaves of *Ocimum gratissimum* (Scent Leaf). *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology* 4, 161–165. <https://doi.org/10.3126/ijasbt.v4i2.15101>
- Anusuya, P., Nagaraj, R., Janavi, G.J., Subramanian, K.S., Paliyath, G., Subramanian, J., 2016. Pre-harvest sprays of hexanal formulation for extending retention and shelf-life of mango (*Mangifera indica* L.) fruits. *Scientia Horticulturae* 211, 231–240. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.08.020>
- Aprilliani, F., Warsiki, E., Iskandar, A., 2018. Kinetic studies of potassium permanganate adsorption by activated carbon and its ability as ethylene oxidation material. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 141, 012003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/141/1/012003>
- Arah, I.K., Ahorbo, G.K., Anku, E.K., Kumah, E.K., Amaglo, H., 2016. Postharvest Handling Practices and Treatment Methods for Tomato Handlers in Developing Countries: A Mini Review. *Advances in Agriculture* 2016, e6436945. <https://doi.org/10.1155/2016/6436945>
- Arauz, L.F., 2000. Mango Anthracnose: Economic Impact and Current Options For Integrated Management. *Plant Disease* 84, 600–611 <https://doi.org/10.1094/PDIS.2000.84.6.600>
- Arbonnier, M., 2000. Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d’Afrique de l’Ouest. CIRAD; MNHN, Montpellier (France).
- Artés, F., 2004. Refrigeration for Preserving the Quality and Enhancing the Safety of Plant Foods. *Bulletin of the International Institute of Refrigeration* 1, 5–25.
- Ashitha, G.N., Preetha, P., Varadharaju, N., 2019. Effect of Post-Harvest Hexanal Treatment on Shelf Life of Guava. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 8, 1057–1067. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.807.127>
- Ashitha, G.N., Sunny, A.C., Nisha, R., 2020. Effect of Pre-harvest and Post-harvest Hexanal Treatments on Fruits and Vegetables: *Agricultural Review*. AG 41, 124–131. <https://doi.org/10.18805/ag.R-1928>

- Asrey, R., Patel, V.B., Barman, K., Pal, R.K., 2013. Pruning affects fruit yield and postharvest quality in mango (*Mangifera indica* L.) cv. Amrapali. *Fruits* 68, 367–380. <https://doi.org/10.1051/fruits/2013082>
- Baldwin, E.A., 2004. Ethylene and Postharvest Commodities. *HortScience* 39, 1538–1540. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.7.1538>
- Bally, I.S.E., 2006. *Mangifera indica* (mango), Species Profiles for Pacific Island Agroforestry (www.traditionaltree.org). *Permanent Agriculture Resources* (PAR), Australia.
- Bally, I.S.E., Hofman, P.J., Irving, D.E., Coates, L.M., Dann, E.K., 2009. The effects of nitrogen on postharvest disease in mango (*Mangifera indica* L. 'Keitt'). *Acta Horticulturae*. 365–370. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.820.42>
- Bariş, Ö., Gulluce, Sahin, F., Ozer, H., Kilic, H., Ozkan, Sokmen, A., Ozbek, M., 2006. Biological Activities of the Essential Oil and Methanol Extract of *Achillea biebersteinii* Afan. (Asteraceae). *Turkish Journal of Biology* 30, 65–73.
- Barry, C.S., Llop-Tous, M.I., Grierson, D., 2000. The regulation of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase gene expression during the transition from system-1 to system-2 ethylene synthesis in tomato. *Plant Physiology* 123, 979–986. <https://doi.org/10.1104/pp.123.3.979>
- Bellows, T.S., 2001. Restoring Population Balance through Natural Enemy Introductions. *Biological Control* 21, 199–205. <https://doi.org/10.1006/bcon.2001.0936>
- Bender, R.J., Brecht, J.K., Sargent, S.A., Huber, D.J., 2000. Mango Tolerance to Reduced Oxygen Levels in Controlled Atmosphere Storage. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 125, 707–713. <https://doi.org/10.21273/JASHS.125.6.707>
- Benelli, G., Pavela, R., Maggi, F., Nkuimi Wandjou, J.G., Yvette Fofie, N.G.B., Koné-Bamba, D., Sagratini, G., Vittori, S., Caprioli, G., 2019. Insecticidal activity of the essential oil and polar extracts from *Ocimum gratissimum* grown in Ivory Coast: Efficacy on insect pests and vectors and impact on non-target species. *Industrial Crops and Products* 132, 377–385. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.02.047>
- Bintsis, T., Litopoulou-Tzanetaki, E., Robinson, R.K., 2000. Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry – a critical review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80, 637–645. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(20000501\)80:6<637:AID-JSFA603>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(20000501)80:6<637:AID-JSFA603>3.0.CO;2-1)
- Bompard, J.M., 2009. Taxonomy and systematics., in: Litz, R.E. (Ed.), *The Mango: Botany, Production and Uses*. CABI, Wallingford, pp. 19–41. <https://doi.org/10.1079/9781845934897.0019>
- Braz, J., 2004. Panorama du marché international de la mangue : cas de la filière d'exportation du Brésil. Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier, France.
- Brecht, J., Yahia, E., 2017. Harvesting and PH Technol of Mango. Handbook of Mango Fruit, in: *Handbook of Mango Fruit: Production, Postharvest Science, Processing Technology and Nutrition*. Wiley Blackwell, United States of America, pp. 105–129.
- Brecht, J.K., Chau, K.V., Fonseca, S.C., Oliveira, F.A.R., 2003. CA transport of fresh produce in map: designing systems for optimal atmosphere conditions throughout the postharvest handling chain. *Acta Horticulturae*. 799–801. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.600.124>

- Brecht, J.K., Sargent, S.A., Kader, A.A., Mitcham, E.J., Maul, F., Brecht, P.E., Menocal, O., 2020. Postharvest mango: best management practices manual. University of Florida's Institute of Food and Agricultural Sciences Extension.
- Brown, E.D., Wright, G.D., 2016. Antibacterial drug discovery in the resistance era. *Nature* 529, 336–343.
- Bussaman, P., Namsena, P., Rattanasena, P., Chandrapatya, A., 2012. Effect of Crude Leaf Extracts on *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Sacc. *Psyche: A Journal of Entomology* 2012, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2012/309046>
- Campbell, C.K., Johnson, E.M., Warnock, D.W., 2013. Identification of pathogenic fungi, 2nd ed. ed. *Wiley-Blackwell*, Chichester, West Sussex ; Hoboken, NJ.
- Cao, J., Li, X., Wu, K., Jiang, W., Qu, G., 2015. Preparation of a novel PdCl₂–CuSO₄-based ethylene scavenger supported by acidified activated carbon powder and its effects on quality and ethylene metabolism of broccoli during shelf-life. *Postharvest Biology and Technology* 99, 50–57. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.07.017>
- Carlisi, D., D'Anneo, A., Martinez, R., Emanuele, S., Buttitta, G., Di Fiore, R., Vento, R., Tesoriere, G., Lauricella, M., 2014. The oxygen radicals involved in the toxicity induced by parthenolide in MDA-MB-231 cells. *Oncology Reports* 32, 167–172. <https://doi.org/10.3892/or.2014.3212>
- Cheema, A., Padmanabhan, P., Subramanian, J., Blom, T., Paliyath, G., 2014. Improving quality of greenhouse tomato (*Solanum lycopersicum* L.) by pre- and postharvest applications of hexanal-containing formulations. *Postharvest Biology and Technology* 95, 13–19. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.03.012>
- Cissé, M., 2012. Immobilisation d'un système lactoperoxydase dans un enrobage de chitosane dans le but de prolonger la conservation des mangues (Doctorat). Montpellier SupAgro, Montpellier (France).
- Conti, V., Izzo, V., Corbi, G., Russomanno, G., Manzo, V., De Lise, F., Di Donato, A., Filippelli, A., 2016. Antioxidant Supplementation in the Treatment of Aging-Associated Diseases. *Frontiers in Pharmacology* 7, 1–11.
- Corkidi, G., Balderas-Ruíz, K.A., Taboada, B., Serrano-Carreón, L., Galindo, E., 2006. Assessing mango anthracnose using a new three-dimensional image-analysis technique to quantify lesions on fruit. *Plant Pathology* 55, 250–257. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2005.01321.x>
- Dambreville, A., 2013. Croissance et développement du manguier (*Mangifera indica* L.) in natura – Approche expérimentale et modélisation de l'influence d'un facteur exogène, la température, et de facteurs endogènes architecturaux (Doctorat). Université de Montpellier II, Montpellier (France).
- Day, A., Gee, J., Dupont, M., Johnson, I., Williamson, G., 2003. Absorption of quercetin-3-glucoside and quercetin-4'-glucoside in the rat small intestine: the role of lactase phlorizin hydrolase and the sodium-dependent glucose transporter. *Biochemical pharmacology* 65, 1199–1206. [https://doi.org/10.1016/S0006-2952\(03\)00039-X](https://doi.org/10.1016/S0006-2952(03)00039-X)
- De Laroussilhe, F., 1980. Le manguier. Maisonneuve & Larose, France.
- De Roffignac, L., Le Bellec, F., Herzog, D., 2007. *Sternochetus mangiferae* (Fabricius) (Coleoptera: Curculionidae), charançon du noyau de la mangue, en vergers de

- manguiers à la Guadeloupe. *Fruits* 62, 279–293. https://doi.org/10/1/document_541110.pdf
- Diedhiou, P.M., Mbaye, N., Dramé, A., Samb, P.I., 2007. Alteration of post-harvest diseases of mango *Mangifera indica* through production practices and climatic factors. *African Journal of Biotechnology* 6, 1087–1094. <https://doi.org/10.4314/ajb.v6i9.57113>
- Diomande, M., Konan, K.H., Monnet, Y.T., Kanga, K.A., Fagbohoun, J.B., Gbotognon, J.O., Kouadio, E.J.P., Kouamé, L.P., 2021. Bioactives and Antimicrobial Potential of Processing by Products of Four Mango Varieties (*Mangifera indica* Varieties Amelie, Kent, Keitt and Brooks) from the Poro Region (Ivory Coast). *International Journal of Biochemistry Research & Review* 30, 19–28. <https://doi.org/10.9734/ijbcrr/2021/v30i530266>
- Djioua, T., 2010. Amélioration de la conservation des mangues 4ème gamme par application de traitements thermiques et utilisation d’une conservation sous atmosphère modifiée (Doctorat). Université d’Avignon et des pays de Vaucluse (France), Avignon (France).
- Doerflinger, F.C., Rickard, B.J., Nock, J.F., Watkins, C.B., 2015. An economic analysis of harvest timing to manage the physiological storage disorder firm flesh browning in ‘Empire’ apples. *Postharvest Biology and Technology* 107, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.04.006>
- Done, A.J., Traustadóttir, T., 2016. Nrf2 mediates redox adaptations to exercise. *Redox Biology* 10, 191–199. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2016.10.003>
- Dorais, M., Ehret, D.L., Papadopoulos, A.P., 2008. Tomato (*Solanum lycopersicum*) health components: from the seed to the consumer. *Phytochemistry Reviews* 7, 231–250. <https://doi.org/10.1007/s11101-007-9085-x>
- Droby, S., Wisniewski, M., Macarasin, D., Wilson, C., 2009. Twenty years of postharvest biocontrol research: Is it time for a new paradigm? *Postharvest Biology and Technology* 52, 137–145. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.11.009>
- Dubey, K.N., Tiwari, T.N., Mandin, D., Andriamboavonjy, H., Chaumont, J.-P., 2000. Antifungal properties of *Ocimum gratissimum* essential oil (ethyl cinnamate chemotype). *Fitoterapia* 71, 567–569. [https://doi.org/10.1016/S0367-326X\(00\)00206-9](https://doi.org/10.1016/S0367-326X(00)00206-9)
- Dubey, N.K., Tiwari, T.N., Mandin, D., Andriamboavonjy, H., Chaumont, J.-P., 2002. Antifungal proprieties of *Ocimum gratissimum* essential oil (ethyl cinnamate chemotype). *Fitoterapia* 71, 567–569.
- Ediriweera, M.K., Tennekoon, K.H., Samarakoon, S.R., 2017. A Review on Ethnopharmacological Applications, Pharmacological Activities, and Bioactive Compounds of *Mangifera indica* (Mango). *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* 2017, 24p. <https://doi.org/10.1155/2017/6949835>
- Effraim, K.D., Jacks, T.W., Sadipo, O.A., 2003. Histopathological studies on the toxicity of *Ocimum gratissimum* leave extract on some organs of rabbit. *African Journal of Biomedical Research* 6, 21–25. <https://doi.org/10.4314/ajbr.v6i1.54018>
- El Kayal, W., El-Sharkawy, I., Dowling-Osborn, C., Paliyath, G., Sullivan, J.A., Subramanian, J., 2017. Effect of Pre-harvest Application of Hexanal and Growth Regulators in Enhancing Shelf Life and Regulation of Membrane Associated Genes in Strawberry. *Canadian Journal of Plant Science* 97, 1109–1120. <https://doi.org/10.1139/CJPS-2016-0351>

- Elhefnny, A., Gyulakhmedov, S., El-Hefnawi, S., Gad, M., Kuliyevev, A., 2012. Effect of Controlled Atmosphere Storage (CAS) on Phosphofructokinase Activity in Mango (*Mangifera indica* L.) cv. Keitt. *Journal of King Abdulaziz University-Meteorology, Environment and Arid Land Agriculture Sciences* 23, 15–28. <https://doi.org/10.4197/Met.23-2-2>
- Emongor, V., 2015. The Effects of Temperature on Storage Life of Mango (*Mangifera indica* L.). *American Journal of Experimental Agriculture* 5, 252–261. <https://doi.org/10.9734/AJEA/2015/12174>
- Erdoğan, D., Güner, M., Dursun, E., Gezer, İ., 2003. Mechanical Harvesting of Apricots. *Biosystems Engineering* 85, 19–28. [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(03\)00024-2](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(03)00024-2)
- FAOSTAT [WWW Document], 2022. URL <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (accessed 2.21.22).
- Faria, T. de J., Ferreira, R.S., Yassumoto, L., Souza, J.R.P. de, Ishikawa, N.K., Barbosa, A. de M., 2006. Antifungal activity of essential oil isolated from *Ocimum gratissimum* L. (eugenol chemotype) against phytopathogenic fungi. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 49, 867–871. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132006000700002>
- Fernie, A.R., Carrari, F., Sweetlove, L.J., 2004. Respiratory metabolism: glycolysis, the TCA cycle and mitochondrial electron transport. *Current Opinion in Plant Biology Latest Journal Impact* 7, 254–261. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2004.03.007>
- Fonseca, S.C., Oliveira, F.A.R., Brecht, J.K., 2002. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *Journal of Food Engineering* 52, 99–119. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00106-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00106-6)
- Freire, C.M.M., Marques, M.O.M., Costa, M., 2006. Effects of seasonal variation on the central nervous system activity of *Ocimum gratissimum* L. essential oil. *Journal of Ethnopharmacology* 105, 161–166. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.10.013>
- Gargouri, M., Akacha, N.B., Kotti, F., Rejeb, I.B., 2008. Voie de la lipoxygénase : valorisation d’huiles végétales et biosynthèse de flaveurs. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement* 12, 185–202.
- Gargouri, M., Drouet, P., Legoy, M.-D., 2004. Hydroperoxide-lyase activity in mint leaves Volatile C6-aldehyde production from hydroperoxy-fatty acids. *Journal of Biotechnology* 111, 59–65. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2004.03.005>
- Getinet, H., Seyoum, T., Woldetsadik, K., 2008. The effect of cultivar, maturity stage and storage environment on quality of tomatoes. *Journal of Food Engineering* 87, 467–478. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.12.031>
- Gill, K.S., Dhaliwal, H.S., Mahajan, B.V.C., Paliyath, G., Boora, R.S., 2016. Enhancing postharvest shelf life and quality of guava (*Psidium guajava* L.) cv. Allahabad Safeda by pre-harvest application of hexanal containing aqueous formulation. *Postharvest Biology and Technology* 112, 224–232. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.09.010>
- Giovannoni, J., Nguyen, C., Ampofo, B., Zhong, S., Fei, Z., 2017. The Epigenome and Transcriptional Dynamics of Fruit Ripening. *Annual Review of Plant Biology*. 68, 20.1-20.24. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042916-040906>

- González-Aguilar, G.A., Wang, C.Y., Buta, J.G., Krizek, D.T., 2001. Use of UV-C irradiation to prevent decay and maintain postharvest quality of ripe 'Tommy Atkins' mangoes. *International Journal of Food Science and Technology* 36, 767–773.
- Gross, K.C., Wang, C.Y., Saltveit, M., 2016. The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks. United States Department of Agriculture, United States of America.
- Gu, S., Cochran, R.C., Du, G., Hakim, A., Fugelsang, K.C., Ledbetter, J., Ingles, C.A., Verdegaal, P.S., 2005. Effect of training-pruning regimes on Eutypa dieback and performance of "Cabernet Sauvignon" grapevines. *Journal of horticultural science & biotechnology* 80, 313–318.
- Gunasekaran, K., Karthika, S., Nandakumar, N.B., Subramanian, K.S., Paliyath, G., Subramanian, J., 2015. Biosafety of Hexanal.
- Hameed Ullah, Ahmad, S., Thompson, A.K., Ahmad, W., Nawaz, M.A., 2010. Storage of ripe mango (*Mangifera indica* L.) cv. Alphonso in controlled atmosphere with elevated CO₂. *Pakistan Journal of Botany* 42, 2077–2084.
- Harborne, J.B., Williams, C.A., 2000. Advances in flavonoid research since 1992. *Phytochemistry* 55, 481–504. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)00235-1](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)00235-1)
- Hennebelle, T., Sarpaz, S., Bailleul, F., 2004. Polyphénols végétaux, sources, utilisations et potentiel dans la lutte contre le stress oxydatif. *De La Recherche A La Pratique* 2, 3–6. <https://doi.org/10.1007/s10298-004-0003-8>
- Hernández-Albíter, R.C., Barrera-Necha, L.L., Bautista, S., Bravo-Luna, L., Cp, M., 2007. Antifungal Potential of Crude Plant Extracts on Conidial Germination of Two Isolates of *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. and Sacc. *South African Avocado Growers Association Yearbook* 25, 124–130.
- Herremans, E., Melado-Herreros, A., Defraeye, T., Verlinden, B., Hertog, M., Verboven, P., Val, J., Fernández-Valle, M.E., Bongaers, E., Estrade, P., Wevers, M., Barreiro, P., Nicolai, B.M., 2014. Comparison of X-ray CT and MRI of watercore disorder of different apple cultivars. *Postharvest Biology and Technology* 87, 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.08.008>
- Hofman, P.J., Smith, L.G., Joyce, D.C., Johnson, G.I., Meiburg, G.F., 1997. Bagging of mango (*Mangifera indica* cv. 'Keitt') fruit influences fruit quality and mineral composition. *Postharvest Biology and Technology* 12, 83–91. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(97\)00039-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(97)00039-2)
- Hong, M., Zilinskas, B.A., Knipple, D.C., Chin, C.-K., 2004. cis-3-Hexenal production in tobacco is stimulated by 16-carbon monounsaturated fatty acids. *Phytochemistry* 65, 159–168. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2003.10.013>
- Hossain, M.A., Kabir, M.J., Salehuddin, S.M., Rahman, S.M.M., Das, A.K., Singha, S.K., Alam, M.K., Rahman, A., 2010. Antibacterial properties of essential oils and methanol extracts of sweet basil *Ocimum basilicum* occurring in Bangladesh. *Pharmaceutical biology* 48, 504–511.
- Ileke, K.D., Adesina, J.M., 2019. Toxicity of *Ocimum basilicum* and *Ocimum gratissimum* Extracts against Main Malaria Vector, *Anopheles gambiae* (Diptera: Culicidae) in Nigeria. *J Arthropod Borne Dis* 13, 362–368.

- Irtwange, S., 2006. Application of Modified Atmosphere Packaging and Related Technology in Postharvest Handling of Fresh Fruits and Vegetables. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal* 7, 1–13.
- Itai, A., Tanabe, K., Tamura, F., Tanaka, T., 2000. Isolation of cDNA clones corresponding to genes expressed during fruit ripening in Japanese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai): involvement of the ethylene signal transduction pathway in their expression. *Journal of Experimental Botany* 51, 1163–1166. <https://doi.org/10.1093/jexbot/51.347.1163>
- Iyer, C.P.A., Schnell, R.J., 2009. Breeding and genetics., in: Litz, R.E. (Ed.), *The Mango: Botany, Production and Uses*. CABI, Wallingford, pp. 67–96. <https://doi.org/10.1079/9781845934897.0067>
- Jacobi, K.K., MacRae, E.A., Hetherington, S.E., 2001. Postharvest heat disinfestation treatments of mango fruit. *Scientia Horticulturae* 89, 171–193. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(00\)00240-5](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(00)00240-5)
- Jaeger, S.R., Harker, R., Triggs, C.M., Gunson, A., Campbell, R.L., Jackman, R., Requejo-Jackman, C., 2011. Determining Consumer Purchase Intentions: The Importance of Dry Matter, Size, and Price of Kiwifruit. *Journal of Food Science* 76, S177–S184. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02084.x>
- Jahurul, M.H.A., Zaidul, I.S.M., Ghafour, K., Al-Juhaimi, F.Y., Nyam, K.-L., Norulaini, N.A.N., Sahena, F., Mohd Omar, A.K., 2015. Mango (*Mangifera indica* L.) by-products and their valuable components: A review. *Food Chemistry* 183, 173–180. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.046>
- James, A., Zikankuba, V., 2017. Postharvest management of fruits and vegetable: A potential for reducing poverty, hidden hunger and malnutrition in sub-Saharan Africa. *Cogent Food & Agriculture* 3, 1312052. <https://doi.org/10.1080/23311932.2017.1312052>
- Jayas, D.S., Jeyamkondan, S., 2002. PH—Postharvest Technology: Modified Atmosphere Storage of Grains Meats Fruits and Vegetables. *Biosystems Engineering* 82, 235–251. <https://doi.org/10.1006/bioe.2002.0080>
- Jincy, M., Djanaguiraman, M., Jeyakumar, P., Subramanian, K.S., Jayasankar, S., Paliyath, G., 2017. Inhibition of phospholipase D enzyme activity through hexanal leads to delayed mango (*Mangifera indica* L.) fruit ripening through changes in oxidants and antioxidant enzymes activity. *Scientia Horticulturae* 218, 316–325. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.02.026>
- Jirovetz, L., Buchbauer, G., Martin, N., Ngamo, L., Adjoudji, O., 2005. Combined investigation of the chemical composition of essential oils of *Ocimum gratissimum* and *Xylopiya aethiopica* from Cameroon and their insecticidal activities against stored maize pest *Sitophilus zeamais*. *Ernaehrung* 29, 55–60.
- Joas, J., 2009. Incidence de l'état physiologique de la mangue à la récolte sur sa maturation en cours de conservation (These de doctorat). Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, Avignon (France).
- Joas, J., Lechaudel, M., 2008. A comprehensive integrated approach for more effective control of tropical fruit quality. *Stewart Postharvest Review* 4, 14p.
- Joyce, D., Beasley, D., Shorter, A., 1997. Effect of preharvest bagging on fruit calcium levels, and storage and ripening characteristics of 'Sensation' mangoes. <https://doi.org/10.1071/EA96074>

- Kader, A.A., 2002. Postharvest Technology of Horticultural Crops, 3rd ed. University of California Agriculture and Natural Resources, United States of America.
- Kader, A.A., 1986. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food technology (USA)* 40, 99–104.
- Kader, A.A., Zagory, D., Kerbel, E.L., 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 28, 1–30. <https://doi.org/10.1080/10408398909527490>
- Kalita, J., Khan, M.L., 2013. Commercial potentialities of essential oil of *Ocimum* members growing in Northeast India. *International Journal of Pharmacy & Life Sciences* 4, 2559–2567.
- Kassé, M., 2015. Amélioration de la conservation des mangues 4ème gamme par l'utilisation d'un enrobage, d'un traitement antimicrobien et du conditionnement sous atmosphère modifiée. Université cheikh Anta Diop de Dakar, Dakar.
- Kaur, K., Kaur, G., Brar, J.S., 2020. Pre-harvest application of hexanal formulations for improving post-harvest life and quality of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Dashehari. *Journal of Food Science and Technology* 57, 4257–4264. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04464-9>
- Kawabata, S., Sasaki, H., Sakiyama, R., 2005. Role of transpiration from fruits in phloem transport and fruit growth in tomato fruits. *Physiologia Plantarum* 124, 371–380. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00523.x>
- Kays, S.J., Paull, R.E., 2004. Postharvest biology. Exon Press, Athens, Ga.
- Khaskheli, M., 2020. Mango Diseases: Impact of Fungicides, in: Horticultural Crops. *IntechOpen*, London, p. 220. <https://doi.org/10.5772/intechopen.87081>
- Kim, Y., Brecht, J.K., Talcott, S.T., 2007. Antioxidant phytochemical and fruit quality changes in mango (*Mangifera indica* L.) following hot water immersion and controlled atmosphere storage. *Food Chemistry* 105, 1327–1334. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.050>
- Koffi, L.B., BOURAIMA, O., LEON, A.Y., OUYA, A., NEMLIN GNOPO JEAN, AFFOU YAPI SIMPLICE, 2012. Répertoire de technologies et de procédés de transformation de la mangue et de l'ananas. Fonds Interprofession pour la Recherche et le Conseil Agricole (FIRCA), Abidjan, Côte d'Ivoire.
- Kouamé, K.G., Kouassi, K.N., Kassi, F.M., BOLOU, B.B.A., Tuo, S., Kanko, C., Koné, D., 2015. Antifungal Activity of Essential Oils Extracted from *Monodora myristica* (Gaertn), *Ocimum gratissimum* L. and *Zingiber officinalis* Roscoe on Post-harvest Anthracnose of Mango Fruit (*Mangifera indica* L.) Variety Kent in Côte d'Ivoire. *International Journal of Sciences* 1, 8–18.
- Kouassi, E.K., Ouattara, S., Seguin, C., Fournel, S., Frisch, B., 2018. Etude De Quelques Propriétés Biologiques De *Ocimum Gratissimum* L., Une Lamiaceae Recoltee A Daloa (Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal* 14, 477. <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n3p477>
- Kouassi, O., 2012. Revue nationale pour identifier les initiatives de valorisation non alimentaire de la mangue en Côte d'Ivoire. (No. N°12/COLEACP PAEPARD-01/BNA-12). COLEACP, Côte d'Ivoire.

- Kpadonou Kpoviessi, B.G.H., Kpoviessi, S.D.S., Yayi Ladekan, E., Gbaguidi, F., Frédéric, M., Moudachirou, M., Quetin-Leclercq, J., Accrombessi, G.C., Bero, J., 2014. In vitro antitrypanosomal and antiplasmodial activities of crude extracts and essential oils of *Ocimum gratissimum* Linn from Benin and influence of vegetative stage. *Journal of Ethnopharmacology* 155, 1417–1423. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2014.07.014>
- Kubo, Y., Xue, Y., Nakatsuka, A., Mathooko, F.M., Inaba, A., Nakamura, R., 2000. Expression of a Water Stress-induced Polygalacturonase Gene in Harvested Cucumber Fruit. *Engei Gakkai zasshi* 69, 273–279. <https://doi.org/10.2503/jjshs.69.273>
- Kumar, S.K., El Kayal, W., Sullivan, J.A., Paliyath, G., Jayasankar, S., 2018. Pre-harvest application of hexanal formulation enhances shelf life and quality of ‘Fantasia’ nectarines by regulating membrane and cell wall catabolism-associated genes. *Scientia Horticulturae* 229, 117–124. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.031>
- Lauricella, M., Emanuele, S., Calvaruso, G., Giuliano, M., D’Anneo, A., 2017. Multifaceted Health Benefits of *Mangifera indica* L. (Mango): The Inestimable Value of Orchards Recently Planted in Sicilian Rural Areas. *Nutrients* 9, 1–14. <https://doi.org/10.3390/nu9050525>
- Laurin, E., Cecilia, M., do Nascimento Nunes, M.C., Emond, J.-P., 2003. Quality of Strawberries after Simulated Air Freight Conditions. *Acta Horticulturae* 659–664. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.604.81>
- Lebaka, V.R., Wee, Y.-J., Ye, W., Korivi, M., 2021. Nutritional Composition and Bioactive Compounds in Three Different Parts of Mango Fruit. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18, 741. <https://doi.org/10.3390/ijerph18020741>
- Lee, Y.-S., Kim, J., Shin, S.-C., Lee, S.-G., Park, I.-K., 2008. Antifungal activity of Myrtaceae essential oils and their components against three phytopathogenic fungi. *Flavour and Fragrance Journal* 23, 23–28. <https://doi.org/10.1002/ffj.1850>
- Lemos, J. de A., Passos, X.S., Fernandes, O. de F.L., Paula, J.R. de, Ferri, P.H., Souza, L.K.H. e, Lemos, A. de A., Silva, M. do R.R., 2005. Antifungal activity from *Ocimum gratissimum* L. towards *Cryptococcus neoformans*. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz* 100, 55–58. <https://doi.org/10.1590/S0074-02762005000100011>
- Lizana, L.A., Ochagavia, A., 1997. Controlled Atmosphere Storage of Mango Fruits (*Mangifera Indica* L) cvs Tommy Atkins and Kent. *Acta Horticulturae*. 732–737. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.455.93>
- Luengwilai, K., Beckles, D., Saltveit, M., 2012. Chilling-injury of harvested tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Micro-Tom fruit is reduced by temperature pre-treatments. *Postharvest Biology and Technology* 63, 123–128. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.06.017>
- Mahajan, P.V., Oliveira, F.A.R., Montanez, J.C., Frias, J., 2007. Development of user-friendly software for design of modified atmosphere packaging for fresh and fresh-cut produce. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 8, 84–92. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2006.07.005>
- Mangaraj, S., Goswami, T.K., Mahajan, P.V., 2009. Applications of Plastic Films for Modified Atmosphere Packaging of Fruits and Vegetables: A Review. *Food Engineering Reviews*. 1, 133. <https://doi.org/10.1007/s12393-009-9007-3>

- Marrero, A., Kader, A.A., 2006. Optimal temperature and modified atmosphere for keeping quality of fresh-cut pineapples. *Postharvest Biology and Technology* 39, 163–168. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.10.017>
- Mashau, M.E., Moyane, J.N., Jideani, I.A., 2012. Assessment of postharvest losses of fruits at Tshakhuma fruit market. *African Journal of Agricultural Research* 7, 4145–4150.
- Matasyoh, L.G., Matasyoh, J.C., Wachira, F.N., Kinyua, M.G., Muigai, A.W.T., Mukiyama, T.K., 2007. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Ocimum gratissimum* L. growing in Eastern Kenya. *African Journal of Biotechnology* 6, 760–765. <https://doi.org/10.4314/ajb.v6i6.56899>
- Mayne, S.T., 2003. Antioxidant nutrients and chronic disease: use of biomarkers of exposure and oxidative stress status in epidemiologic research. *J Nutr* 133, 933S-940S. <https://doi.org/10.1093/jn/133.3.933S>
- McMillin, K.W., 2008. Where is MAP Going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat. *Meat Science* 80, 43–65. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.028>
- Mishra, K.K., Kaur, C.D., Sahu, A.K., Panik, R., Kashyap, P., Mishra, S.P., Dutta, S., 2020. Medicinal Plants Having Antifungal Properties, Medicinal Plants - Use in Prevention and Treatment of Diseases. *IntechOpen*, London. <https://doi.org/10.5772/intechopen.90674>
- Mohr, F.B.M., Lermen, C., Gazim, Z.C., Gonçalves, J.E., Alberton, O., 2017. Antifungal activity, yield, and composition of *Ocimum gratissimum* essential oil. *Genetics and Molecular Research*. 16, 1–10. <https://doi.org/10.4238/gmr16019542>
- Morin-savy, S., 2005. Biosynthèse de caroténoïdes aromatiques hydroxylés par des bactéries non photosynthétiques : Des carotènes aux xanthophylles. (Thèse de doctorat). Université de Bretagne Occidentale, Brest.
- Mukherjee, S.K., Litz, R., 2009. Introduction: Botany and importance, in: *The Mango: Botany, Production and Uses*. *CABI Publishing*, India, pp. 1–18.
- Mulder, H., Steemers, S., Dibouloni, J.B., Tamini, J., Niang, M.A., 2019. Value Chain Analysis for Processed Fruits from Burkina Faso, Mali and Ivory Coast. CBI (Centre for the Promotion of Imports from developing countries), Côte d'Ivoire.
- Myung, K., Hamilton-Kemp, T.R., Archbold, D.D., 2006. Biosynthesis of trans-2-hexenal in response to wounding in strawberry fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54, 1442–1448.
- Nakamura, N., Rao, D.V.S., Shiina, T., Nawa, Y., 2004. Respiration Properties of Tree-Ripe Mango under CA Condition. *Japan Agricultural Research Quarterly* 38, 221–226. <https://doi.org/10.6090/jarq.38.221>
- Nakasone, H.Y., Paull, R.E., 1998. Tropical fruits (Crop Production Science in Horticulture). *Cab International*, Wallingford, United Kingdom.
- Ngamchuachit, P., Barrett, D.M., Mitcham, E.J., 2014. Effects of 1-Methylcyclopropene and Hot Water Quarantine Treatment on Quality of “Keitt” Mangos. *Journal of Food Science* 79, C505–C509. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12380>
- Njantou, E.B.D., 2006. Optimisation du broyage des mangues séchées (*mangifera indica* var Kent) : influence sur les propriétés physicochimiques et fonctionnelles des poudres

- obtenues Djantou Elie Baudelaire To cite this version: HAL Id: tel-01752774
soutenance et mis à disp (PhD Thesis). UNIVERSITE DE NGAOUNDERE, Cameroun.
- Nouar, M., Decreux, Y., Marty, O., 2013. Evaluation du potentiel à l'exportation des fruits tropicaux, côte d'Ivoire – 2013. Programme d'appui au commerce et à l'intégration régionale (PACIR). Ministère de commerce, Côte d'Ivoire.
- Nunes, M.C.N., 2008. Color atlas of postharvest quality, in: Color Atlas of Postharvest Quality of Fruits and Vegetables. John Wiley & Sons, Ltd, Blackwell, Hong Kong, pp. i–xvi. <https://doi.org/10.1002/9780813802947.fmatter>
- Nweze, E.I., Eze, E.E., 2009. Justification for the use of *Ocimum gratissimum* L in herbal medicine and its interaction with disc antibiotics. *BMC Complementary and Alternative Medicine* 9, 37. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-9-37>
- OBAM-CI, 2018. OBAMCI (Organisation Des Producteurs Exportateurs de Bananes d'ananas de Mangues et autres fruits d'exportation de Côte d'Ivoire), in: Analyse de La Chaîne de Valeur Des Fruits Transformés Au Burkina Faso, Au Mali et En Côte d'Ivoire, CBI, 2019. Côte d'Ivoire.
- Obot, M.J., Aluyi, H.S.A., 2002. Treatment of superficial mycoses with *Ocimum gratissimum*. *International Journal of Infectious Diseases* 6, 151.
- Omobolanle Ade-Ademilua, E., Obi, H.O., Craker, L.E., 2013. Growth and Essential Oil Yield of African Basil, *Ocimum gratissimum*, under Light and Water Stress. *Journal of Medicinally Active Plants* 1, 143–149. <https://doi.org/10.7275/R59W0CD7>
- Osuagwu, G.G.E., Edeoga, H., Osuagwu, A., 2010. The influence of water stress (Drought) on the mineral and vitamin potential of the leaves of *Ocimum gratissimum* L. *Recent Research in Science and Technology*, 2, 27–33.
- Otoidobiga, L.C., Atouga, L.M., 2009. Biological control program for the mango mealy bug *Rastrococcus invadens* Williams (Homoptera: Pseudococcidea) in West Africa. UNION AFRICAINE, ECOWAS.
- Ouedraogo, 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. UNIVERSITE PARIS EST, Paris.
- Ozdemir, M., Floros, J.D., 2004. Active food packaging technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 44, 185–193. <https://doi.org/10.1080/10408690490441578>
- Padmanabhan, P., Paliyath, G., 2020. Phospholipase D Inhibition by Hexanal, and Its Applications in Enhancing Shelf Life and Quality of Fruits, Vegetables and Flowers, in: *Functional Foods and Biotechnology*. CRC Press.
- Pai, M.R., Acharya, L.D., Udupa, N., 2004. Evaluation of antiplaque activity of *Azadirachta indica* leaf extract gel—a 6-week clinical study. *Journal of Ethnopharmacology* 90, 99–103. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2003.09.035>
- Pak Dek, M.S., Padmanabhan, P., Subramanian, J., Paliyath, G., 2018. Inhibition of tomato fruit ripening by 1-MCP, wortmannin and hexanal is associated with a decrease in transcript levels of phospholipase D and other ripening related genes. *Postharvest Biology and Technology* 140, 50–59. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.02.009>

- Paliyath, G., Murr, D., 2008. Biochemistry of Fruits, in: *Postharvest Biology and Technology of Fruits, Vegetable, and Flowers*. Wiley- Blackwell Publishing, Ames, USA, pp. 487–514. <https://doi.org/10.1002/9780470277577.ch21>
- Paliyath, G., Murr, R.Y., Yada, R., Pinhero, R.G., 2003. Inhibition of phospholipase D. 6,514,914 B1.
- Paliyath, G., Padmanabhan, P., 2018. Preharvest and Postharvest Technologies Based on Hexanal: An Overview, in: Paliyath, G., Subramanian, J., Lim, L.-T., Subramanian, K.S., Handa, A.K., Mattoo, A.K. (Eds.), *Postharvest Biology and Nanotechnology*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, pp. 89–101. <https://doi.org/10.1002/9781119289470.ch4>
- Pandey, A.K., Singh, P., Tripathi, N.N., 2014. Chemistry and bioactivities of essential oils of some *Ocimum* species: an overview. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine* 4, 682–694. <https://doi.org/10.12980/APJTB.4.2014C77>
- Pandey, S., 2017a. Phytochemical constituents, pharmacological and traditional uses of *Ocimum gratissimum* L in tropics. *Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences* 4, 4234–4242. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.1056925>
- Pandey, S., 2017b. Antibacterial and antifungal activities of *Ocimum gratissimum* L. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences* 9, 26–31.
- Parent, C., Capelli, N., Dat, J., 2008. Formes réactives de l’oxygène, stress et mort cellulaire chez les plantes. *Comptes Rendus Biologies* 331, 255–261. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2008.02.001>
- Patel, B.B., Roy, F.S., Saiyad, M.J.S., Joshi, D.C., 2016. Respiration behaviour and heat of respiration of mango (*cv.* Langdo) under different storage conditions. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology* 9, 855. <https://doi.org/10.5958/2230-732X.2016.00110.8>
- Paul, V., Pandey, R., Srivastava, G.C., 2012. The fading distinctions between classical patterns of ripening in climacteric and non-climacteric fruit and the ubiquity of ethylene—An overview. *Journal of Food Science and Technology* 49, 1–21. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0293-4>
- Plantations, 2020. The History of the Mango Tree. Plantations International. URL <https://www.plantationsinternational.com/the-history-of-the-mango-tree/> (accessed 1.27.22).
- Prajapati, N.D. 178354, Purohit, S.S. 178355, Sharma, S.S. 178356, Kumar, T. 178357, 2003. A handbook of medicinal plants: a complete source book. Jodhpur (India) Agrobios.
- Preethi, P., Soorianathasundaram, K., Sadasakthi, A., Subramanian, K.S., Paliyath, G., Subramanian, J., 2018. Influence of Hexanal formulation on storage life and post-harvest quality of mango fruits. *JEB* 39, 1006–1014. <https://doi.org/10.22438/jeb/39/6/MRN-777>
- Prusky, D., 1993. Involvement of Preformed Antifungal Compounds in the Resistance of Subtropical Fruits to Fungal Decay. *Plant Dis.* 77, 114. <https://doi.org/10.1094/PD-77-0114>

- Ramos, L.J., Davenport, T.L., McMillan, R.T., Lara, S.P., 1997. The Resistance of Mango (*Mangifera indica*) Cultivars to Tip Dieback Disease in Florida. *Plant Diseases* 81, 509–514. <https://doi.org/10.1094/PDIS.1997.81.5.509>
- Razzaq, K., Singh, Z., Khan, A.S., Khan, S.A.K.U., Ullah, S., 2016. Role of 1-MCP in regulating ‘Kensington Pride’ mango fruit softening and ripening. *Plant Growth Regul* 78, 401–411. <https://doi.org/10.1007/s10725-015-0101-7>
- Rey, J.-Y., Diallo, T.M., Vannière, H., Didier, C., Kéita, S., Sangaré, M., 2007. The mango in French-speaking West Africa : variétés et composition variétale des vergers. *Fruits* 62, 57–73. <https://doi.org/10.1051/fruits:2006051>
- Rey, J.-Y., Diallo, T.M., Vannière, H., Didier, C., Kéita, S., Sangaré, M., 2004. La mangue en Afrique de l’Ouest francophone : variétés et composition variétale des vergers. *Fruits* 59, 191–208. <https://doi.org/10.1051/fruits:2004018>
- Rivière, L., Pasquier, B., Godin, M., 2017. Basilics: La diversité du genre *Ocimum* dans les collections du CNPMAI, Conservatoire National des Plantes à Parfum, Médicinales, Aromatiques et Industrielles. CNPMAI, France.
- Rizvi, A.H., Khan, M.M.A.A., Verma, P.C., Saxena, G., 2014. Biochemical Activity of *Ocimum gratissimum* Essential Oil Against Fruit-Rotting Fungi *Penicillium expansum* and *Penicillium digitatum*, in: Kharwar, R.N., Upadhyay, R.S., Dubey, N.K., Raghuwanshi, R. (Eds.), *Microbial Diversity and Biotechnology in Food Security*. Springer India, New Delhi, pp. 343–348. https://doi.org/10.1007/978-81-322-1801-2_30
- Rodrigo, M.J., Alquézar, B., Alós, E., Lado, J., Zacarías, L., 2013. Biochemical bases and molecular regulation of pigmentation in the peel of Citrus fruit. *Scientia Horticulturae* 163, 46–62. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.08.014>
- Rosman, N.F., Asli, N.A., Abdullah, S., Rusop, M., 2019. Review: Methods for ripening mango to extend shelf life. Presented at the NANOSCIENCE AND NANOTECHNOLOGY: NANO-SciTech, Selangor, Malaysia, p. 020018. <https://doi.org/10.1063/1.5124648>
- Sagoua, W., Ducamp, M.N., Loiseau, G., 2013. In vitro antifungal activity of neem oil against banana pathogens. *Acta Horticulturae*. 197–207. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.975.21>
- Saleem Dar, M., Oak, P., Chidley, H., Deshpande, A., Giri, A., Gupta, V., 2016. Nutrient and Flavor Content of Mango (*Mangifera indica* L.) Cultivars: An Appurtenance to the List of Staple Foods, in: Simmonds, M.S.J., Preedy, V.R. (Eds.), *Nutritional Composition of Fruit Cultivars*. Academic Press, San Diego, pp. 445–467. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-408117-8.00019-2>
- Šalić, A., Tušek, A., Kurtanjek, Ž., Zelić, B., 2011. Biotransformation in a microreactor: New method for production of hexanal. *Biotechnol Bioproc E* 16, 495–504. <https://doi.org/10.1007/s12257-010-0381-8>
- Saltveit, M.E., 1999. Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology* 15, 279–292. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(98\)00091-X](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(98)00091-X)
- Santos, E.C., Silva, S.M., Santos, A.F., Mendonça, R.M.N., Silveira, I.R.B.S., Lira, M.L.S., Silva, L.R., Alves, R.E., 2004. Influence of 1-Methylcyclopropene on Ripening and

- Conservation of Tree-Dropped Mango Fruit cv. Rosa. *Acta Horticulturae*. 573–579. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.645.75>
- Saquet, A.A., Streif, J., 2017. Respiration rate and ethylene metabolism of ‘Jonagold’ apple and ‘Conference’ pear under regular air and controlled atmosphere. *Bragantia* 76, 335–344. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.189>
- Saquet, A.A., Streif, J., 2008. Fermentative metabolism in Jonagold apples under controlled atmosphere storage. *European Journal of Horticultural Science* 73, 43–46.
- Sarker, B.C., Rahim, M., 2012. Effects of Doses and Splits of Fertilizer Application on Harvesting Time, Yield and Quality of Mango CV. Amrapali. *Bangladesh Journal of Agricultural Research* 37, 279–293. <https://doi.org/10.3329/bjar.v37i2.11231>
- Schieber, A., Ullrich, W., Carle, R., 2000. Characterization of polyphenols in mango puree concentrate by HPLC with diode array and mass spectrometric detection. *Innovative Food Science and Emerging Technology* 1, 161–166. [https://doi.org/10.1016/S1466-8564\(00\)00015-1](https://doi.org/10.1016/S1466-8564(00)00015-1)
- Schreiner, M., Korn, M., Stenger, M., Holzgreve, L., Altmann, M., 2013. Current understanding and use of quality characteristics of horticulture products. *Scientia Horticulturae*, 40th anniversary issue 163, 63–69. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.09.027>
- Sefidkon, F., Abbasi, K., Khaniki, G.B., 2006. Influence of drying and extraction methods on yield and chemical composition of the essential oil of *Satureja hortensis*. *Food Chemistry* 99, 19–23. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.026>
- Shah, K.A., Patel, M.B., Patel, R.J., Parmar, P.K., 2010. *Mangifera Indica* (Mango). *Pharmacognosy Reviews* 4, 42–48. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.65325>
- Sharma, M., Jacob, J.K., Subramanian, J., Paliyath, G., 2010. Hexanal and 1-MCP treatments for enhancing the shelf life and quality of sweet cherry (*Prunus avium* L.). *Scientia Horticulturae* 125, 239–247. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.03.020>
- Shi, J., Le Maguer, M., 2000. Lycopene in Tomatoes: Chemical and Physical Properties Affected by Food Processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 40, 1–42. <https://doi.org/10.1080/10408690091189275>
- Shivashankar, K.S., Geetha, G.A., Ravishankar, K.V., Rao, D.V.S., Pavithra, K.C.G., Roy, T.K., 2022. Temperature gradient storage induced biochemical and molecular changes in mango (*Mangifera indica* L. cv. Alphonso) fruits. *Acta Physiologiae Plantarum* 44, 46. <https://doi.org/10.1007/s11738-022-03380-z>
- Silva, S.M., Santos, E.C., Santos, A.F., Silveira, I.R.B.S., Mendonça, R.M.N., Alves, R.E., 2004. Influence of 1-Methylcyclopropene on Postharvest Conservation of Exotic Mango Cultivars. *Acta Horticulturae*. 565–572. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.645.74>
- Singh, Z., Singh, R.K., Sane, V.A., Nath, P., 2013. Mango - Postharvest Biology and Biotechnology. *Critical Reviews in Plant Sciences* 32, 217–236. <https://doi.org/10.1080/07352689.2012.743399>
- Slaughter, D.C., 2009. Methods for Management of Ripening in Mango: A Review of Literature. National Mango Board, Orlando, FL, USA 1–10.
- Spencer, J.P.E., Schroeter, H., Kuhnle, G., Srail, S.K.S., Tyrrell, R.M., Hahn, U., Rice-Evans, C., 2001. Epicatechin and its in vivo metabolite, 3'-O-methyl epicatechin, protect

- human fibroblasts from oxidative-stress-induced cell death involving caspase-3 activation. *Biochemical Journal* 354, 493–500. <https://doi.org/10.1042/bj3540493>
- Sriskantharajah, K., El Kayal, W., Ayyanath, M.M., Saxena, P.K., Sullivan, A.J., Paliyath, G., Subramanian, J., 2021. Preharvest Spray Hexanal Formulation Enhances Postharvest Quality in ‘Honeycrisp’ Apples by Regulating Phospholipase D and Calcium Sensor Proteins Genes. *Plants* 10, 2332. <https://doi.org/10.3390/plants10112332>
- Stefan, M., Zamfirache, M., Padurariu, C., Trută, E., Gostin, I., 2013. The composition and antibacterial activity of essential oils in three *Ocimum* species growing in Romania. *Central European Journal of Biology* 8, 600–608. <https://doi.org/10.2478/s11535-013-0171-8>
- Sudhakar Rao, D.V., Gopalakrishna Rao, K.P., 2008. Controlled atmosphere storage of mango cultivars ‘Alphonso’ and ‘Banganapalli’ to extend storage-life and maintain quality. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 83, 351–359. <https://doi.org/10.1080/14620316.2008.11512391>
- Supriya, A., Kumar, A., Kudachikar, V.B., 2020. A Comparison Investigation on Antioxidant Activities, Constitutive Antifungal Phenolic Lipids and Phenolics Contents of Anthracnose Resistant and Susceptible Mango Fruit Cultivars. *International Journal of Fruit Science* 20, 692–704. <https://doi.org/10.1080/15538362.2019.1668332>
- Swart, S.H., Serfontein, J.J., Swart, G., Labuschagne, C., 2009. Chemical Control of Post-Harvest Diseases of Mango: The Effect of Fludioxonil and Prochloraz on Soft Brown Rot, Stem-End Rot and Anthracnose. *Acta Horticulturae*. 503–510. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.820.64>
- Syamsu, K., Warsiki, E., Yuliani, S., Widayanti, S.M., 2016. Nano Zeolite-kmno4 as Ethylene Adsorber in Active Packaging of Horticulture Products (Musa Paradisiaca). *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)* 30, 93–103.
- Taheri, H., Javan-Nikkhah, M., Nikkhah, –, Elahinia, S., Khodaparast, seyed akbar, Golmohammadi, M., 2016. Species of *Colletotrichum* associated with citrus trees in Iran. *Mycologia Iranica* 3, 1–14. <https://doi.org/10.22043/mi.2017.42395.1073>
- Talibi, I., Askarne, L., Boubaker, H., Boudyach, E.H., Msanda, F., Saadi, B., Ait Ben Aoumar, A., 2012. Antifungal activity of some Moroccan plants against *Geotrichum candidum*, the causal agent of postharvest citrus sour rot. *Crop Protection* 35, 41–46. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.12.016>
- Tanko, Y., Magaji, G.M., Yerima, M., Magaji, R.A., Mohammed, A., 2008. Anti-Nociceptive and Anti-Inflammatory Activities of Aqueous Leaves Extract of *Ocimum gratissimum* (Labiata) in Rodents. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines* 5, 141–146.
- Tano, K., 1997. Emballages de fruits et légumes sous atmosphère modifiée : Impact des fluctuations de température pendant l’entreposage. Université de Laval, QUEBEC.
- Tano, K., Kamenan, A., Arul, J., 2005. Respiration and transpiration characteristics of selected fresh fruits and vegetables. *Agronomie Africaine* 17, 103–115. <https://doi.org/10.4314/aga.v17i2.1662>
- Tano, K., Oulé, M.K., Doyon, G., Lencki, R.W., Arul, J., 2007. Comparative evaluation of the effect of storage temperature fluctuation on modified atmosphere packages of selected

- fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology* 46, 212–221. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.05.008>
- Tchoumboungang, F., Zollo, P.H.A., Dagne, E., Mekonnen, Y., 2005. In Vivo Antimalarial Activity of Essential Oils from *Cymbopogon citratus* and *Ocimum gratissimum* on Mice Infected with *Plasmodium berghei*. *Planta Medica* 71, 20–23. <https://doi.org/10.1055/s-2005-837745>
- Thavong, P., Koslanund, R., Archbold, D.D., Pankasemsuk, T., 2011. Hexanal Vapours Suppress Spore Germination, Mycelial Growth, and Fungal-derived Cell Wall Degrading Enzymes of Postharvest Pathogens of Longan Fruit. *Chiang Mai Journal of Science* 38, 139–150.
- Tinkeu, L.N., Ladang, D., Vayssieres, J.-F., Lyannaz, J.P., 2010. Diversité des espèces de mouches des fruits (Diptera : Tephritidae) dans un verger mixte dans la localité de Malang (Ngaoundéré, Cameroun). *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 4, 1425–1434.
- Toivonen, P.M.A., Kempler, C., Stan, S., 2002. The use of a natural clay adsorbent improves quality retention in three cultivars of raspberries stored in modified atmosphere packages. *Journal of Food Quality* 25, 385–393. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2002.tb01034.x>
- Ugbogu, O.C., Emmanuel, O., Agi, G.O., Ibe, C., Ekweogu, C.N., Ude, V.C., Uche, M.E., Nnanna, R.O., Ugbogu, E.A., 2021. A review on the traditional uses, phytochemistry, and pharmacological activities of clove basil (*Ocimum gratissimum* L.). *Heliyon* 7, e08404. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08404>
- Umeh, V.C., Olaniyan, A.A., Ker, J., Andir, J., 2004. Development of citrus fruit fly control strategies for small-holders in Nigeria. *Fruits* 59, 265–274. <https://doi.org/10.1051/fruits:2004025>
- Vasquez-Caicedo, A.L., Heller, A., Neidhart, S., Carle, R., 2006. Chromoplast morphology and beta-carotene accumulation during postharvest ripening of Mango Cv. “Tommy Atkins.” *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54, 5769–5776. <https://doi.org/10.1021/jf060747u>
- Vayssières, J.-F., Sinzogan, A., Adandonon, A., Ayegnon, D., Ouagoussounon, I., Modjibou, S., 2010. Principaux Fruitiers Locaux des Zones Guinéo-Soudaniennes du Bénin: Inventaire, Période de Production et Dégâts dus aux Mouches des Fruits Main Wild Fruit Trees of Guineo-Sudanian Zones of Benin: Inventory, Period of Production and Losses due to Fruit Flies. *Fruit, Vegetables and Cereal Science and Biotechnology* 4, 42–46.
- Venuprasad, M.P., Kumar Kandikattu, H., Razack, S., Khanum, F., 2014. Phytochemical analysis of *Ocimum gratissimum* by LC-ESI-MS/MS and its antioxidant and anxiolytic effects. *South African Journal of Botany* 92, 151–158. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2014.02.010>
- Vieira, R.F., Grayer, R.J., Paton, A., Simon, J.E., 2001. Genetic diversity of *Ocimum gratissimum* L. based on volatile oil constituents, flavonoids and RAPD markers. *Biochemical Systematics and Ecology* 29, 287–304. [https://doi.org/10.1016/S0305-1978\(00\)00062-4](https://doi.org/10.1016/S0305-1978(00)00062-4)

- Wang, B., Wang, J., Feng, X., Lin, L., Zhao, Y., Jiang, W., 2009. Effects of 1-MCP and exogenous ethylene on fruit ripening and antioxidants in stored mango. *Plant Growth Regulation* 57, 185–192. <https://doi.org/10.1007/s10725-008-9335-y>
- Watanawan, C., Wasusri, T., Srilaong, V., Wongs-Aree, C., Kanlayanarat, S., 2014. Near infrared spectroscopic evaluation of fruit maturity and quality of export Thai mango (*Mangifera indica* L. var. Namdokmai). *International Food Research Journal* 21, 1073–1078.
- Watkins, C.B., 2006. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotechnol Adv* 24, 389–409. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.01.005>
- Wills, R., McGlasson, B., Graham, D., Joyce, D.C., 2007. Postharvest - An introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals. University of New South Wales Press Ltd, New South Wales.
- Wills, R.B.H., Warton, M.A., 2004. Efficacy of Potassium Permanganate Impregnated into Alumina Beads to Reduce Atmospheric Ethylene. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 129, 433–438. <https://doi.org/10.21273/JASHS.129.3.0433>
- Xu, X., Lei, H., Ma, X., Lai, T., Song, H., Shi, X., Li, J., 2017. Antifungal activity of 1-methylcyclopropene (1-MCP) against anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) in postharvest mango fruit and its possible mechanisms of action. *International Journal of Food Microbiology* 241, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.10.002>
- Yah, N.M., 2015. Anthracnose de la mangue (*Mangifera indica* L.) : caractérisation de l'agent pathogène et efficacité in vivo et in vitro de deux fongicides chimiques. Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire.
- Yahia, E., 2009. Modified and Controlled Atmosphere for the Storage, Transpiration and Packaging of Horticultural Commodities, Modified and Controlled Atmospheres for the Storage, Transportation, and Packaging of Horticultural Commodities. Taylor & Francis Group, LLC, *Taylor & Francis Group* 6000 Broken Sound Parkway NW., <https://doi.org/10.1201/9781420069587>
- Yahia, E.M., 2011. Mango (*Mangifera indica* L.), in: Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits. Woodhead Publishing, Philadelphia, PA 19102-3406, USA, p. 650.
- Yao, L.H., Jiang, Y.M., Shi, J., Tomás-Barberán, F.A., Datta, N., Singanusong, R., Chen, S.S., 2004. Flavonoids in Food and Their Health Benefits. *Plant Foods for Human Nutrition* 59, 113–122. <https://doi.org/10.1007/s11130-004-0049-7>
- Yumbya, P.M., Hutchinson, M.J., Ambuko, J., Owino, W.O., Sullivan, A., Paliyath, G., Subramanian, J., 2018. Efficacy of hexanal application on the post-harvest shelf life and quality of banana fruits (*Musa acuminata*) in Kenya. *Tropical Agriculture* 95, 14–35.
- Zhang, J., Cheng, D., Wang, B., Khan, I., Ni, Y., 2017. Ethylene Control Technologies in Extending Postharvest Shelf Life of Climacteric Fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 65, 7308–7319. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02616>
- Zuo, J., Wang, Y., Zhu, B., Luo, Y., Wang, Q., Gao, L., 2019. Network analysis of noncoding RNAs in pepper provides insights into fruit ripening control. *Scientific Reports* 9, 8734. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45427-1>

ANNEXE

Annexe 1 : Fiche d'évaluation sensorielle des échantillons de mangue après traitement à l'hexanal

TEST PROFIL SENSORIEL

Code sujet.....

Date :

Instructions: Marquez par une croix le niveau de sensation du descripteur de la mangue et indiquez son code

Code de l'échantillon de mangue :

ECHELLE DE CATEGORIE

Appréciation générale

Très désagréable	désagréable	Ni désagréable Ni agréable	Agréable	Très agréable
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Viellissement peau (par la vue)

Très flétrie	Flétrie	Ni flétrie Ni turgescence	Turgescence	Très Turgescence
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Couleur Chair (par la vue)

Très pâle	Pâle	Ni pâle-Ni vive	Vive	Très vive
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Texture Chair (dans la bouche)

Très molle	Molle	Ni molle-Ni ferme	Ferme	Très ferme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Goût acide (dans la bouche)

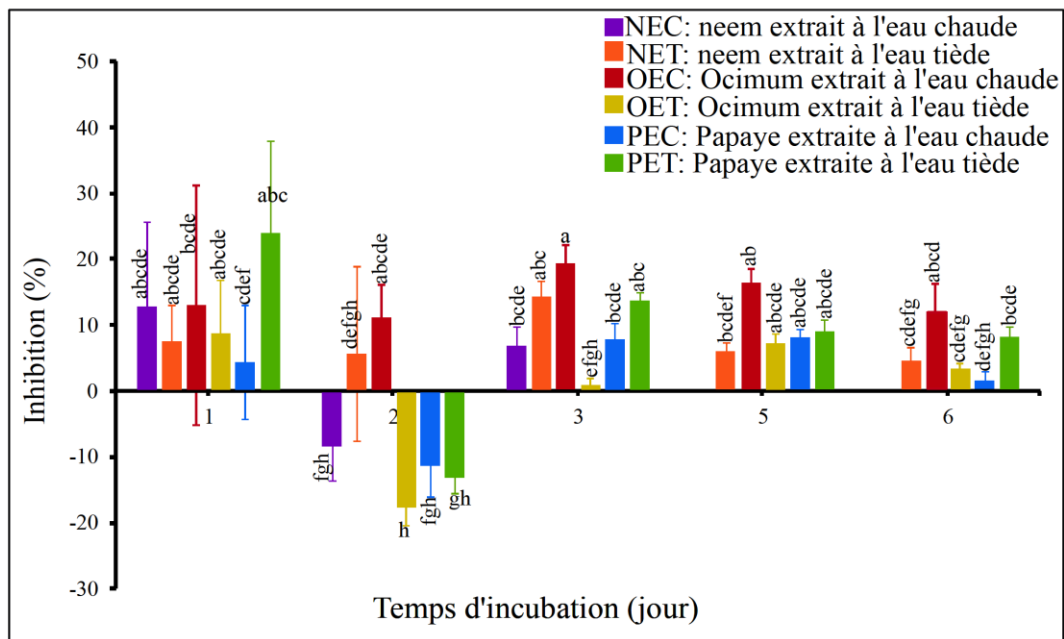
Extrêmement acide	Très acide	Moyennement acide	Peu acide	Pas acide
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Goût sucré (dans la bouche)

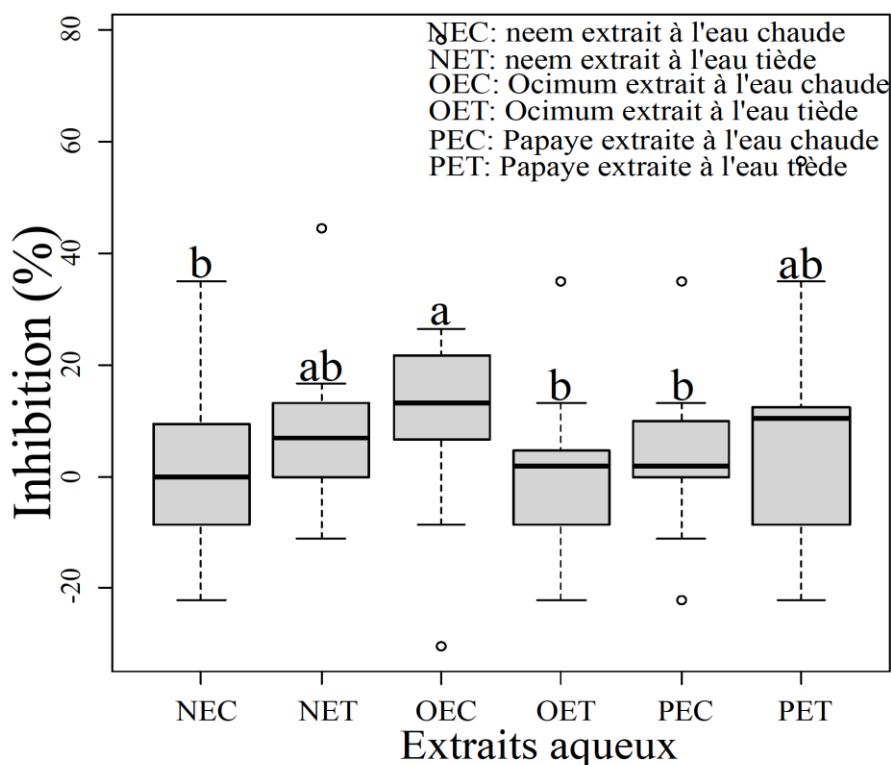
Très léger	Léger	Ni léger-Ni fort	Fort	Très fort
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Remarques :

Annexe 2 : Etude préliminaire pour la recherche de fongicide naturel



Evolution des taux d'inhibition de croissance de *Colletotrichum gloeosporioides* par les différents extraits en fonction du temps d'incubation



Taux d'inhibition de croissance de *Colletotrichum gloeosporioides* par les différents extraits après six jours d'incubation

Annexe 3 : Fiche d'évaluation sensorielle des mangues traitées avec l'huile essentielle d'*Ocimum gratissimum* L.

TEST PROFIL SENSORIEL

Code sujet.....

Date :

Instructions: Marquez par une croix le niveau de sensation du descripteur de la mangue et indiquez son code

Code de l'échantillon de mangue :

ECHELLE DE CATEGORIE

Appréciation générale

Très désagréable	désagréable	Ni désagréable Ni agréable	Agréable	Très agréable
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Viellissement peau (par la vue)

Très flétrie	Flétrie	Ni flétrie Ni turgescence	Turgescence	Très Turgescence
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Couleur Chair (par la vue)

Très pâle	Pâle	Ni pâle-Ni vive	Vive	Très vive
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Texture Chair (dans la bouche)

Très molle	Molle	Ni molle-Ni ferme	Ferme	Très ferme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Goût acide (dans la bouche)

Extrêmement acide	Très acide	Moyennement acide	Peu acide	Pas acide
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Goût sucré (dans la bouche)

Très léger	Léger	Ni léger-Ni fort	Fort	Très fort
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Arrière-Goût (dans la bouche)

Aucun	Léger	Ni léger-Ni fort	Fort	Très fort
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Odeur (par l'odorat)

Très mauvaise	Mauvaise	Ni mauvaise/Ni Bonne	Bonne	Très bonne
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Remarques :

Equipe d'encadrement

Madame Félicie Lopez-Lauri, Maître de conférences, Qualisud, Univ Montpellier, CIRAD, Univ d'Avignon, Institut Agro, IRD, Univ de La Réunion, F-34398, Montpellier, France

Monsieur Kablan TANO, Professeur titulaire, Laboratoire de biochimie alimentaire et transformation des produits tropicaux, Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire

Monsieur Charlemagne Nindjin, Maître de conférences, Laboratoire de Biochimie Alimentaire et Transformation des Produits Tropicaux, Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire

Monsieur Kohi Alfred Kouamé, Maître Assistant, Laboratoire de Biotechnologie et Microbiologie des Aliments, Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire

Monsieur Mohamed Cissé, Maître de conférences, Laboratoire de Biochimie et de Génétique, Université Peleforo Gon Coulibaly, Côte d'Ivoire

Résumé

La conservation en zone chaude tropicale et l'exportation des fruits et légumes depuis ces régions sont limitées par le mûrissement rapide et les maladies post-récoltes. Cette thèse propose une nouvelle technologie efficace et moins onéreuse utilisant des molécules d'origine naturelle pour optimiser la conservation de la mangue "Kent" en région chaude et améliorer son potentiel commercial. Les résultats de cette étude ont montré que l'application de formulation à base d'hexanal par trempage après récolte permet de réduire les pertes de 23 % et la pourriture de 12 % après un stockage au froid. L'étude a également permis de mettre en évidence le pouvoir antifongique de la plante médicinale *Ocimum gratissimum* L. sur plusieurs pathogènes de la mangue. Ainsi, l'huile essentielle extraite de cette plante a réduit presque de moitié le taux d'infection post récolte de la mangue sans aucune influence sur sa qualité. Cette huile essentielle a été plus efficace que le fongicide chimique homologué utilisé dans cette étude. De plus, la combinaison d'hexanal et d'huile essentielle de *O. gratissimum* L. a limité l'effet retardateur de l'hexanal mais elle a diminué le taux d'infection par rapport à l'hexanal seul. Par ailleurs, comme l'hexanal, elle permet de prolonger la durée de stockage de sept jours sans altérer la qualité de la mangue. En conséquence, l'hexanal peut être recommandé pour la conservation de la mangue alors que la combinaison sera mieux indiquée pour les périodes ou zones à forte prévalence microbienne.

Mots-clés : Hexanal ; Mangue ; *Ocimum gratissimum* L. ; Physiologie post-récolte ; Stockage

Abstract

The preservation and export of fruit and vegetables in tropical regions are limited by rapid ripening and post-harvest diseases. This work proposes a new, effective, and less expensive technology using natural molecules to optimise the preservation of the "Kent" mango in hot regions and improve its commercial potential. The results of this study showed that the application of hexanal formulation by post-harvest soaking reduced losses by 23 % and infection by 12 % after cold storage. The study also highlighted the antifungal power of the medicinal plant *Ocimum gratissimum* L. on several mango pathogens. The essential oil extracted from this plant almost halved the infection rate of mango in storage without any influence on the quality of the mango. This essential oil was more effective than the registered chemical fungicide used in the study. Furthermore, the combination of hexanal and the essential oil of *O. gratissimum* L. limited the anti-ripening effect of hexanal and strengthened its antimicrobial activity. In addition, as hexanal, the combination extended the storage time by seven days without affecting the quality of the mango. Therefore, hexanal can be recommended for mango storage while the combination will be more suitable for periods or areas of high microbial prevalence.

Keywords: Hexanal; Mango; *Ocimum gratissimum* L.; Post-harvest physiology, Storage