



HAL
open science

Mise en place d'une méthode de conservation de la tomate (*Solanum lycopersicum*) par l'application du froid et d'extraits végétaux aux effets anti-murissement et antifongique

Amenan Fanny Akpo

► To cite this version:

Amenan Fanny Akpo. Mise en place d'une méthode de conservation de la tomate (*Solanum lycopersicum*) par l'application du froid et d'extraits végétaux aux effets anti-murissement et antifongique. Sciences de la Terre. Université d'Avignon; Université Nangui Abrogoua (Abidjan), 2022. Français. NNT : 2022AVIG0609 . tel-04071270

HAL Id: tel-04071270

<https://theses.hal.science/tel-04071270>

Submitted on 17 Apr 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- Agrosociences & sciences
Ecole Doctorale Sciences – Technologie & environnement

Mention de doctorat :

Sciences agronomique option Chimie &
Sciences et Technologie des Aliments spécialité Biochimie et Technologie des Aliments

**UMR 95 CIRAD Qualisud, Laboratoire de Physiologie des Fruits et Légumes &
Laboratoire de Biochimie Alimentaire et Technologies des Produits Tropicaux**

MISE EN PLACE D'UNE METHODE DE CONSERVATION DE LA TOMATE
(*Solanum lycopersicum*) PAR L'APPLICATION DU FROID ET D'EXTRAITS
VEGETAUX AUX EFFETS ANTI-MÛRISSEMENT ET ANTIFONGIQUE

Présentée par **Amenan Fanny AKPO**

Soutenue publiquement le **15 décembre 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, **Examinatrice**
Mme Emma ASSEMBAND 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. Fabrice Achille TETCHI, 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 production de la tomate est confrontée en Côte d'Ivoire à de nombreuses contraintes. La conservation post-récolte de la tomate dans les pays du sud est un verrou non négligeable qu'il est nécessaire de lever. La présente étude a été menée dans l'optique de développer et proposer aux opérateurs de la filière tomate des techniques de conservation innovantes et adaptées à leur contexte de production. La méthodologie a été basée sur l'application du froid, d'un traitement à base d'hexanal et d'un antifongique naturel. L'étude a permis de montrer le pouvoir antifongique de la plante *Ocimum gratissimum* L. sur plusieurs pathogènes de la tomate. L'huile essentielle à une concentration de 750 ppm a permis d'inhiber à 100 % la croissance de *Fusarium*, *Alternaria* et *Botrytis*. La décoction de cette même plante a inhibé la croissance fongique à plus de 90 %. Concernant les conditions post-récoltes, les résultats ont montré que le stade de récolte approprié pour la conservation de la tomate avec les différents traitements est le stade Breaker. En effet, c'est ce stade qui présente la longue durée de conservation. Le traitement post-récolte des fruits de tomates avec une solution à base d'hexanal et d'une combinaison d'hexanal et de *O. gratissimum* L n'ont pas permis de contrôler les pourritures durant la conservation des tomates. Cependant, il est à noter que les paramètres de qualité des tomates n'ont pas été affectés en comparaison avec celles qui ont muries en plein champ. Des formulations à base d'*Ocimum gratissimum* ont également été testées en pré récolte contre l'alternariose dont nous avons montré la forte présence dans les cultures. Les résultats *in situ* et *in planta* ont montré un ralentissement du développement de la maladie en curatif et une absence totale lorsqu'elle est appliquée en préventif sur les plants de tomates. De ce fait, la tisane de *Ocimum* peut être utilisée en traitement préventif sur les plants de tomates. De cette étude il ressort que l'application de traitements post-récoltes sont peu efficace et qu'une alternative est de traiter dès le champ, les plants de tomates à base de tisane de *Ocimum* en prévention de l'alternariose. L'abaissement fongique de la charge des fruits en pathogène pourra contribuer à limiter les pertes post récolte.

Mots clés : Hexanal, paramètre de qualité, *Ocimum gratissimum*, post- récolte, maladies de la tomate

Abstract

Tomato production in Côte d'Ivoire faces many constraints. The post-harvest conservation of tomatoes in southern countries is a significant obstacle that must be overcome. The present study was conducted with a view to developing and proposing to operators in the tomato sector innovative conservation techniques adapted to their production context. The methodology was based on the application of cold, a hexanal-based treatment and a natural antifungal agent. The study showed the antifungal power of the plant *Ocimum gratissimum* L. on several tomato pathogens. The essential oil at a concentration of 750 ppm inhibited 100% of the growth of *Fusarium*, *Alternaria* and *Botrytis*. The decoction of the same plant inhibited fungal growth by more than 90%. Concerning the post-harvest conditions, the results showed that the appropriate harvest stage for the conservation of tomato with the different treatments is the Breaker stage. Indeed, this stage has the longest shelf life. Post-harvest treatment of tomato fruits with a hexanal solution and a combination of hexanal and *O. gratissimum* L did not control rots during tomato storage. However, it should be noted that the quality parameters of the tomatoes were not affected compared to those ripened in the field. Formulations based on *Ocimum gratissimum* were also tested in pre-harvest against *alternaria*, which we have shown to be very prevalent in the crop. The results in situ and in planta showed a slowing down of the development of the disease in the curative phase and a total absence when applied as a preventive measure on tomato plants. Therefore, *Ocimum* tea can be used as a preventive treatment on tomato plants. From this study, it appears that the application of post-harvest treatments is not very effective and that an alternative is to treat tomato plants with *Ocimum* tea in the field to prevent early blight. The fungal reduction of the pathogen load of the fruits could contribute to limit the post-harvest losses.

Key words: Hexanal, quality parameter, *Ocimum gratissimum*, post-harvest, tomato diseases

Remerciements

Je tiens à dire merci à **Dieu** pour m'avoir gardée et protégée tout au long de cette thèse, pour la force et le courage nécessaire à la réalisation de ce travail.

Ce projet de thèse a été réalisé avec le soutien du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique (MESRS) de Côte d'Ivoire, dans le cadre de la mise en œuvre du Contrat de Désendettement et de Développement (C2D) par l'IRD. Je remercie l'état de Côte d'Ivoire à travers le C2D, la République de France par Campus France qui ont financé et permis que les mobilités au cours de cette thèse puissent se passer dans les meilleures conditions.

Cette thèse est le fruit d'une collaboration entre Avignon Université (France) et l'Université Nangui Abrogoua (Côte d'Ivoire). Aussi, 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. J'adresse mes sincères remerciements au Professeur **BOHOUA Louis Guichard**, Vice-Président chargé de la Pédagogie, de la Vie Universitaire, de la Recherche et de l'Innovation Technologique et au Professeur **ATTA Diallo Hortense**, Vice-Présidente chargée de la planification, de la programmation et des relations extérieurs pour cette institution dont ils ont la lourde charge de diriger. Je remercie le Professeur **ASSEMAND Emma Koffi**, Directrice de l'Unité de Formation et de Recherche, Sciences et Technologies des Aliments (UFR-STA) de l'Université NANGUI ABROGOUA pour avoir donné son accord pour la réalisation de cette thèse.

Mes remerciements à l'Institut de Recherche pour le Développement/Côte d'Ivoire (IRD) et le Centre Suisse de Recherches Scientifiques en Côte d'Ivoire (CSRS) pour leur assistance technique et la qualité de leurs services dans l'accompagnement et la réalisation de cette thèse. Je voudrais adresser mes sincères remerciements au, Professeur **AMANI N'Guessan Georges**, Professeur Titulaire, Directeur du Laboratoire de Biochimie Alimentaire et Technologie des Produits Tropicaux (LBATPT), pour son soutien et ses conseils avisés.

Je tiens à dire infiniment merci à madame **LOPEZ -LAURI Félicie** co-directrice de ma thèse de Doctorat. Merci Docteur pour votre encadrement au cours de cette thèse. Vous êtes une personne aimante et vous me l'avez témoigné lors des différents séjours en France. Vous m'avez accompagnée aussi bien pour ma thèse que pour mon intégration et mon insertion dans un pays qui m'était inconnu. Aucun mot ne peut témoigner la gratitude et l'admiration que j'ai pour vous. Je veux dire un grand merci à mon co-directeur **TETCHI Fabrice Achille**. Professeur, cette thèse est l'aboutissement d'un long voyage avec vous. En effet, depuis le Master 1 vous avez débuté mon encadrement dans cet univers qu'est la recherche scientifique. A vos côtés j'ai beaucoup appris et je suis infiniment honoré d'avoir été votre étudiante. Je vous dis également merci lors des moments difficiles de ma vie personnelle, vous m'aviez soutenu. J'espère, chers encadreurs, avoir été une étudiante modèle et une fierté pour vous.

J'exprime mes remerciements et ma profonde gratitude à **Dr. NINDJIN Charlemagne**, Maître de conférences, Université Nangui Abrogoua et coordonnateur principal du projet dont est issue cette thèse. Je vous remercie pour votre contribution depuis la conception de ce projet jusqu'à la rédaction finale de ce manuscrit. Merci pour votre présence et votre disponibilité permanente au cours de la réalisation de ce projet de thèse.

Je remercie l'Institut de Recherche Appliquées et Technologie (**IRSAT**) du Burkina et le Bureau de Ventes des Producteurs (**BVP-GIE**) de la Côte d'Ivoire pour leur contribution à ce projet.

Je remercie également les **Dr. Didier MBEGUIE-A-MBEGUIE** et **Dr. Pierre BRAT**, chercheurs au CIRAD, Montpellier/France, **Dr KOHI Kouamé Alfred**, Maître-assistant à l'Université Nangui Abrogoua, pour leurs apports scientifiques aussi bien lors des manipulations qu'à l'orientation de cette thèse. Mes remerciements à l'ensemble des membres (en particulier **Sandrine** et **Véronique**) du laboratoire de Physiologie des fruits et légumes EA 4279/Avignon pour leur accueil qui a favorisé mon intégration et mon adaptation au sein de l'équipe. Merci pour votre attention et vos mots d'encouragement qui m'ont donné la force quand j'en avais besoin.

Je remercie également 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.

Je voudrais dire merci aux membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail, il s'agit de la Présidente du jury, **Dr Florence CHARLES** ; des Rapporteurs **Pr Mamoudou Hama DICKO** et **Dr Georgette Amoin KONAN** ; des Examineurs **Pr Emma ASSEMAND KOFFI**, **Dr Charlemagne NINDJIN** et **Dr Didier MBEGUIE-A-MBEGUIE**.

Une mention spéciale à **Dr N'GUESSAN Jean-Marc** pour son soutien, ses conseils et sa présence tout au long de cette thèse.

A vous mes amis et collègue du bureau A106 de l'Université d'Avignon, **Salah, Coline, Nathalie, Pauline** ainsi qu'aux tous nouveaux **Thomas** et **Cédric**. Je tiens à vous dire merci pour l'accueil et le soutien dont vous avez fait preuve lors de mes différents séjours. Pour les plus anciens je suis reconnaissante et heureuse de la facilité avec laquelle vous avez permis mon intégration auprès de vous. Ce fut **Salah**, ensuite **Nathalie, Silue** et **Pauline**, à mon tour de vous passer le flambeau de la soutenance : bon courage !

Je voudrais dire merci aux étudiants du **LBATPT** à savoir **Aline, Hans, Maryline** et **Regina** pour leur aide.

Merci à vous mes frères et sœurs de l'église des Assemblées de Dieu de Real panier. Merci Pasteur **Cédric** et "Mamoune" **Soraya** pour votre soutien et votre aide. Je n'oublie pas **Grâce, Laurence** et **Anne marie**, vous avoir rencontré les filles a été une bénédiction pour moi. Merci également à mes frères d'une autre mère, à savoir **Daouda** et **Océane**.

Enfin merci à vous mes enfants **Rose, Samira** et **Didi** pour avoir tant bien que mal supporté tous ces moments d'absences. J'espère que vous serez fières de votre maman. Merci également à ma famille pour le soutien infaillible dont elle a fait preuve.

Table des matières

Résumé	2
Abstract	3
Remerciements	4
Table des matières	6
Introduction	1
I. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	3
1. Généralité sur la tomate	3
1.1. Historique	3
1.2. Classification et caractéristiques morphologiques de la tomate	3
1.2.1. Classification systématique de la tomate	3
1.2.2. Caractéristiques morphologiques de la tomate.....	4
1.2.3. Croissance et développement du plant de tomate	4
1.2.3.1. Variété à croissance déterminée.....	5
1.2.3.2. Variétés à croissance indéterminée	5
1.2.3.3. Variété à croissance semi déterminée	6
1.2.4. Développement et structure du fruit de la tomate	7
1.2.4.1. Développement du fruit de la tomate.....	7
1.2.4.2. Structure du fruit de tomate	8
1.3. Forme du fruit de tomate	9
1.4. Couleur du fruit.....	9
2. Importance de la tomate	10
2.1. Au niveau mondial	10
2.2. En Côte d'Ivoire	11
2.3. Composition biochimique.....	12
3. Caractéristiques physico-chimiques du fruit de la tomate	14
3.1. Poids	15
3.2. Contenu en sucres et acides	15
3.3. Maturation du fruit.....	15
3.4. Facteurs d'altération de la qualité en post-récolte.....	15
3.4.1. Condition de stockage	16
3.4.2. Chocs mécaniques.....	16
3.4.3. Altérations	16
II. MALADIES ET RAVAGEURS DE LA TOMATE	17
1. Maladies de la tomate	17
1.1. Maladies non parasitaires	17
1.2. Maladies parasitaires.....	18
1.2.1. Maladies bactériennes	18
1.2.2. Maladies virales.....	19
1.2.3. Maladies fongiques ou cryptogamiques	20
1.3. Ravageurs de la tomate	21

1.4. Les maladies apparaissant lors de la conservation des tomates	23
III. MOYENS DE LUTTE CONTRE LES PATHOGENES ET RAVAGEURS DE LA TOMATE	23
1. Lutte chimique contre les pathogènes et ravageurs de la tomate	23
1.1. Bactéricides.....	24
1.2. Fongicides	24
2. Lutte biologique contre les pathogènes et ravageurs de la tomate	25
2.1. Lutte biologique classique	25
2.2. Lutte biologique augmentative	25
2.3. Lutte biologique par conservation	26
3. Les biopesticides contre les pathogènes et ravageurs de la tomate	27
3.1. Biopesticides d'origine animale.....	27
3.2. Biopesticides d'origine microbienne	27
3.3. Biopesticides d'origine végétale.....	28
3.3.1. <i>Ocimum gratissimum</i> , le basilic africain.....	29
3.3.2. Neem, <i>Azadirachta indica</i>	31
3.3.3. Le papayer, <i>Carica papaya</i>	32
IV. METHODES DE CONSERVATION DE LA TOMATE	33
1. Conservation traditionnelle.....	33
1.1. Conservation par la cendre.....	33
1.2. Séchage au soleil.....	34
2. Conservation moderne.....	34
2.1. Conservation à basse température	34
2.2. Conservation sous atmosphère contrôlée / modifiée.....	34
2.3. Conservation avec l'hexanal	35
V. FAIBLESSES DE LA FILIERE TOMATE EN CÔTE D'IVOIRE	36
1. Au niveau de la production	36
2. Au niveau de la commercialisation	39
2.1. Le transport	39
2.2. Le stockage (conservation)	40
2.3. La vente.....	41
2.4. Circuit de distribution de la tomate en Côte d'Ivoire.....	41
MATERIELS ET METHODES	43
I. RECHERCHE D'UN BIO-FONGICIDE POUR LA CONSERVATION DE LA TOMATE	44
1. Matériels.....	44
1.1. Matériel végétal.....	44
1.2. Matériels fongiques	45
2. Méthodes.....	45
2.1. Préparation des extraits aqueux et des milieux de culture.....	45
2.2. Incorporation des extraits aqueux et des huiles essentielles dans les milieux PDA	45
2.3. Préparation de l'extrait aqueux à chaud et des milieux de culture pour la confirmation de l'efficacité de <i>O. gratissimum gratissimum</i> L	46
2.4. Préparation des suspensions de spores	46
2.5. Détermination "in vitro" de l'activité antifongique de l'extrait aqueux et de l'huile essentielle de <i>Ocimum gratissimum</i>	47
2.6. Analyses statistiques	48
II. RECHERCHE DU STADE DE RECOLTE APPROPRIE POUR LES TRAITEMENTS ET LA CONSERVATION.....	48

1.	Matériel	48
1.1.	Matériel végétal.....	48
2.	Méthodes	49
2.1.	Traitement des tomates à l'hexanal.....	49
2.1.1.	Préparation l'hexanal.....	49
2.1.2.	Traitement des tomates.....	49
2.1.3.	Condition de stockage.....	50
2.2.	Détermination des propriétés physico-chimiques de la tomate.....	50
2.2.1.	Mesure de la respiration.....	50
2.2.2.	Fermeté de la tomate.....	50
2.2.3.	Analyse colorimétrique de la tomate.....	51
2.2.4.	pH, degré Brix et Acidité.....	51
2.3.	Évaluation des pertes lors de la conservation.....	52
2.3.1.	Perte de masse.....	52
2.3.2.	Taux de perte (pourriture).....	52
2.4.	Analyses statistiques.....	52
III.	ESSAIS DE CONSERVATION AVEC LE BIO-FONGICIDE ET L'HEXANAL.....	53
1.	Matériel végétal	53
1.1.	Récolte des feuilles et préparation de la poudre.....	53
1.2.	Récolte des tomates.....	53
2.	Méthodes	54
2.1.	Traitement des tomates.....	54
2.1.1.	Traitement des témoins.....	54
2.1.2.	Traitement à l'Hexanal.....	54
2.1.3.	Traitement à l'huile essentielle de <i>O. gratissimum</i>	54
2.1.4.	Traitement à l'extrait aqueux de <i>O. gratissimum</i>	55
2.1.5.	Condition de stockage.....	55
2.2.	Détermination des propriétés physico-chimiques de la tomate après traitement.....	55
2.2.1.	Perte de masse.....	55
2.2.2.	Mesure de la maturité à l'aide d'un DA-Meter.....	56
2.2.3.	Taux d'infection.....	56
2.2.4.	Taux de matière sèche.....	56
2.2.5.	pH, Degré Brix, Acidité, fermeté, indice de maturité et indice du goût.....	57
2.2.6.	Analyses statistiques.....	57
2.3.	Méthodologie d'isolement de souches fongiques à partir des tomates infectées.....	57
2.3.1.	Culture des moisissures.....	57
2.3.2.	Purification des cultures de moisissures.....	57
2.3.3.	Etude des caractéristiques culturales des moisissures.....	57
2.4.	Mise en évidence <i>in vivo</i> de l'extrait aqueux de <i>O. gratissimum</i> sur les plants de tomate.....	58
2.4.1.	Matériel végétal.....	58
2.4.2.	Inoculation des plants de tomate.....	58
2.4.3.	Traitement des plants de tomate avec l'extrait aqueux de <i>O. gratissimum</i>	58
2.4.3.1.	Traitement préventif.....	58
2.4.3.2.	Traitement curatif.....	59
2.4.4.	Conditions d'incubation des plants.....	59

2.4.5. Suivi de l'évolution de la maladie.....	59
2.5. Mise en évidence <i>in situ</i> de l'extrait aqueux de <i>O. gratissimum</i> sur les feuilles de tomate	59
2.5.1. Inoculation, traitement et conservation	59
2.5.2. Suivi de la maladie.....	59
2.6. Mise en évidence <i>in vitro</i> de l'effet de l'extrait aqueux de <i>O. gratissimum</i> sur <i>Alternaria solani</i>	59
Chapitre 1.....	61
I. RESULTATS.....	62
1. Teneur en sucres solubles des tomates	62
2. Acidité titrable des tomates	63
3. Indice de maturité et d'acceptabilité	64
4. Indice du gout.....	65
5. pH des tomates.....	66
6. Fermeté.....	67
7. Couleur.....	68
8. Taux de perte (Pourriture).....	69
9. Perte de masse	70
10. Respiration.....	71
11. Quotient respiratoire	72
II. DISCUSSION	73
III. CONCLUSION	76
Chapitre 2.....	77
I. RESULTATS.....	78
1. Inhibition de la croissance <i>in vitro</i> de <i>Botrytis cinerea</i> par les huiles essentielles de Neem et de <i>Ocimum</i>.....	78
2. Inhibition de la croissance <i>in vitro</i> de <i>Botrytis cinerea</i> par la tisane des feuilles de neem, de papaye et <i>Ocimum</i>.....	79
3. Inhibition de la croissance <i>in vitro</i> de <i>Fusarium</i> par l'huile essentielle de <i>Ocimum</i>.....	80
4. Inhibition de la croissance <i>in vitro</i> de <i>Botrytis</i> et de <i>Fusarium</i> par la tisane chaude de <i>Ocimum</i>.....	81
II. DISCUSSION	83
CONCLUSION	85
Chapitre 3.....	86
I. RÉSULTATS.....	87
1. Effet des traitements sur le pH des tomates stockées à 12 °C et à température ambiante (27 ± 2°C)	87
2. Effet des traitements sur l'acidité des tomates stockées à 12°C et à température ambiante (27 ± 2°C).....	88
3. Effet des traitements sur les sucres solubles des tomates stockées à 12°C et à température ambiante (27 ± 2°C).....	89
4. Effet des traitements sur l'indice de maturité et d'acceptabilité des tomates stockées à 12°C et à température ambiante (27±2°C)	90
5. Effet des traitements sur l'indice du gout des tomates traitée et stockées	91
6. Effet des traitements sur la fermeté des tomates stockées à 12°C et à température ambiante (27 ± 2°C).....	92
7. Effet des traitements sur la matière sèche des tomates stockées à 12°C et à température ambiante (27 ± 2°C).....	93
8. Evolution de la maturation au cours de la conservation à 12°C et à température ambiante (27 ± 2°C).....	94

9.	<i>Perte de masse au cours de la conservation à 12°C et à température ambiante (27 ± 2°C)</i>	95
10.	<i>Quantité d'eau perdue par les tomates au cours de la conservation à 12°C et à température ambiante (27 ± 2°C)</i>	96
11.	<i>Comparaison de la couleur des tomates devenues rouge en conservation avec celles devenues rouge en champ</i>	97
12.	<i>Taux d'infection des tomates au cours de la conservation à 12°C et à température ambiante (27 ± 2°C)</i>	98
13.	<i>Microorganismes isolés des tomates au cours de la conservation à 12°C et à température ambiante (27 ± 2°C)</i>	98
II.	DISCUSSION	101
III.	CONCLUSION	103
	Chapitre 4	104
I.	RESULTATS	105
1.	<i>Effet de la tisane de O. gratissimum sur la croissance in vitro de Alternaria solani</i>	105
2.	<i>Effet de la tisane de O. gratissimum sur la croissance in situ de Alternaria solani</i>	106
3.	<i>Effet de la tisane de O. gratissimum sur la croissance in planta de Alternaria solani</i>	108
II.	DISCUSSION	110
III.	CONCLUSION	111
	CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	112
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	113
	ANNEXES	135

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : plant (A) et feuille (B) de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>)	4
Figure 2 : plant de tomate à croissance déterminée.....	5
Figure 3 : plant de tomate à croissance indéterminée.....	6
Figure 4 : développement du fruit de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> var. <i>cerasiformae</i>) (Gillaspy et al., 1993).....	8
Figure 5 : structure du fruit de la tomate (Chanforan, 2010).....	9
Figure 6 : principales formes de tomates (Coll, 2006).....	9
Figure 7 : différentes couleurs de tomate (Google.fr).....	10
Figure 8 : zones de production et distribution de la tomate en Côte d'Ivoire (Oura, 2012).....	12
Figure 9 : maladies de la tomate : pourriture apicale (A), fendillement des fruits (B), asphyxie racinaire (C), boursofflure de la tige (D).	18
Figure 10 : plante (A) et feuille (B) de <i>O. gratissimum gratissimum</i> (Mawussi, 2008 ; Plantnet, 2022).....	30
Figure 11 : feuilles, graine (A) et arbre (B) de <i>Azadirachta indica</i> (Neem)	32
Figure 12 : plante (A), feuille (B), fleur (C) et fruit (D) de <i>Carica papaya</i>	33
Figure 13 : photos d'un champ et d'un plant de tomate	37
Figure 14 : allées d'un champ de tomate	38
Figure 15 : déchets dans un champ de tomate	38
Figure 16 : tomates pourries dans un champ	39
Figure 17 : mode de conditionnement des tomates pour le transport vers les marchés de gros et de détails.....	40
Figure 18 : modes de transport des tomates depuis les champs vers les marchés de gros	40
Figure 19 : tomates dégradées mais vendues sur les marchés (Bancal et Tano, 2019).....	41
Figure 20 : schéma de distribution de la tomate sur les marchés en Côte d'Ivoire	42
Figure 21 : feuilles et huiles essentielles utilisées	44
Figure 22 : différents stades de maturité de tomates utilisées : A (Breaker), B (Tournant) et C (rouge en plein champ).	48
Figure 23 : schéma de traitement et conditions d'entreposage des tomates	49
Figure 24 : schéma du dispositif de mesure de la respiration.....	50
Figure 25 : matériel végétal.....	53
Figure 26 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non des tomates, sur la teneur en sucres solubles des tomates devenues rouge lors de la conservation. Les tomates ont été conservées à 12 °C, puis à température ambiante (≈ 28 °C).....	62
Figure 27 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non des tomates, sur l'acidité titrable des tomates devenues rouge lors de la conservation. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante.....	63
Figure 28 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non des tomates, sur l'indice de maturité et d'acceptabilité des tomates devenues rouge lors de la conservation. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante.	64
Figure 29 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non des tomates, sur l'indice de goût des tomates devenues rouge lors de la conservation. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante.....	65
Figure 30 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non des tomates, sur le pH des tomates devenues rouge lors de la conservation. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante	66

Figure 31 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non des tomates sur la fermeté. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈ 28 °C).	67
Figure 32 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non des tomates sur le taux de perte dû à la pourriture lors de la conservation. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈ 28 °C).	69
Figure 33 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non des tomates sur la perte de masse des tomates lors de la conservation. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈ 28 °C)	70
Figure 34 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non des tomates sur la respiration lors de la conservation. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈ 28 °C).	71
Figure 35 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non des tomates sur le quotient respiratoire lors de la conservation. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈ 28 °C).	72
Figure 36 : effet des huiles essentielles de Neem et de <i>Ocimum</i> sur la croissance <i>in vitro</i> de <i>Botrytis</i> sur un milieu PDA après 7 jours.....	78
Figure 37 : effet des tisanes de feuilles de papaye, de Neem et de <i>Ocimum</i> en fonction de leur mode de préparation sur la croissance <i>in vitro</i> de <i>Botrytis</i> au septième jour de traitement.	79
Figure 38 : effet de l'huile essentielle de <i>Ocimum</i> sur la croissance <i>in vitro</i> de <i>Fusarium oxysporium</i> après 7 jours.....	80
Figure 39 : effet de la tisane chaude de <i>Ocimum</i> sur la croissance <i>in vitro</i> de <i>Fusarium</i> et <i>Botrytis</i> au septième jour de traitement.	81
Figure 40 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non puis à la tisane ou huile essentielle de <i>Ocimum</i> sur le pH des tomates. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈27 °C).	87
Figure 41 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non puis à la tisane ou huile essentielle de <i>Ocimum</i> sur l'acidité des tomates. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈27 °C)	88
Figure 42 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non puis à la tisane ou huile essentielle de <i>Ocimum</i> sur la quantité de sucres solubles des tomates. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈27 °C).....	89
Figure 43 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non puis à la tisane ou huile essentielle de <i>Ocimum</i> sur l'indice de maturité et d'acceptabilité des tomates. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈27 °C).	90
Figure 44 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non puis à la tisane ou huile essentielle de <i>Ocimum</i> sur l'indice du goût des tomates. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈27 °C).	91
Figure 45 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non puis à la tisane ou huile essentielle de <i>Ocimum</i> sur la fermeté des tomates. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈27 °C).	92
Figure 46 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non puis à la tisane ou huile essentielle de <i>Ocimum</i> sur la matière sèche des tomates. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈27 °C).	93
Figure 47 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non puis à la tisane ou huile essentielle de <i>Ocimum</i> sur la maturation des tomates. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈27 °C).	94
Figure 48 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non puis à la tisane ou huile essentielle de <i>Ocimum</i> sur la perte de masse des tomates. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈27 °C).	95

Figure 49 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non puis à la tisane ou huile essentielle de <i>Ocimum</i> sur la quantité d'eau perdue des tomates. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈ 27 °C).....	96
Figure 50 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non puis à la tisane ou huile essentielle de <i>Ocimum</i> sur le taux d'infection au cours de la conservation des tomates. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈ 27 °C).....	98
Figure 51 : effet de la tisane de <i>O. gratissimum</i> sur la croissance <i>in vitro</i> d' <i>Alternaria solani</i> au septième jour de traitement.	105

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : principaux producteurs de tomate au niveau mondial en 2020 (FAOSTAT, 2022).....	11
Tableau 2 : évaluation de la production de la tomate en Côte d'Ivoire de 2011 à 2020 (FAOSTAT, 2022).....	11
Tableau 3 : constituants biochimiques du fruit de tomate (équivalent en % pour 100g) (Davies et al., 1981, Blancard et al., 2009).....	13
Tableau 4 : composition en nutriments du fruit de tomate pour 100g de matière fraîche consommable (Grasselly et al., 2000).....	14
Tableau 5 : quelques fongicides utilisés dans la culture de la tomate (Rap, 2017).	24
Tableau 6 : concentrations pratiques des milieux de culture à l'extrait aqueux.....	46
Tableau 7 : effet du traitement par trempage post-récolte des fruits de tomate dans une formulation aqueuse d'hexanal et stockés à 12 et 28 °C, sur les paramètres de couleur.	68
Tableau 8 : paramètres antifongiques de la tisane à chaud et de l'huile essentielle de <i>O. gratissimum</i> sur la croissance mycélienne.	82
Tableau 9 : effet du traitement par trempage post-récolte des fruits de tomate dans une formulation à l'hexanal ou non puis à la tisane ou huile essentielle de <i>Ocimum</i> et stockés à 12 et 27 °C, sur les paramètres de couleur.....	97
Tableau 10 : microorganismes isolés des tomates traitées à l'hexanal et <i>Ocimum</i> (huile ou tisane) ayant été infectées au cours de la conservation	99
Tableau 11 : effet du traitement <i>in situ</i> de la tisane chaude de <i>Ocimum</i> à la concentration de 70 % sur l'alternariose causé par <i>Alternaria solani</i> sur les feuilles de tomates après 10 et 15 jours d'inoculation.....	107
Tableau 12 : effet du traitement <i>in planta</i> de la tisane chaude de <i>Ocimum</i> à la concentration de 70 % sur l'alternariose causé par <i>Alternaria solani</i> sur les plants de tomates après 10 et 15 jours d'inoculation.....	109

Introduction

La tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) compte parmi les cultures légumières les plus importantes du monde (**Shankara Naika, 2005**). Selon le Fond des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), elle occupe la première place dans la production maraîchère après la pomme de terre et est cultivée dans plus de 170 pays. En Côte d'Ivoire, la tomate est l'un des légumes les plus consommés après l'oignon, l'aubergine, le gombo et le piment (**AGRICI, 2016**). Sa consommation annuelle, sous toutes ses formes, avoisine les 105 000 tonnes (**FAOSTAT, 2013**). La production nationale ne représente que 47 283 tonnes, soit 45 % de la consommation totale. Le reste (55 %) est comblé par l'importation (**FAOSTAT, 2022**). Ce déséquilibre lié à la faible productivité crée un déficit structurel au niveau de l'offre des produits à base de la tomate (**Minagra, 1993**). Ainsi, la tomate demeure l'une des spéculations maraîchères la plus importée en Côte d'Ivoire (**MAHRH 2011**).

En Côte d'Ivoire, on constate une surproduction pendant les saisons pluvieuses qui varient selon les régions (côtières et forestières). En dehors de ces périodes pluvieuses, la tomate se fait rare sur les étals. La courte période de surproduction est caractérisée par une baisse vertigineuse des prix et d'énormes pertes énormes du fait d'un manque des moyens et d'infrastructures pour conserver la tomate (**Kouame, 2016**). Les pertes post et pré récoltes comptent parmi les facteurs déterminants qui orientent les stratégies de production ; et cela est davantage accentué avec les denrées hautement périssables, tels que la tomate (**Soro et al., 2008**). Par ailleurs, la filière légume, notamment la tomate, malgré son importance dans la nutrition des ménages reste l'apanage de quelques producteurs. Cela s'explique par les difficultés de financement et d'encadrement des coopératives. Les techniques et les moyens de production restent encore archaïques. Par conséquent, les rendements sont faibles. Aussi, l'absence de techniques modernes de conservation de la production occasionne des dommages et des pertes de production (**Sangare et al., 2009**). En effet, la quantité perdue à la récolte varie entre 5 et 50% de la production (**Bancal et Tano, 2019**). Les pertes sont d'origine physiologique, à travers la perte de matière sèche et la perte d'eau par la transpiration, et d'origine microbienne, notamment fongique. Ainsi, toute initiative de conservation devrait permettre de ralentir le métabolisme contribuant aux dommages physiologiques et protéger les fruits et légumes des maladies et ravageurs (**Bancal et Tano, 2019**). Afin d'y remédier, différentes méthodes de conservation (le froid entre 0-15 °C, l'irradiation ionisante, l'atmosphère contrôlée, etc.) sont expérimentées et éprouvées (**Sandhya, 2010**). Cependant, ces technologies restent inaccessibles à la majorité des acteurs des filières des pays de Sud, notamment d'Afrique. La conservation à basse température, une technique couramment

utilisée, permet de ralentir la respiration et la production d'éthylène des fruits et en conséquence d'agir directement sur les processus de maturation (**Sandhya, 2010**). En combinaison avec le froid, un produit tel que l'hexanal, substance d'origine végétale, peut être utilisé pour retarder le murissement des fruits et légumes et ainsi prolonger leur durée de conservation (**Cheema et al., 2014; Gill et al., 2016; Jincy et al., 2017; Kumar et al., 2018**). L'hexanal peut être appliqué aussi bien en pré récolte par pulvérisation des plants entre 15 et 30 jours avant la récolte (**Anusuya et al., 2016; Kaur et al., 2020**) qu'en post-récolte par vaporisation sur les fruits (**Ashitha et al., 2019; Sharma et al., 2010**). Aussi une application de l'hexanal par trempage du fruit peut être effectuée bien après une application pré-récolte (**Preethi et al., 2018; Yumbya et al., 2018**). Il existe d'autres techniques de conservation utilisant des produits chimiques. Dans les zones de production, de nombreuses contraintes biotiques, surtout d'origine fongique, obligent les maraîchers à utiliser des pesticides non usuels ou dont les doses d'application recommandées ne sont malheureusement pas toujours respectées (**Soro et al., 2008**).

La présente étude a pour principal objectif de développer et proposer aux opérateurs de la filière tomate des techniques de conservation innovantes et adaptées à leur contexte de production. Il s'agit plus spécifiquement de :

- Trouver un bio-fongicide pour la conservation à l'état frais de la tomate (*Solanum lycopersicum*) cultivée en Côte d'Ivoire.
- Déterminer le stade de récolte pour lequel les méthodes de conservations sont les plus efficaces.
- D'évaluer l'effet combiné de l'hexanal et de l'un (le meilleur) des bio-fongicides étudiés.

I. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Généralité sur la tomate

1.1. Historique

Longtemps considérée comme toxique, la tomate (*Solanum lycopersicum*) était considérée comme possédant des vertus maléfiques en raison de sa ressemblance avec la mandragore. La tomate a donc d'abord été utilisée en tant que plante ornementale, puis au XVIII^e siècle, elle a rejoint le catalogue de semence potagère de Vilmorin-Andrieu (**Mikanowski et Mikanowski, 1999**). La tomate est originaire des vallées fertiles du Mexique. Celle-ci a d'abord été cultivée et améliorée par les Indiens du Mexique, sous le nom aztèque « tomatl », avant d'être ramenée en Europe par les conquistadores. Les premières recherches variétales débuteront au 20^{ème} siècle pour produire des tomates plus régulières, à grand rendement, et plus résistantes aux maladies. Les modes de production évoluent également. La production de tomates sous serre et/ou hors sol toute l'année, notamment aux Pays-Bas prend de l'ampleur. La production et la consommation mondiale de tomates sont devenues très importantes, et depuis les années 90, les consommateurs se plaignent de la standardisation de ce produit et de la perte de goût de la tomate (**Degioanni, 1997**). Les recherches actuelles s'orientent donc plus vers une caractérisation et une amélioration de la qualité organoleptique du fruit. L'importance alimentaire et les nombreuses vertus thérapeutiques de la tomate font d'elle le premier légume-fruit au niveau mondial (**Chapuis et Mille, 2001**). La tomate a donné lieu au développement d'une importante industrie de transformation, pour la production de concentré, de sauces, de jus et de conserves (**MTCTHG, 2009**).

1.2. Classification et caractéristiques morphologiques de la tomate

1.2.1. Classification systématique de la tomate

Le nom scientifique *Solanum lycopersicum* L. a été proposé pour remplacer celui donné par Miller, à savoir *Lycopersicum esculentum*, utilisé depuis de nombreuses décennies. En effet, les éléments historiques montrent que *Solanum Lycopersicum* a été proposé par **Linné en 1753**, un an avant la proposition de Miller d'associer la tomate au genre lycopersicum. Des études phylogénétiques appuient l'idée que la tomate et d'autres espèces de *lycopersicum* sauvages doivent être placés dans le genre *Solanum*. Toutefois, les deux noms continuent d'être utilisés dans la littérature (**Blancard, 2009**).

Règne :	Plantae
Sous-règne :	Tracheobionta
Division :	Magnoliophyta
Classe :	Magnoliopsida
Sous-classe :	Asteridae
Ordre :	Solanales
Famille :	Solanaceae
Genre :	<i>Solanum</i>
Espèce :	<i>Solanum lycopersicum</i> L.

1.2.2. Caractéristiques morphologiques de la tomate

La tomate est une plante maraichère, herbacée, annuelle, appartenant à la famille des *Solanaceae* (**figure 1A**). Sa taille varie entre 40 cm à plus de 5 mètres selon les variétés et le mode de culture (**Blancard et al., 2009**). Ses feuilles alternes sont composées (**figure 1B**). Les fleurs des variétés cultivées sont groupées en inflorescences simples ou ramifiées. Leur nombre est variable allant de 5 à 12. Les fruits sont des baies à loges. Ils sont charnus, tendres, lisses ou creusés de sillons. Les loges renferment les graines dans le mucilage (**Bernard et al., 2009**).



Figure 1 : plant (A) et feuille (B) de tomate (*Solanum lycopersicum*)

1.2.3. Croissance et développement du plant de tomate

Il existe plusieurs catégories et variétés de tomates selon le mode de croissance de la plante (déterminée et indéterminée) et la morphologie du fruit : fruit plat et côtelé, fruit arrondi, fruit allongé avec une extrémité arrondie, fruit de petite dimension et de faible poids (**Coll, 2006**).

Selon **Blancard et al. (2009)**, il existe plusieurs caractères distinctifs qui permettent de différencier les variétés de tomate.

1.2.3.1. Variété à croissance déterminée

Dans ce groupe, se trouve des variétés dont la tige émet un nombre donné de bouquets à fleurs. La tige principale est terminée par un bouquet à fleurs, comme d'ailleurs les rameaux anticipés, il en résulte que faute de bourgeon végétatif terminal, la croissance de la tige s'arrête d'elle-même (**Laumonnier, 1979**). La croissance végétative se poursuit jusqu'à ce que les extrémités des tiges ne produisent plus que des fleurs. Il n'y a plus d'allongement possible (**figure 2**). Le nombre d'inflorescences est fini. Le port de ces plants de tomate est de type buissonnant et compact (s'il n'y a pas de taille, ce qui est le cas généralement) La production de tomates est alors plus "concentrée" (**Lachachi, 2010**). Ces variétés à croissance déterminée sont donc à retenir lorsque l'on souhaite disposer d'une récolte élevée en tonnage, mais dans un éventail de production peu étendu, de 6 à 7 semaines environ. Elles sont utilisées généralement pour la culture en plein champs (**Laumonnier, 1979**). Les principales variétés sont : Celsior, Prisca, Balca, Fandango, Cencarra, Floradade, Apla, Topla, Carma, Sixtima, Earlymat, Lérica, Roma, San Marzano (**Adab, 2001**) Tomito F1, Sanzana F1, Roma F1, Hector F1 (**Aujardin, 2021**).

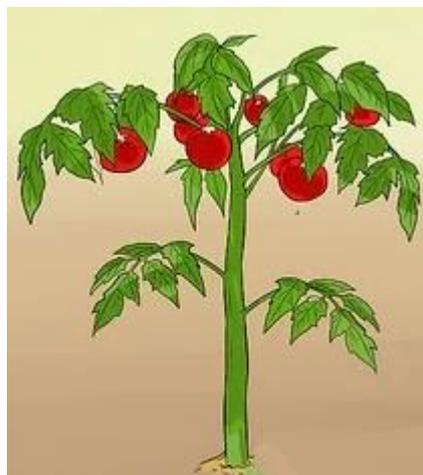


Figure 2 : plant de tomate à croissance déterminée

1.2.3.2. Variétés à croissance indéterminée

Les variétés à croissance déterminée présentent une tige principale se développant avec régularité et formant généralement un bouquet à fleurs toutes les trois feuilles. Le haut de la tige s'allonge régulièrement en produisant en continu une nouvelle pousse, de nouvelles feuilles et de nouvelles inflorescences (**figure 3**). Il en résulte que la production des fruits est prolongée.

C'est la mort du pied qui arrête la croissance ou un pincement du bourgeon terminal à la hauteur souhaitée. Il peut y avoir, en une saison 6 ou 7 générations de fleurs, voire plus et les tiges qui peuvent atteindre quelques mètres de longueur (7 mètres pour certaines variétés) (**Laumonnier, 1979 ; Lachachi, 2010**). Ce groupe se caractérise par un rendement important qui s'étale sur une longue période (**Laumonnier, 1979**), en voici quelques exemples : Daniela, Cristal, Tresor, Rambo, Caruso, Tradiro, Félicia, Belliro, Rondello, Marylin, Excell, Palmiro, Ronduro, Pégase (**Adab, 2001**) ; Lemon boy F1, Yellow pear, Red pear, Sweet 100 F1, Marmande F1, Pyros F1, Montfavet F1, Rita F1, Premio F1, Cobra F1 (**Aujardin, 2021**).

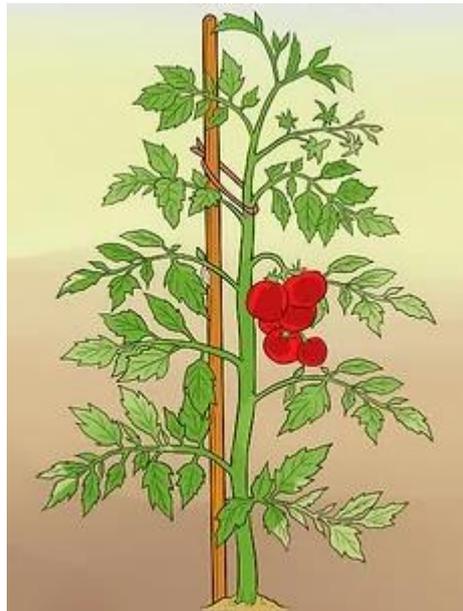


Figure 3 : plant de tomate à croissance indéterminée

1.2.3.3. Variété à croissance semi déterminée

Il s'agit de la situation intermédiaire. Dans un premier temps, la croissance peut être déterminée mais assez tardivement, ce qui fait que les tiges s'allongent. Dans un second temps, la croissance devient déterminée, puis une nouvelle pousse démarre tardivement pour redonner une nouvelle étape végétative (**Lachachi, 2010**). On peut citer comme exemple: Costoluto genovese, Grappe de noel, Révérend Michael Keyes, Potato leaf variegated, Dusya oranzehevaja, (**Cultivetaurue, 2019**).

1.2.4. Développement et structure du fruit de la tomate

1.2.4.1. Développement du fruit de la tomate

La maturation des fruits est une phase dynamique, transitoire et métaboliquement active qui implique plusieurs processus biochimiques tels que la décomposition des parois cellulaires et de la pectine, la dégradation des membranes, la décomposition des glucides stockés en sucres, une réduction de l'acidité et une augmentation de la biosynthèse de la couleur et des composants volatiles de l'arôme. Le tout contribuant à une amélioration globale de la qualité organoleptique des fruits (**Paliyath *et al.*, 2012**). L'organogénèse du fruit (**figure 4**) peut être divisée en quatre phases successives (**Gillaspy *et al.*, 1993**) (**figure 4 A**) et la mesure du diamètre du fruit au cours du développement de la tomate décrit une sigmoïde (**figure 4 B**). La fécondation des ovules et la maturation des fruits marquent respectivement le début et la fin du développement du fruit. Le nombre de fruits par grappe est fonction de la variété utilisée, et peut être déterminé en taillant les plantes, une fois la nouaison des fruits effectuée. La courbe de croissance des fruits comprend trois phases :

- une première phase de division cellulaire d'une durée de 15 jours environ associée à une croissance lente. C'est à ce moment que se détermine le potentiel de croissance du fruit à travers le nombre de cellules formées ;
- une deuxième phase de croissance rapide jusqu'au stade vert mature. Pendant cette phase, dite de grandissement cellulaire, que le potentiel de croissance généré à la première étape est plus ou moins réalisé selon les conditions climatiques et les équilibres végétatifs / génératifs de la plante ;
- une troisième phase, dite de maturation, caractérisée par un changement de couleur, de texture et de composition chimique du fruit. En effet, c'est essentiellement une période de transformations biochimiques qui dépend des composés stockés et de l'environnement du fruit (**Grasselly *et al.*, 2000**).

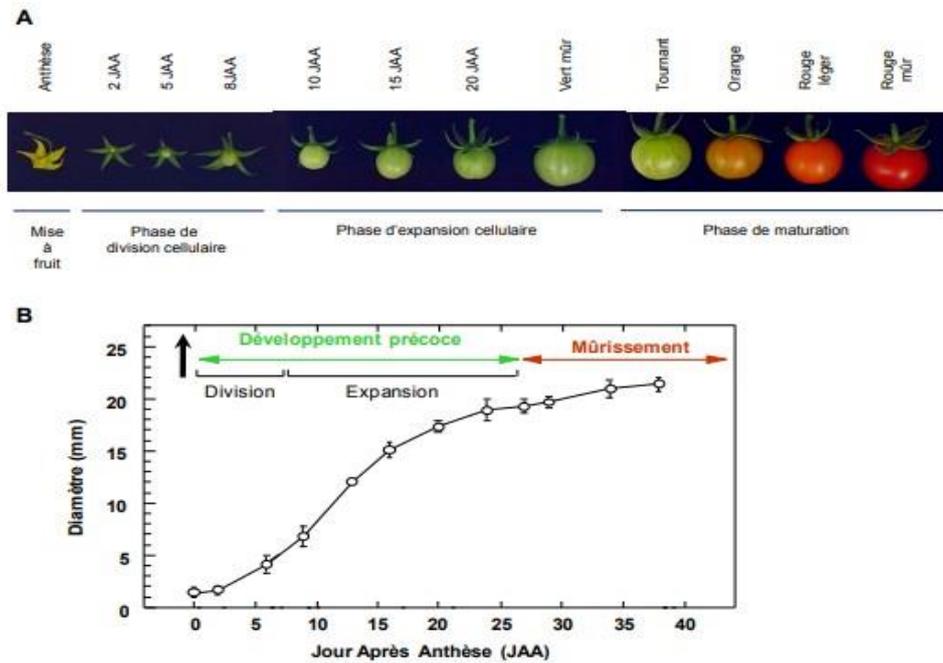


Figure 4 : développement du fruit de tomate (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiformae*) (Gillaspy *et al.*, 1993)

A. Fleurs et fruits de tomate à différents stades de développement. JAA : jours après anthèse
 B. Diamètre du fruit au cours des 3 phases de développement. La flèche verticale symbolise la mise à fruit.

1.2.4.2. Structure du fruit de tomate

Le fruit de tomate est composé du péricarpe (peau et partie charnue) et de la pulpe (placenta et graines) qui renferme les graines (**figure 5**). Le péricarpe provient de la différenciation des parois carpellaires de l'ovaire. Il peut être divisé en péricarpe externe, péricarpe radial ou « septum » (qui divise le fruit en plusieurs locules) et péricarpe interne ou « columelle ».

Le péricarpe externe est constitué de l'épiderme (peau du fruit), du mésocarpe (partie charnue) et de l'endocarpe qui délimite les locules.

L'épiderme est composé d'une couche externe : épiderme, recouvert en surface d'une cuticule lipidique et de 2 à 4 couches internes de cellules, l'hypoderme (Johann, 2013).

Le placenta, à partir duquel se développent les ovules, évolue et s'étend dans les locules. Dans le fruit immature, le placenta est ferme et compact puis progressivement, à partir du stade Breaker, les parois des cellules placentaires sont dégradées. Le tissu loculaire devient alors gélatineux et homogène (désigné sous le terme de gel) et il finit par remplir la cavité loculaire. Les ovules fécondés vont évoluer pour donner naissance aux graines dans lesquelles va se

former l'embryon. Les tissus vasculaires s'organisent en deux réseaux distincts. Le premier part du pédicelle à travers le péricarpe externe de manière plus ou moins parallèle à la périphérie du fruit. Le second passe à travers la columelle et le péricarpe interne pour se diriger vers les graines (Johann, 2013).

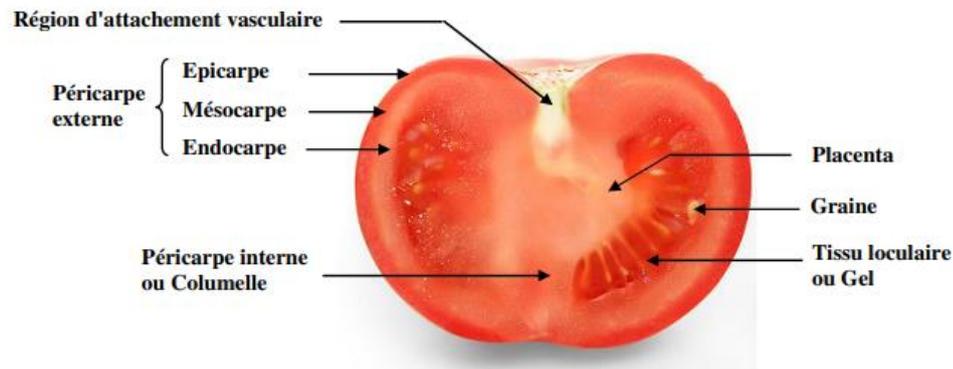


Figure 5 : structure du fruit de la tomate (Chanforan, 2010)

1.3. Forme du fruit de tomate

Selon Ranc (2010), les cultivars de tomates produisent majoritairement des fruits ronds mais, de nombreuses variantes sont connues (figure 6).

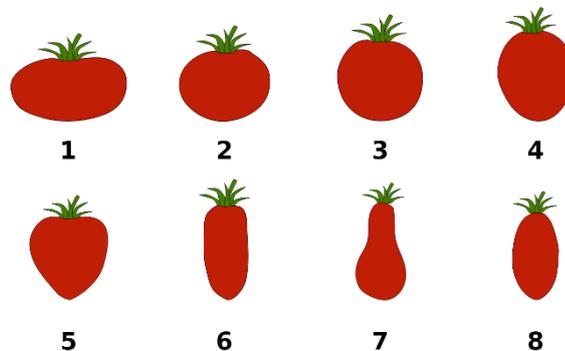


Figure 6 : principales formes de tomates (Coll, 2006)

- | | |
|------------------------------|-------------------------------|
| 1 : aplati | 5 : cordiforme |
| 2 : légèrement aplati | 6 : cylindrique |
| 3 : arrondi | 7 : pyriforme |
| 4 : allongé arrondi (ovoïde) | 8 : obovoïde (forme de prune) |

1.4. Couleur du fruit

Lorsqu'il n'est pas encore mûr, le fruit est vert et poilu. En revanche, la couleur des fruits mûrs varie du jaune au rouge en passant par l'orange (Naika *et al.*, 2005). Si les tomates rouges sont les plus souvent utilisées, il existe d'autres couleurs différentes qui sont consommées : orange,

jaune, verte, rose, noire, blanche, zébrée,... (**figure 7**). Certaines peuvent être bleues, presque noires ou violettes comme la tomate "Noire de Crimée" ou "Bleue". D'autres ont l'allure d'une tomate qui n'est pas encore mûre.

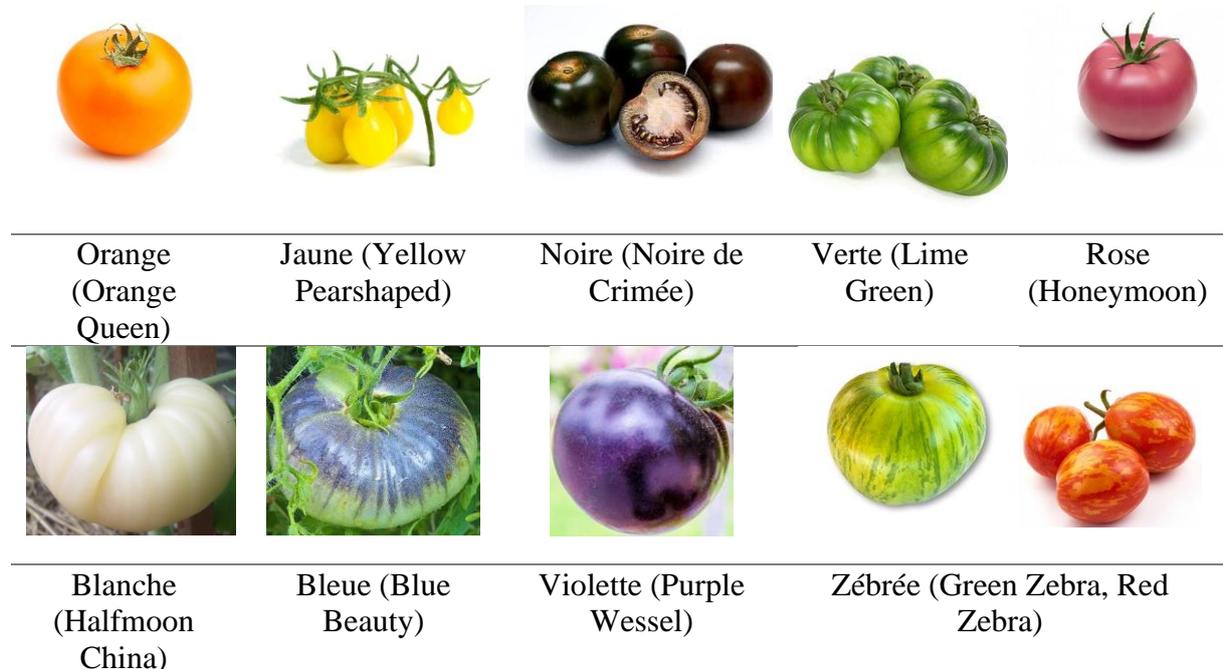


Figure 7 : différentes couleurs de tomate (**Google.fr**)

2. Importance de la tomate

De nos jours, la tomate est un des légumes les plus produits, transformés et consommés dans le monde (**Costa et Heuvelink, 2005 ; Naika et al., 2005 ; Royer, 2013**). La production de ce légume occupe la deuxième place au niveau mondial et vient après la pomme de terre (**Camara et al., 2013**). La tomate a une grande importance aussi bien sur le plan nutritionnel qu'économique.

2.1. Au niveau mondial

La production maraîchère contribue à plus de 33 % de la production agricole mondiale et emploie 800 millions de personnes (**Kanda et al., 2014**). La tomate est l'une des principales productions légumières dans le monde. Elle est cultivée dans plus de 130 pays sur une surface avoisinant les 2.5 million d'hectares (**Blancard, 2009**). Cette production est répartie dans toutes les zones climatiques, y compris dans des régions relativement froides grâce au développement des cultures sous abri (**FAO, 2009**). La tomate est progressivement devenue une production industrielle à l'échelle mondiale. Cette culture a progressé jusqu'à battre les records en 2020 avec 186 821 216 tonnes produites pour une superficie de 5 051 983 hectares

(FAOSTAT, 2022), soit un rendement moyen par hectare d'environ 37 tonnes. Les productions sont couvertes à 62,6 % par l'Asie, 13,1 % par l'Amérique, 12,2 % par l'Europe, 11,9 % par l'Afrique et 0,2 % par l'Océanie. La Chine en est le premier producteur mondial avec environ 64,77 millions de tonnes. Elle est suivie par quatre pays classés par ordre décroissant comme suit : l'Inde, la Turquie, les États-Unis et l'Égypte (FAOSTAT, 2022). Le **tableau 1** ci-dessous montre le classement de la production mondiale de tomate en 2020.

Tableau 1 : principaux producteurs de tomate au niveau mondial en 2020 (FAOSTAT, 2022)

Classement	Pays	Production *	Classement	Pays	Production *
1	Chine	64,77	6	Italie	6,25
2	Inde	20,57	7	Iran	5,79
3	Turquie	13,20	8	Espagne	4,31
4	Etats unis	12,23	9	Mexique	4,14
5	Egypte	6,73	10	Brésil	3,75

* : million de tonnes

2.2. En Côte d'Ivoire

En Côte d'Ivoire, la culture de la tomate est à cycle assez court qui donne un haut rendement, elle a de bonnes perspectives économiques puisqu'elle génère des revenus énormes à de nombreuses populations (Bancal et Tano, 2019). La tomate est le légume le plus consommé en Côte d'Ivoire, sous la forme fraîche (salades) ou transformée (sauces) (Sangaré *et al.*, 2009). La production en 2020 était de 47 283 tonnes. Ainsi, elle occupe la 7^e position/16 au niveau de l'Afrique de l'Ouest, précédé du Nigeria en 1^{ère} position et du Ghana en 2^e avec des productions de 3 816 009 et 395 755 tonnes respectivement (FAOSTAT, 2022). Cette production demeure faible pour répondre aux besoins des populations ivoiriennes car elle est estimée à plus de 100 000 tonnes de tomate par an (Soro *et al.*, 2007). Cette faible productivité crée un déficit structurel au niveau de l'offre des produits de la tomate (Minagra, 1993). La production se répartie de façon inégale sur le territoire. En effet, la **figure 8** montre les zones de production et de distribution de la tomate en Côte d'Ivoire.

Tableau 2 : évaluation de la production de la tomate en Côte d'Ivoire de 2011 à 2020 (FAOSTAT, 2022)

Années	Superficie (Hectares)	Production (Tonnes)	Années	Superficie (Hectares)	Production (Tonnes)
2011	3 222	32 364	2016	3 703	38 200
2012	3 200	33 528	2017	3 822	39 500
2013	3 300	34 734	2018	3 850	39 866
2014	3 430	35 454	2019	3 601	37 351
2015	3 578	36 800	2020	4 550	47 283

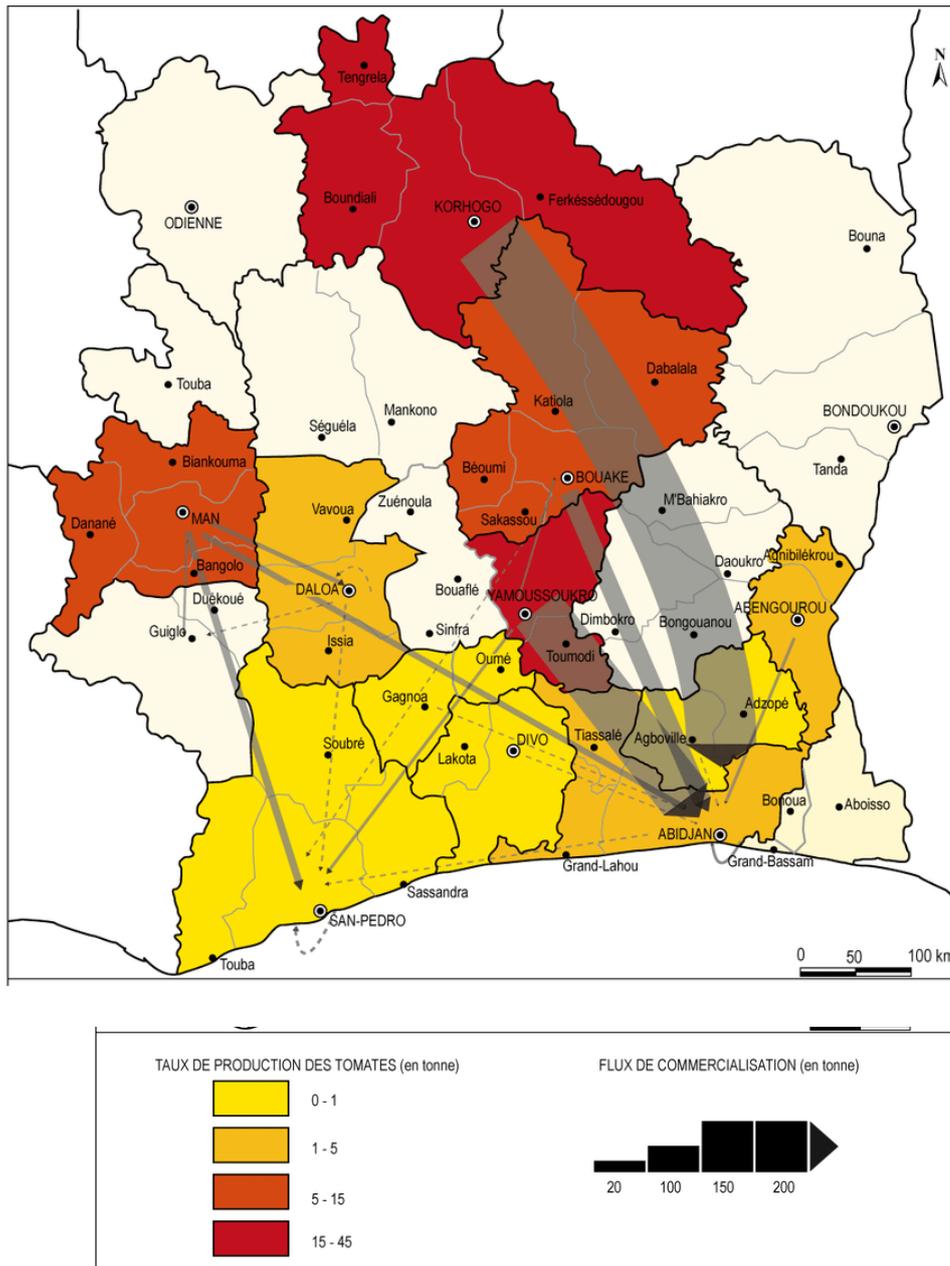


Figure 8 : zones de production et distribution de la tomate en Côte d'Ivoire (Oura, 2012)

2.3. Composition biochimique

Majoritairement composée d'eau, la tomate est un aliment très peu calorique. Les apports sont compris entre 15 et 20 calories pour 100g de matière fraîche (MF). Ils proviennent essentiellement de sucre contribuant à environ 55 % de la matière sèche (Davies *et al.*, 1981, Blancard *et al.*, 2009). Les teneurs en sucres (Fructose) et en acides (Acide citrique) sont soumises à de nombreuses régulations. Ainsi, leur évolution au cours de la maturation du fruit n'est pas établie et est dépendante des conditions de culture. L'hydrolyse du saccharose importé des feuilles produit du glucose et du fructose. Le jeune fruit stocke également des sucres sous

forme d'amidon qui sera dégradé au cours de la maturation. La cellulose et l'hémicellulose représentent environ 21 % de la MS et les acides organiques 12 % (**tableau 3**) (**Davies et al., 1981, Blancard et al., 2009**). L'acide citrique est l'acide le plus présent dans le fruit mûr de tomate, suivi de l'acide malique (**Grasselly et al., 2000**). Les tomates possèdent également de nombreuses vitamines : A, B1, E et C, ainsi que des fibres (1.8 g pour 100g de MF), des acides aminés essentiels, des sels minéraux (potassium, chlore, magnésium, phosphore) et des oligoéléments (fer, zinc, cuivre, cobalt, bore, nickel, iode) (**tableau 4**). Ces caractéristiques en font un aliment particulièrement recommandé par les diététiciens (**De Broglie et Guérout, 2005**). La tomate contient également des caroténoïdes comme le lycopène et le bêta-carotène, respectivement responsables de la couleur rouge et jaune de la tomate. Les teneurs en lycopène et en bêta-carotène sont respectivement d'environ 3 et 1 mg pour 100 g de MF. Ces teneurs sont très dépendantes des cultivars et des conditions de culture (**Grasselly et al., 2000**). Les teneurs en α -tomatine sont de 500 mg/kg de MF dans les fruits verts et d'environ 5 mg/kg MF dans les fruits rouges. Ces composés sont également impliqués dans la valeur santé du fruit. En effet, la tomatine (mélange de déhydrotomatine et de l' α -tomatine) diminue les taux de triglycérides, voire de cholestérol dans le sang (**Friedman, 2002**). Ces métabolites secondaires et antioxydants sont également bénéfiques pour la lutte contre les maladies cardiovasculaires les cancers de la prostate, gastro-intestinal et des cellules épithéliales (**Ishida et Chapman 2004 ; Rao et Rao, 2007**).

Tableau 3 : constituants biochimiques du fruit de tomate (équivalent en % pour 100g) (**Davies et al., 1981, Blancard et al., 2009**)

EAU		95 %		
Matière sèche	Soluble	Sucres (glucose et fructose)	55 %	
		Acides organiques (acide citrique et malique)	12 %	
		Minéraux (potassium, chlore, magnésium et phosphore)	7 %	5 %
		Pigment caroténoïdes, composés volatil et vitamines (C, B, K, E, A)	5 %	
	Insoluble	Cellulose et matière pectiques	21 %	

Tableau 4 : composition en nutriments du fruit de tomate pour 100g de matière fraîche consommable (**Grasselly et al., 2000**)

Composés (g)	Variations	Minéraux (mg)	Variations	Vitamines (mg)	Variations
Eau	93,4-95,2	Ca	9,7-15	Provitamine A	0,5-0,8
Protides	0,9-1,1	K	202-300	B1	0,04-0,06
Lipides trace	-0,3	Na	3-11	B2	0,02-0,05
Glucides	2,8-4,7	P	20-27	B6	0,08-0,1
Fibres	0,5-1,5	Fe	0,2-0,6	C	15-23
Minéraux	0,6	Mg	3-11	E	0,04-1,2

3. Caractéristiques physico-chimiques du fruit de la tomate

La qualité est une notion complexe puisque sa définition varie selon que l'on se place dans la situation du producteur, du distributeur ou du consommateur. Pour le producteur les critères importants sont le rendement, la résistance aux maladies, et la capacité d'adaptation aux contraintes pédo-climatiques (**Kaluzny-Pinon et al., 2001**). Le distributeur s'intéresse plus à la durée de vie du produit, l'homogénéité des lots et la bonne tenue lors de la conservation et du transport (**Guichard, 1999**). Pour l'industriel, ce sont les capacités à la transformation mais aussi les composantes physico-chimiques du produit qui détermineront la qualité finale du produit transformé. Le consommateur qui est le dernier maillon de la chaîne de distribution sera plus sensible à l'aspect visuel du produit ainsi qu'à sa valeur santé lors de l'achat. Lors de la consommation du produit, c'est la qualité organoleptique qui est retenue (**Ranc, 2010**). La qualité gustative des fruits peut se décomposer en trois parties : la texture, la saveur et les arômes. La texture est principalement caractérisée par la fermeté du fruit. L'arôme du fruit est défini par la concentration en composés aromatiques volatiles, sachant que plus de 400 composés ont été identifiés chez la tomate, et enfin la saveur est relative aux teneurs en sucre et acide (**Grasselly et al., 2000**). La qualité chez la tomate est donc un critère multi-composite qui doit être pris en compte à tous les niveaux d'utilisation lors de la sélection variétale. La qualité organoleptique du fruit, plus particulièrement, est plus difficile à caractériser ce qui complique la sélection pour ce caractère. Elle rassemble l'ensemble des critères liés à l'apparence, la flaveur et la texture du produit. La flaveur est une combinaison des saveurs et des arômes et elle se caractérise par les composantes chimiques associées à la teneur en sucres, en acides et à la composition en arômes (**Ranc, 2010**).

3.1. Poids

Un des caractères de qualité les plus étudiés chez la tomate est sans aucun doute le poids du fruit. Toutes les espèces sauvages possèdent des fruits de 10 à 15 mm de diamètre alors que des fruits de plus gros calibre (diamètre supérieur à 3 cm) sont trouvés uniquement chez l'espèce cultivée (**Ranc, 2010**). En effet, on distingue des variétés de petit (les variétés cerise, ou cherry), moyen (Maestria F1, Bali F1) et gros calibre (Ananas, Cœur de bœuf). Le choix du consommateur se fera en fonction de l'utilisation, en effet il sera penché pour les petits calibre dans les salades, les moyens et les gros pour les sauces, les farcies...

3.2. Contenu en sucres et acides

Le goût de la tomate est attribuable à la présence de sucres solubles, d'acides organiques et de composés volatiles (**Zapata et al., 2008**). Durant le mûrissement, la concentration en solides solubles totaux augmente alors que l'acidité diminue. Les sucres sont transportés des organes sources et sont entreposés dans les fruits sous forme d'amidon pendant la maturation. L'hydrolyse des amidons commence avant le pic climactérique (**Defilippi, Dandekar et al., 2004**), entraînant l'augmentation des solides solubles. Les principaux sucres apportant la saveur sucrée à la tomate sont le glucose et le fructose (**Leucci et al., 2008**). L'acide organique principal qui apporte l'acidité à la tomate est l'acide citrique (**Carrari et Fernie, 2006 ; Kader, 2008**). La perception des cinq saveurs fondamentales (sucré, salé, acide, amer ainsi que l'umami qui est la – sensibilité liée à l'acide glutamique-) est fortement liée à l'équilibre existant entre sucres et acides dans le fruit (**Stevens et al., 1977 ; Bucheli et al., 1999**).

3.3. Maturation du fruit

La maturation des fruits s'accompagne de nombreux processus intervenant dans la production des caroténoïdes et des composés aromatiques, dans des modifications du contenu en sucres et acides ainsi que dans des modifications de la texture du fruit (**Giovannoni 2004 ; Barry et Giovannoni 2007**). Chez la tomate, la maturation se caractérise par le changement de couleur. La lumière intense permet la synthèse active de matière organique qui est transporté rapidement vers les fruits en croissance, pour cela il faut une température de 18 °C la nuit et 27 °C le jour (**Rey et Costes, 1965**).

3.4. Facteurs d'altération de la qualité en post-récolte

Des facteurs comme la date de récolte ainsi que la méthode de récolte ont un impact sur la longévité et la qualité des produits horticoles (**Kader, 2002**). Mais les paramètres d'entreposage

jouent également un rôle important. Les produits récoltés sont conservés sous des conditions optimales de température, d'humidité, de composition de l'air, d'absence de blessures mécaniques ou d'agent pathogène qui leurs procurent une longue durée de vie. Cependant, lorsque ces conditions idéales sont perturbées, le métabolisme du produit s'accélère ou ralentit, et sa qualité en est affectée d'une manière négative. Les différents stress possibles sont donc contrôlés pour assurer des produits de qualité (**Bourget, 2011**).

3.4.1. Condition de stockage

La température joue un rôle clé dans le métabolisme des fruits et légumes. Un abaissement de la température diminue le métabolisme du produit, prolongeant sa durée de vie. Les basses températures permettent en plus de réguler la maturation des fruits en diminuant la synthèse et l'action de l'éthylène (**Bourget, 2011**). La conservation de la tomate dépend de la variété de celle-ci et du stade de maturité à laquelle elle a été récoltée (**DAG, 2018**). Le taux d'humidité doit être réglé pour éviter la transpiration excessive des produits tout en évitant la prolifération d'agents pathogènes fongiques (**Damodaran et al., 2008**).

3.4.2. Chocs mécaniques

Les chocs ou blessures mécaniques sont un facteur essentiel à considérer lors de la manutention, du transport et de l'entreposage des produits végétaux. Les stress mécaniques qui surviennent dans cette période vont diminuer la valeur et la qualité des produits, augmenter leur susceptibilité aux maladies et leur perte par transpiration ce qui diminuera leur durée de vie (**Bourget, 2011**). De plus, les blessures induisent la formation du gaz éthylène, qui accélère la respiration et donc la dégradation du produit (**Kays, 1991**). Les dommages physiques post-récolte sont fréquents chez les tomates, même lorsque le fruit est traité avec soin (**Abedi et Ahmadi, 2014 ; Tran et al., 2017**). Des ecchymoses se développent dans la chair du fruit endommagé sous la forme d'une zone de brunissement interne résultant de l'oxydation des composés phénoliques et de la dégradation des tissus (**Opara et Pathare, 2014**).

3.4.3. Altérations

Le développement de maladies est un autre point majeur qu'il faut considérer en post-récolte pour maintenir la qualité des fruits et légumes. Plusieurs agents pathogènes de nature fongique s'attaquent aux produits horticoles. Ces agents pathogènes proviennent du champ où ils ont pu se déposer sur le plant ou encore pénétrer dans le fruit sans provoquer d'infection (**Bourget, 2011**). Quand le produit est récolté et que ses défenses constitutives diminuent, l'agent

pathogène qui était en latence, peut alors se reproduire et infecter le produit (**Barkai-Golan, 2001**). Dans la culture de la tomate plus de 200 maladies ont été recensées (**Jones et al., 1993**). Ces maladies fongiques et bactériennes entravent considérablement la production de la tomate (**Yeboue et al., 2002 ; Soro et al., 2008**). Nous verrons dans la prochaine partie les différentes maladies et les ravageurs de la tomate.

II. MALADIES ET RAVAGEURS DE LA TOMATE

La particularité écologique de la culture de la tomate l'expose à diverses nuisances (**Nechadi, et al., 2002**), notamment les champignons, les bactéries, les virus et les ravageurs (**Leroux, 2003**). Le développement des moisissures est fortement favorisé par une température optimale comprise entre 15 et 30 °C et une humidité importante (85 %) (**Gabriel et al., 2017**). Plusieurs centaines de bioagresseurs, plus de 50 affections non parasitaires, sans compter les nouvelles pathologies émergeant avec une fréquence inquiétante font de la tomate une culture très sensible (**Blancard, 2009**).

1. Maladies de la tomate

1.1. Maladies non parasitaires

Elles sont nombreuses et peuvent concerner les racines et le collet, la tige, le feuillage, ainsi que les fruits (**Messiaen et al, 1993**). Elles sont généralement provoquées par des carences au niveau des éléments nutritifs et par des conditions climatiques défavorables (**Shankara et al, 2005**). Les plus répandues sont les suivantes (**figure 9**) :

- ✓ la pourriture apicale, provoquée par une carence en calcium ;
- ✓ le fendillement des fruits, dû aux grandes fluctuations de la teneur en humidité du sol et de la température ;
- ✓ l'asphyxie racinaire, provoquée par des irrigations trop abondantes ou par des pluies excessives ;
- ✓ les boursouflures sur tige dues à une alimentation azotée excessive ;
- ✓ l'altération des fruits, due aux coups de soleil ou à des fentes de croissance.



Figure 9 : maladies de la tomate : pourriture apicale (A), fendillement des fruits (B), asphyxie racinaire (C), boursouffure de la tige (D).

1.2. Maladies parasitaires

La tomate est sensible à différentes moisissures, bactéries et virus. Les moisissures et les bactéries provoquent des maladies au niveau des feuilles, des fruits ou des racines. Une infection virale provoque souvent une croissance retardée et une diminution au niveau de la production. Les dommages causés par les maladies peuvent conduire à une réduction considérable de la récolte (Hilmi *et al.*, 2020).

1.2.1. Maladies bactériennes

La plupart des maladies bactériennes sont transmises dans des conditions d'humidité et de température élevées. Une fois qu'elle a pénétré la plante, la bactérie envahit généralement le système vasculaire des tiges, racines et feuilles, provoquant le flétrissement de ces dernières (Hilmi *et al.*, 2020). La tomate fait souvent l'objet d'infections par plusieurs bactéries qui développent des symptômes multiples. Les principales et les plus graves sont :

- ✓ **La moucheture bactérienne** : bactériose provoquant des taches nécrotiques noires sur les feuilles et sur les fruits. La bactérie (*Pseudomonas syringae*) peut survivre et se maintenir sur la plante sans manifester de symptôme. Le développement de la maladie est favorisé par une humidité relative élevée, des températures d'environ 20 °C et en particulier la présence de film d'eau sur les organes de la plante (Snoussi, 2010 ; Blancard, 2009).

✓ **Le chancre bactérien** : la maladie se manifeste de 18 à 24 °C avec plus de 80 % d'humidité. Comme la plupart des bactéries, la maladie provoquée par *Clavibacter michiganensis* est favorisée par des périodes climatiques humides. Les plantes plus vigoureuses, après un apport d'azote, serait plus sensibles. Il y a un flétrissement, souvent unilatéral, qui débute par les feuilles de la base. Les folioles s'incurvent sur les bords avant de flétrir. Des stries noires apparaissent sur les pétioles et sur les tiges. Sur la tige, une coupe longitudinale permet de montrer un fil blanchâtre, jaunâtre ou brunâtre au niveau des tissus vasculaires, la décoloration de la moelle et son détachement des tissus vasculaires. Sur le fruit, se forment de petites taches blanchâtres dont le centre brunit et s'entoure d'un halo jaune (Snoussi, 2010 ; Blancard, 2009).

1.2.2. Maladies virales

La tomate est très sensible aux maladies virales. Le virus est souvent propagé dans la culture par des insectes vecteurs comme les mouches blanches, les thrips et les pucerons. Les dommages provoqués par ce virus sont généralement bien plus importants que les blessures physiques causées par l'insecte vecteur. Le symptôme le plus important d'une infection virale est la couleur claire (blanche ou jaune) des feuilles ou une mosaïque de tons vert clair et foncés sur les feuilles. Dans beaucoup de cas, une maladie virale entraîne une croissance retardée, la formation de rosettes ou d'autres déformations au niveau des feuilles et des tiges. Généralement, les symptômes des infections virales n'apparaissent pas partout dans le champ cultivé comme c'est le cas pour les maladies fongiques ou bactériennes (Hilmi *et al.*, 2020).

- **Tomato Brown Rugose Fruit Virus (ToBRFV)**

Les symptômes du virus des fruits bruns et rugueux de la tomate (ToBRFV) sont un jaunissement nervaire des feuilles, des lésions nécrotiques des calices et pédoncules floraux, des fruits à maturation irrégulière, à taches jaunes ou brunes et à rugosité superficielle (Blancard, 2013).

- **Tomato Yellow Leaf Curl Virus (TYLCV)**

Virus des feuilles jaunes en cuillère de la tomate : les symptômes varient peu entre les cultivars de la tomate mais, généralement, les feuilles qui subissent l'infection sont de petite taille, déformées, enroulées vers le haut avec des taches jaunâtres inter-nervaires. Les plants infectés sont rabougris et les jeunes plants deviennent sévèrement chétifs (Lhie *et al.*, 2014).

- **Tomato Spotted Wilt Virus (TSWV)**

Virus de la maladie bronzée de la tomate : les pieds contaminés sont rabougris et ont des feuilles jaunes. Les fruits montrent des cercles légèrement en relief de couleur verte, jaune et rouge qui sont caractéristiques de la maladie (**Hilmi et al., 2020**).

1.2.3. Maladies fongiques ou cryptogamiques

- **L'alternariose**

Cette maladie cryptogamique est présente en champ qu'en serre et s'attaque à toutes les parties de la plante. Les infections sont particulièrement graves dans les périodes humides et les climats chauds. Elle est propagée par le biais des graines, du vent, de la pluie ainsi que des restes de culture infectés. Les plantes qui ont été endommagées sont plus sensibles à cette maladie (**Hilmi et al., 2020**). Le mycète responsable est *Alternaria tomatophila*. Cet agent s'attaque à tous les organes aériens de la tomate et à tous les stades de croissances de la plante. Il occasionne surtout, des taches foliaires vert sombre qui deviennent rapidement brunes à noires. Sur les tiges, des tâches assez comparables sont aussi constatées. Les fruits présentent des taches concaves et peuvent se couvrir d'une moisissure noire, veloutée. Les lésions sur les fruits peuvent engendrer leur chute (**Blancard, 2009**). Différentes espèces du genre *Alternaria* peuvent aussi causer des altérations, notamment : *Alternaria alternata*, *Alternaria tenuissima* et *Alternaria solani* qui produisent l'alternariol, mycotoxine présentant un effet cancérigène. Elle provoque le cancer de l'œsophage et une maladie hématologique (**Pinto et Patriarca, 2017 ; Tiessen et al., 2017**).

- **Pourriture grise**

Elle est causée par *Botrytis cinerea*, un champignon ubiquiste et très polyphage. Il est observé sur la tomate dans pratiquement toutes ses zones de production dans le monde. Il peut être à l'origine de dégâts ponctuellement importants. Il sévit aussi bien en plein champ que sous abris (**Blancard, 2019**). Il peut attaquer toutes les parties de la plante, principalement les feuilles, la tige et le fruit. La maladie se manifeste sous forme de tâches beiges en anneaux concentriques parfois en forme de flamme en plus des chancres de couleur gris beige légèrement déprimés avec un duvet grisâtre constitué des fructifications conidiennes du champignon. Sur le fruit, on observe une pourriture molle avec affaiblissement des tissus qui débute généralement au niveau des sépales ou pétales desséchés. On peut aussi observer des anneaux blanchâtres appelés taches fantômes (**El akel et al., 2001**). Une humidité relative de 90 % et une température comprise entre 17 et 23 °C sont les facteurs qui favorisent cette maladie. Lors des différentes étapes de

l'itinéraire technique à savoir l'effeuillage, l'ébourgeonnement et le tuteurage, l'infection se propage de manière importante dans les zones de blessure (**El akel et al., 2001**). Le champignon survit sous forme de mycélium sur des débris de plantes en décomposition ou sous forme de sclérotés qui peuvent persister dans les sols secs pendant plusieurs mois ou plusieurs années. Les dégâts causés par *Botrytis* peuvent entraîner des pertes importantes de rendements en affaiblissant les plantes et en les détruisant (**Williamson et al., 2007**).

- **Fusariose**

La maladie existe sous deux formes. L'une est vasculaire et l'autre racinaire (**Blancard, 2019 ; Blancard, 2021**). La fusariose vasculaire est provoquée par *Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici*, qui est un champignon tellurique. Ce mycète ne s'attaque qu'à certains cultivars. Les plantes infectées par ce mycète du sol présentent un jaunissement des feuilles et un flétrissement se propageant à partir de la base de la tige. Au départ, les symptômes ne sont visibles que sur une seule moitié de la surface des feuilles, des branches ou des plantes avant de se propager à l'ensemble de la plante (**Messiaen et al, 1993**).

Quant à la fusariose racinaire, elle est provoquée par *Fusarium oxysporum f. sp. radicles-lycopersici* qui sévit aussi bien en plein champ que sous abris, en sol comme en hors-sol (**Blancard, 2019**). Elle peut causer une multitude de symptômes incluant des tâches foliaires, la pourriture des boutures, la pourriture du collet, le flétrissement, la pourriture des bulbes et même la pourriture racinaire. Les spores de *Fusarium* se déplacent facilement dans l'eau et peuvent être transmises d'une plante à l'autre par projection (**Buechel, 2021**).

1.3. Ravageurs de la tomate

- ***Tuta absoluta***

Comme la tomate, ce prédateur est originaire d'Amérique du Sud (**Siquiera et al., 2000**). La principale plante-hôte de *T. absoluta* est la tomate. Cependant, ce ravageur peut aussi attaquer la pomme de terre, l'aubergine et plusieurs adventices de la même famille comme la morelle noire et la stramoine (**Pereyra et Sanchez, 2006**). Après un premier stade baladeur sur la tomate, la larve peut pénétrer dans tous les organes, quel que soit le stade de croissance de la plante :

- Sur la feuille, l'attaque se caractérise par la présence de plages décolorées nettement visibles. Les larves dévorent seulement le parenchyme en laissant l'épiderme de la feuille. Par la suite, les folioles attaquées se nécrosent entièrement ;
- Sur la tige ou le pédoncule, la nutrition et l'activité de la larve perturbent le développement des plantes ;

• Les fruits présentent des nécroses sur le calice et des trous de sortie à la surface. Les fruits sont susceptibles d'être attaqués dès leur formation jusqu'à la maturité. Une larve peut provoquer des dégâts sur plusieurs fruits d'un même bouquet (**Ramel et Oudard, 2008**). Les attaques affectent aussi la capacité photosynthétique de la plante et diminue le rendement (**Desneux et al., 2010**). Selon **Pireira (2005)** et **Collavino et Gimenez (2008)**, les dommages se traduisent par une réduction de la capacité de production de la plante, une baisse des boutons floraux, la chute des fruits attaqués par la lave, la pourriture provoquée par les blessures et les pertes de production qui peuvent atteindre 100 %. Les attaques des mineuses peuvent être foudroyantes en décimant toute la culture en quelques semaines (**Inpv, 2011**).

- ***Bemisia tabaci***

Bemisia tabaci, insecte piqueur-suceur, est présent dans les zones tropicales et subtropicales mais peut se maintenir en zones tempérées ou froides, dans des microcosmes maintenus au chaud (**Brown et Bird, 1992**). Espèce invasive d'hémiptère très polyphage, elle peut se nourrir de plus de 900 plantes et transmettre 111 virus (**Ellsworth, Martínez-Carrillo, 2001**). Ce ravageur peut s'attaquer en particulier à des cultures maraîchères comme la tomate. Son contrôle est difficile car il colonise aussi certains adventices hors de planches de cultures. En plus, parmi les virus que peut transmettre l'aleurode, le Tomato Yellow Leaf Curl Virus (TYLCV ou maladie des feuilles jaunes en cuillères) est des plus dangereux pour les cultures et limite en particulier les cultures de tomate dans le monde (**Zeidan et al., 1998**). Sur la feuille, la production de miellat par l'insecte, une substance collante qui favorise la formation de fumagine noire à la surface de la plante, ce qui nuit à la photosynthèse. Selon **Liette (2020)**, sur le fruit il provoque une maturation irrégulière des fruits appelé 'TIR' (Tomato Irregular Ripening). *Bemisia tabaci* entraîne un affaiblissement des plantes hôtes lié d'une part aux ponctions de sève qu'elle occasionne et d'autre part à une baisse de l'activité photosynthétique (recroquevillement des feuilles et développement d'un champignon, la fumagine). La qualité visuelle des fruits, et donc des produits agricoles, devient moindre (**Gatimel, 2008**).

- ***Helicoverpa armigera***

La noctuelle de la tomate (*Helicoverpa Armigera*) est un papillon de nuit d'environ 2 cm de long qui attaque cette plante (**Salifou, 2017**). Ces papillons sont le plus souvent de couleur grise. Cette noctuelle se présente sous forme de chenille qui est un des principaux ravageurs de la tomate, surtout en saison sèche. Elle attaque également à d'autres légumes fruits comme le poivron et le gombo mais aussi au coton et au maïs (**Outani et al., 2019**). La jeune larve se nourrit des bourgeons, des fleurs et des feuilles en les perforant alors que la larve âgée creuse

des galeries dans les fruits. La larve préfère s'alimenter sur les fruits verts. Les dégâts les plus graves sont provoqués par l'attaque des fruits et des fleurs. Quand elle entre dans le fruit, la chenille passe inaperçue jusqu'à la maturité. Les fruits sont rongés et troués, laissant des galeries et des déjections noires sur la surface. Une seule larve peut détruire plusieurs fruits au cours de sa vie (**Salifou, 2017**). Les tomates vertes ou rouges sont trouées et présentent un gros trou bien net. A l'intérieur de la tomate, se trouve le plus souvent une grosse chenille. En plus, une seule chenille peut « goûter » plusieurs tomates. C'est pourquoi certaines tomates portent des trous mais il n'y a pas de chenille à l'intérieur (**Outani et al., 2019**).

1.4. Les maladies apparaissant lors de la conservation des tomates

Les fruits et légumes frais peuvent être infectés par des champignons et des bactéries pathogènes pendant la croissance des cultures dans les champs, la récolte, la post-récolte et le stockage (**Barth et al., 2009**). L'attaque de la plupart de ces organismes suit une blessure physique ou une dégradation physiologique de la denrée. Dans quelques cas, les agents pathogènes peuvent infecter des tissus apparemment sains et devenir la principale cause de détérioration (**Kader, 1992**). En raison de leur forme physiologique, les fruits se détériorent facilement pendant le stockage, notamment dans des conditions de température et d'humidité élevées (**Idah et al., 2007**). Lors de la conservation, plusieurs microorganismes peuvent se développer sur ou à l'intérieur des tomates. Elles sont souvent infectées par plusieurs espèces de champignons tels que *Alternaria alternata*, *Alternaria solani*, *Collectotrichum truncatum*, *Phytophthora infestans*, *Pythium aphanidermatum*, *Dipodascus geotrichum*, *Fusarium oxysporum*, *Curvularia spicifera*, *Cladosporium sp.*, *Penicillium chrysogenum*, *Mucor mucedo*, *Botrytis cinerea*, etc, (**Shakya et Aryal, 2021**). Les principaux champignons responsables des maladies post-récoltes de la tomate sont : *Penicillium spp*, *Aspergillus spp*, *Alternaria spp*, *Botrytis cinerea*, *Monilinia lax* et *Rhizopus stolonifer* (**Mugao, 2015**).

III. MOYENS DE LUTTE CONTRE LES PATHOGENES ET RAVAGEURS DE LA TOMATE

1. Lutte chimique contre les pathogènes et ravageurs de la tomate

Le XX^e siècle a connu une extension mondiale de la lutte chimique avec une grande gamme de produits phytopharmaceutiques (**Semal, 1989**). Il existe les bactéricides, les fongicides (**Hamoir et al., 2001**) et les insecticides. Selon **Regnault-Roger (2002)**, 1 % seulement de la matière active du produit chimique atteint les organismes nuisibles et les 99 % restants, souvent très toxiques, polluent l'environnement. La lutte chimique est peu appropriée

dans le contexte de la paysannerie africaine caractérisée par son faible niveau d'instruction et la faiblesse des revenus (**Kanda et al., 2013 ; Son et al., 2017**). En outre, l'utilisation répétée et intempestive des produits chimiques non appropriés peut entraîner le phénomène de tolérance ou de résistance des ravageurs (**Regnault-Roger, 2002**).

1.1. Bactéricides

Il existe des bactéricides à base de cuivre et d'acide (citrique et lactique) (**Rap, 2019**). Les bactéricides à base de cuivre insoluble sont pour le moment les seuls produits chimiques efficaces qui soient homologués pour la lutte contre les maladies bactériennes de la tomate (**LeBœuf et al., 2009**). Les pulvérisations de cuivre agissent uniquement comme protectants. Ces produits ne pénètrent pas les tissus végétaux et atteignent uniquement les bactéries présentes sur la surface des parties aériennes de la plante. À partir du moment où les bactéries pénètrent la feuille, soit par les stomates, les blessures ou les hydathodes, elles sont protégées et continuent de se multiplier (**Rap, 2021**).

1.2. Fongicides

Il existe plusieurs types de fongicides pour les tomates. Le **tableau 5** nous présente quelques fongicides qui existent sur le marché et leurs matières actives. Les familles chimiques ainsi que les matières actives sont différentes en fonction du type de fongicide.

Tableau 5 : quelques fongicides utilisés dans la culture de la tomate (**Rap, 2017**).

Nom	Famille chimique	Matière active
TANOS 50DF	Cyano acétamideoxime et Oxazolidinedione	Cymoxanil et famoxadone
DITHANE RAINSHIELD	Dithiocarbamate	Mancozèbe
PENNCOZEB 80 WP	Dithiocarbamate	Mancozèbe
CANTUS^{MD} WDG	Carboxamides	Boscalide
SWITCH 62.5 WG	Anilinopyrimidine et Phénylpyrrole	Cyprodinil et Fludioxonil

L'insuffisance d'efficacité de la plupart des méthodes traditionnelles, jointe aux préoccupations engendrées par la lutte chimique, militent en faveur de la recherche d'alternatives, moins

onéreuses et moins toxiques. Au nombre de ces nouvelles alternatives figurent les bonnes pratiques culturales, la lutte biologique et l'utilisation des biopesticides.

2. Lutte biologique contre les pathogènes et ravageurs de la tomate

Le terme "lutte biologique" recouvre différents concepts selon les disciplines impliquées dans la protection des cultures (**Nordlund, 1996**). Selon l'Organisation Internationale de Lutte Biologique et Intégrée contre les animaux et les plantes nuisibles, la lutte biologique consiste à utiliser des organismes vivants pour prévenir ou réduire les dégâts causés par des ravageurs (**OILB-SROP, 1973**). Il existe classiquement trois types de lutte biologique (**Vincent et Coderre, 1992 ; van Driesche et Bellows, 1996 ; Boivin, 2001 ; Altieri *et al.*, 2005 ; Winkler, 2005**) :

2.1. Lutte biologique classique

Aussi appelée lutte par introduction-acclimatation, elle consiste à introduire une nouvelle espèce dans un environnement afin de contrôler les populations d'un ennemi des cultures (**Ferron, 2000 et Boivin, 2001**). Elle correspond à l'utilisation d'auxiliaires spécifiques contre une espèce envahissante exotique considérée comme une cible à contrôler (plante, insecte, acarien, nématode, etc.) dans l'aire d'origine où ils ont co-évolués. Ces auxiliaires sont évalués pour leur degré de spécificité vis-à-vis de la cible afin de réduire les risques non intentionnels de dérive vers d'autres espèces ayant une valeur écologique ou commerciale (espèces protégées ou indigènes, espèces cultivées). Après leur évaluation, ces antagonistes sont ensuite relâchés au sein des populations de l'envahisseur. L'efficacité d'action dépendra de la capacité des auxiliaires à envahir naturellement le milieu et à contrôler les populations sur le long terme. La lutte biologique classique s'utilise principalement contre les espèces envahissantes bien établies dans le milieu. Bien que coûteuse et lente dans sa phase d'installation, elle permet une gestion permanente et respectueuse de l'environnement (**Sheppard, 2007**).

2.2. Lutte biologique augmentative

La lutte biologique augmentative consiste à augmenter la taille des populations d'ennemis naturels, soit par lâchers massifs (lutte biologique inondative) soit par lâchers en petite quantité. Dans ce cas l'auxiliaire doit s'établir, se multiplier et coloniser la culture ou le sol afin de limiter les populations de ravageurs par prédation ou par parasitisme (**Ferron, 2000 et Boivin, 2001**). Cela suppose l'existence d'élevages ou de productions de masse de ces organismes (**Ecophytopic, 2021**). Les auxiliaires exotiques ou indigènes sont libérés à des périodes

choisies, en inondant un champ avec un grand nombre d'individus sans que l'établissement et la reproduction de ceux-ci soient visés (lutte biologique inondative). Aussi, elles peuvent être libérées en inoculant de relatives faibles quantités d'auxiliaires qui doivent s'établir, se multiplier et coloniser une zone donnée et c'est donc leur descendance qui sera efficace (lutte biologique inoculative). Cependant, cet établissement n'est généralement pas permanent et des introductions doivent être faites une ou plusieurs fois par saison. Cette tactique est employée souvent dans des systèmes agricoles fermés comme les serres (**Winkler, 2005**). D'après **van Lenteren et Colazza (2006)**, la lutte biologique augmentative a été employée depuis 90 années, et plus de 150 espèces d'auxiliaires sont disponibles commercialement pour la lutte contre environ 100 espèces de ravageurs.

2.3. Lutte biologique par conservation

La lutte biologique par conservation tend à manipuler l'habitat afin d'augmenter l'impact des auxiliaires déjà présents dans la culture. Les pesticides sont utilisés de façon minime et en fournissant les ressources écologiques principales (infrastructures écologiques). L'Organisation Internationale de Lutte Biologique (OILB) définit l'Infrastructure écologique comme « toute infrastructure, dans une ferme ou dans un rayon d'environ 150 m, qui a une valeur écologique, telle que la haie, la prairie, la bande florale, le tas en pierre, etc. » et juge que son utilisation judicieuse augmente la biodiversité fonctionnelle de la ferme (**Boller et al., 2004**). La lutte biologique par conservation consiste donc à favoriser ces auxiliaires naturels en conservant et constituant, autour des parcelles à protéger, les éléments (haies, fossés, jachères, bandes fleuries...) attire les ressources (pollen, nectar, proies et hôtes de substitution, micro-habitats refuges...) nécessaires à l'ensemble de leur cycle biologique. Ainsi, en cas d'attaque sur la culture, les auxiliaires déjà présents dans le milieu sont en mesure d'utiliser rapidement la population de ravageurs émergents comme ressource. Par exemple, les adultes d'*Episyrphus balteatus* (Diptère, Syrphidé) sont floricoles et se nourrissent de pollen et de nectar, alors que les larves sont prédatrices de pucerons. Ainsi, toute végétation spontanée ou volontairement installée dans ces ressources, favorisera leur présence autour et au sein des parcelles, où les pullulations de pucerons seront alors plus facilement contrôlées (**Rousseaux et al., 2018**). Cependant, la lutte autocide, ayant pour principe l'introduction d'un grand nombre de mâles stériles dans une population naturelle est également une composante de la lutte biologique (**Jourdheuil et al., 1991**). En revanche, l'utilisation de produits chimiques extraits de plantes (tels des insecticides d'origine végétale) ou de micro-organismes (telles les formulations de *Bacillus thuringiensis* (Bt) ne contenant que l'exotoxine du Bt et non plus des bactéries

vivantes) ne peut être qualifiée de méthode de lutte biologique au sens strict : il s'agit de biopesticides (Ferron, 2000 ; Boivin, 2001).

3. Les biopesticides contre les pathogènes et ravageurs de la tomate

Un biopesticide est composé d'un organisme naturel (composés organiques ou minéraux, plante, nématode, bactérie, levure, champignon ou virus) ou d'un produit dérivé de cet organisme, qui est utilisé pour supprimer ou réprimer un ravageur/pathogène (Thakore, 2006 ; Ajouz, 2009). Selon Deravel *et al.* (2013), les biopesticides sont des organismes vivants ou produits issus de ces organismes ayant la particularité de supprimer ou limiter les ennemis des cultures. Ils présentent de nombreux avantages et demeurent une alternative aux pesticides de synthèses. (Deravel *et al.*, 2013). Les produits considérés comme des biopesticides par les agences de réglementation européennes et mondiales sont d'origines diverses. Ils peuvent être classés en trois grandes catégories, selon leur nature : les biopesticides microbiens, les biopesticides végétaux et les biopesticides animaux (Chandler *et al.*, 2011 ; Leng *et al.*, 2011).

3.1. Biopesticides d'origine animale

Les biopesticides animaux sont des animaux comme les prédateurs ou les parasites ou des molécules dérivées d'animaux, souvent d'invertébrés comme les venins d'araignées, de scorpions, des hormones d'insectes et des phéromones (Aquiloni et Gherardi, 2010). Ces molécules sont impliquées dans la communication chimique à l'intérieur et entre les espèces. Ce sont des signaux chimiques produits par un organisme qui cause un changement de comportement chez un individu de la même ou d'une espèce différente. Les produits sémi-chimiques ne sont pas des biocides par eux-mêmes, les applications pour attirer ou repousser les insectes dans des zones spécifiques ou pour perturber leur accouplement ont rapidement augmenté en tant que stratégie de lutte antiparasitaire (Suckling, 2000). En outre, ces produits permettent de capturer les insectes qui propagent les maladies, de déterminer le moment et la nécessité des applications d'insecticides, de suivre la population et la dispersion des ravageurs, de détecter ainsi que de surveiller les ravageurs attractifs ou synergiques (Heuskin *et al.*, 2011).

3.2. Biopesticides d'origine microbienne

Les bactéries, champignons, virus et protozoaires sont utilisés pour élaborer les biopesticides microbiens. L'efficacité d'un nombre important d'entre eux repose sur des substances actives dérivées des micro-organismes. Ce sont, en principe, ces substances actives qui agissent contre le bio-agresseur plutôt que le micro-organisme lui-même (Deravel *et al.*, 2014).

Au niveau des bactéries, les biopesticides à base de *Bacillus thuringiensis* sont les plus commercialisés. Ils ont une action insecticide. *Bacillus thuringiensis* est une bactérie à Gram+ qui produit, durant sa phase stationnaire de croissance, des protéines cristallines appelées delta-endotoxines ou pro-toxines cry. Ces protéines sont libérées dans l'environnement après la lyse des parois bactériennes lors de la phase de sporulation et sont actives, une fois ingérées par les ravageurs, contre les lépidoptères, les diptères et les larves de coléoptères (**Rosas-Garcia, 2009**). Des bactéries appartenant à d'autres genres que le genre *Bacillus* ont également été développées en tant que biopesticides. Ainsi, *Pseudomonas chlororaphis* MA342 est utilisé pour protéger le blé et le seigle contre la fusariose et la septoriose. Plusieurs modes d'action sont proposés pour justifier son efficacité. Cette bactérie pourrait agir contre les champignons phytopathogènes par antibiose directe, par concurrence spatiale et nutritive ou en activant les défenses des plantes (**Boulon, 2010**).

Au niveau des virus, les Baculoviridae sont des virus à double brins d'ADN circulaire, ayant un génome compris entre 100 et 180 kb, protégés par une paroi protéique. Ils infectent les arthropodes insectes ou larves. Ils représentent un faible risque sanitaire car aucun virus similaire n'a, à l'heure actuelle, été répertorié dans l'infection des vertébrés ou des plantes. Cette propriété les rend particulièrement intéressants pour une utilisation en qualité de bio-insecticide, d'autant plus qu'ils peuvent tuer leur hôte en quelques jours (**Chen et al., 2002**).

Outre les bactéries et les virus, certains champignons présentent des activités contre les bio-agresseurs et sont exploités en tant que biopesticides (**McQuilken et al., 2003**). Plusieurs souches du champignon filamenteux du genre *Trichoderma* spp. sont utilisées pour la protection biologique des plantes. Elles ont généralement une activité antifongique contre plusieurs pathogènes du sol ou contre des pathogènes foliaires (**Dodd et al., 2003**). *Trichoderma atroviride* est notamment utilisée pour la protection biologique de la vigne (**Longa et al., 2009**). L'activité de biocontrôle de cette souche est attribuée à plusieurs mécanismes d'action qui agissent en synergie. Parmi ces mécanismes d'action, il y a la compétition pour les nutriments, l'antibiose, ou la production d'enzymes spécifiques de dégradation des parois cellulaires comme les chitinases ou protéases (**Brunner et al., 2005**).

3.3. Biopesticides d'origine végétale

Les plantes produisent des substances actives ayant des propriétés insecticides, aseptiques ou encore régulatrices de la croissance des plantes et des insectes. Le plus souvent, ces substances actives sont des métabolites secondaires tels que les alcaloïdes, stéroïdes qui à l'origine

protègent les végétaux des herbivores (**Schmutterer, 1990**). Actuellement, il est rapporté que 2121 espèces de plantes possèdent des propriétés antiparasitaires. Un total de 1005 espèces identifiées présente des propriétés insecticides. 384 avec des propriétés anti-appétissantes, 297 possédants des propriétés répulsives, 27 avec des propriétés attractives et 31 avec des propriétés de stimulateurs de croissance (**Nirakar, 2007**). Les biopesticides d'origine végétale sont les plus élaborés et utilisés en raison de la disponibilité des plantes et du coût du produit fini (**Kéita et al., 2000 ; Isman, 2000**). Le biopesticide d'origine végétale le plus utilisé est l'huile de neem, un insecticide extrait des graines d'*Azadirachta indica* (**Schmutterer, 1990**). Plusieurs molécules dont l'azadirachtine, la nimbidine, la nimbidinine, la solanine, le déacétylazadirachtinol et le méliantriol ont été identifiées comme biologiquement actives dans l'huile extraite des graines de neem. L'azadirachtine, un mélange de sept isomères de tétranortritarpinoïde, est le principal ingrédient actif de cette huile et à la propriété de perturber la morphogénèse et le développement embryonnaire des insectes (**Correia et al., 2013 ; Srivastava et Raizada, 2007**). Outre le neem, de nombreuses plantes sont connues et utilisées pour leurs activités biocides (toxique, répulsive, anti-appétant) vis-à-vis d'une large gamme de bioagresseurs. Elles peuvent être utilisées sous forme d'extraits de plantes (**Mochiah et al., 2011 ; Mondédji et al., 2014a**) ou d'huiles essentielles (liquide concentré de composés organiques volatiles de plantes) (**Anjarwalla et al., 2016**). En effet, peut citer comme exemple *O. gratissimum* un produit végétal riche en métabolites secondaires et composés volatils qui a montré des résultats satisfaisants *in vitro* sur plusieurs ravageurs (**Doumbouya et al., 2012**). Aussi les feuilles et les graines de *Carica papaya*, sont utilisées dans ce domaine. En effet, les feuilles de *Carica papaya* ont un effet antifongique *in vitro* contre *Ganoderma boninense*, *Candida albicans* et *Malassezia furfur* (**Somalwar et al., 2022 ; Nilofer et Chenthamarai, 2020 ; Tay et Chong, 2016**). De plus, **Dozie-Nwakile et al. (2020)** ont observé l'effet antifongique des graines sur *Aspergillus flavus*.

3.3.1. *Ocimum gratissimum*, le basilic africain

Ocimum gratissimum L. (Lamiaceae) est une plante herbacée à port dressé (**figure 10A**) avec une tige quadrangulaire et des feuilles odorantes pétiolées opposées (**figure 10B**). C'est une plante pérenne et se reproduit par graine. Espèce pantropicale envahissante, elle est originaire de l'Asie, de l'Inde et du Vietnam (**Vanier et al., 2006**). Cette plante pousse partout, même à l'état sauvage et est très peu exigeante en matière de conditions climatiques, ce qui justifie la facilité à la cultiver. En Côte d'Ivoire, il se trouve aux alentours des lieux d'habitation (**Yan, 2001**). Traditionnellement, les populations plantent le « Basilic sauvage » devant leurs cases à

des fins phytopharmaceutiques (Adjé, 2009). *O. gratissimum* est plus utilisée pour les besoins thérapeutiques et biologique, dans les domaines de la parfumerie et alimentation (Koba, 2003). La richesse de la plante explique l'aspect scientifique de son utilisation fréquente qui est justifié par son apport nutritif et par la présence des substances nutritionnelles. La lutte biologique avec *O. gratissimum* s'articule autour de l'utilisation de parasitoïdes, d'antifongique et d'insecticide. L'extrait a été testé efficace sur *Callosobruchus maculatus* (Ketoh et al., 2002), *Aspergillus flavus*, *Aspergillus parasiticus*, *Aspergillus ochraceus* et *Fusarium oxysporum* (Adjou et al., 2013), *Sitophilus oryzae* L. et *tribolium castaneum* herbst (Aïssata, 2009). L'huile essentielle des feuilles de *O. gratissimum* *gratissimum* L. (75 ; 80 ; 90 ; 100 et 150 ppm) inhibe la sporulation et la croissance mycélienne *Fusarium oxysporum* Schlechtendal, *Pythium* sp. (Dombouya et al., 2012). Aussi l'huile essentielle et l'extrait aqueux des feuilles (50 et 100%), ont une inhibition moyenne de la sporulation et de la croissance des colonies *Colletotrichum destructivum* O'Gara (Obi et Barriuso-vargas, 2013). En Côte d'Ivoire, diverses études réalisées ont mis en exergue, l'efficacité biologique des extraits de plantes du genre *O. gratissimum* (Johnson et al., 2006 ; Soro et al., 2011 ; Dombouya et al., 2012 ; Kassi et al., 2014).

Autres appellations : Basilic de Ceylan ; Baumier ; Grand franboisin ; grand basilier, le Basilic Africain, le Pistou, l'Herbe royale, l'Oranger des savetiers, basilic sauvage, clove basil, menthe gabonaise, shrubby basil, tolsi, tree basil, wild basil, etc (Yan, 2001 ; Adjé, 2009).

Noms vernaculaires chez certains peuples ivoiriens : Baoulé : *aro-magnilin* ; Bété : Kiliklin ; Dida : *maclo* ; Wè : *vlan* ; Abbey : *Ihon* ; Attié : *pèhè* ; Ebrié : *anonnon* ; Lobi : *kakadro*...

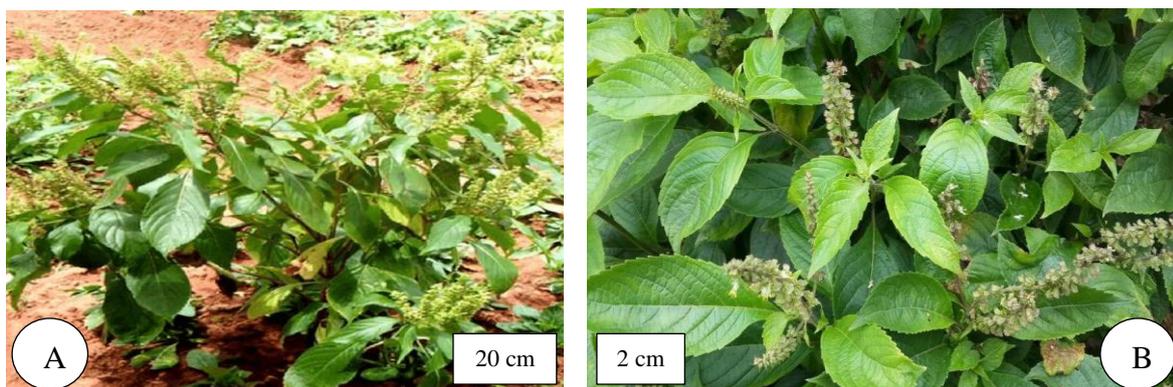


Figure 10 : plante (A) et feuille (B) de *O. gratissimum* *gratissimum* (Mawussi, 2008 ; Plantnet, 2022)

3.3.2. Neem, *Azadirachta indica*

Azadirachta indica ou « neem » est un arbre de la famille des *Méliaceae*, originaire d'Inde (**Biswas et al., 2002**). C'est une plante verte attrayante avec une multitude de feuilles et une croissance rapide qui peut atteindre 15 à 20 m de hauteur (**Schemutterer, 1995**), souvent 20 à 30 m et plus rarement 35 à 40 m. Les feuilles sont disposées de manière alternée sur un long et mince pétiole (**figure 11**). La face dorsale est de couleur vert foncé alors que la face ventrale est plus claire. Elles mesurent entre 20 et 40 cm de long et sont plus denses à l'extrémité des branches. Les feuillettes, variables dans leurs formes notamment au niveau de l'axe central, varient entre 7 et 15 cm et dépassent parfois 17 cm sur un même pétiole (**Puri, 1999**). Le fruit est une petite drupe, de forme ellipsoïde, d'environ 2 cm de long. Il est de couleur jaune vert à maturité avec un noyau à l'intérieur et une ou parfois deux graines (**Nicoletti et al. 2012a**). Adapté aux sols pauvres, il tolère des températures élevées ainsi qu'une faible pluviométrie. Il se retrouve dans les zones arides et semi-arides de l'Asie tropicale, mais également en Australie et en Afrique où il a été introduit au XIX^e siècle par les indiens. Aujourd'hui, il est de plus en plus cultivé en Amérique du Sud et Centrale (au Mexique), aux Antilles et même en Europe (sur la Côte d'Azur) où il est apprécié comme arbre d'agrément (**Formad environnement, 2013, Neem.fr, 2022**). De nos jours, le neem (margousier) est bien répandu dans le monde pour ses nombreuses vertus alimentaire, médicinale, insecticide, fongicide, etc. (**Yarou et al., 2017**). Le potentiel fongicide du margousier semble être lié à la présence d'azadirachtine et de nimbine (**Saleem et al., 2018**). Son effet anticarcinogène reposerait sur l'azadirachtine et le nimbolide (**Fernandez et al., 2019**). L'azadirachtine est également utilisée comme répulsif contre les insectes hématophages (les moustiques) qui sont vecteurs de nombreux agents pathogènes pour l'homme (**Mordue et al., 2005**). En plus de son activité antifongique, l'huile de neem combat les poux et autres parasites. Aussi, cette huile a une action fumigatoire (vapeur désinfectante) qui agit sur un grand nombre de champignons pathogènes (**Cassier et al., 1997**). L'azadirachtine est considérée comme non-toxique pour les hommes et les vertébrés à sang chaud (**Mordue et al., 2005**) et sans génotoxicité pour les mammifères (**Saxena et Kesari, 2016**).

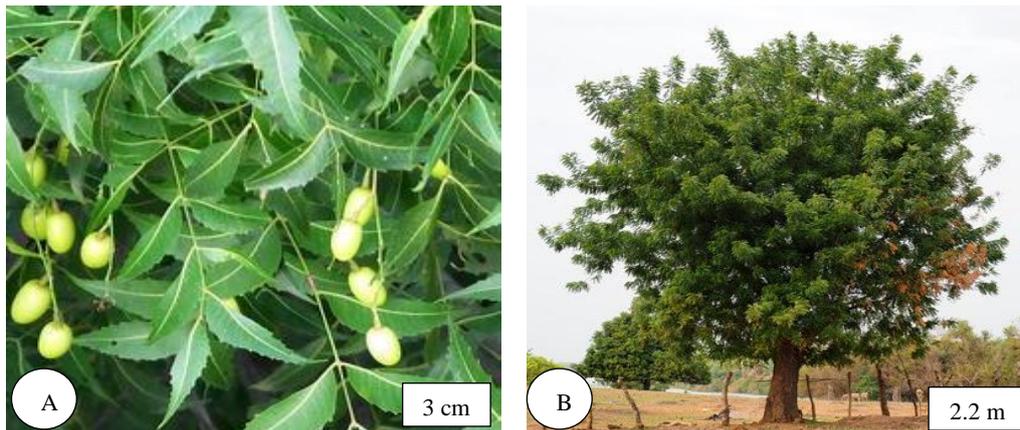


Figure 11 : feuilles, graine (A) et arbre (B) de *Azadirachta indica* (Neem)

3.3.3. Le papayer, *Carica papaya*

Le Papayer (*Carica papaya*) est un petit arbre de trois à dix mètres de hauteur (**figure 12A**), à port de palmier. Son tronc charnu porte des cicatrices en losanges, empreintes laissées par la chute des feuilles. Il est droit, cylindrique, nu et couronné d'un bouquet de feuilles (**figure 12B**). Il s'agit d'un arbre le plus souvent dioïque, c'est-à-dire qu'il existe des pieds mâles et des pieds femelles. Mais certaines espèces cultivées peuvent avoir des pieds bisexués, ils se retrouvent alors sur le même tronc des fleurs (**figure 12C**) mâles et femelles (monoïques) (**Delaveau, 1984 ; Bellec, 1997 ; Debuigne, 2009**). Plante héliophile par excellence, très exigeant en chaleur, craint le gel et redoute les forts vents. Son développement est favorisé à des températures comprises entre 25 et 27°C avec un régime pluvial annuel compris entre 1500 et 2000 mm d'eau bien réparti. Un sol léger, bien drainé, de pH voisin de 7 et riche en matière organique lui convient (**Montin et al., 2018**). Le papayer est une plante tropicale dont le fruit (**Figure 12D**), la racine, les feuilles et les graines sont utilisés en médecine humaine (**Kamatenesi-Mugisha et al., 2007 ; Krishna et al., 2008**) et vétérinaire (**Mpoame et al., 2000**). Plusieurs parties de la plante de *Carica papaya* ont été étudiées pour être utilisées comme traitements alternatifs ou thérapeutiques. En raison de leurs prétendues propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires, les extraits de feuilles de *Carica papaya* ont été utilisés pour traiter la dengue et pour stimuler la thrombopoïèse et l'érythropoïèse (**Dharmarathna et al., 2013**). D'autres effets rapportés des extraits de feuilles comprennent : des propriétés antifongiques, anti-inflammatoires et antioxydantes (**Aravind et al., 2013 ; Chávez-Quintal et al., 2011**). Aucun signe de toxicité n'a été observé lorsque des rats albinos Wistar ont reçu un extrait de fruit de *Carica papaya* (jusqu'à 250 mg/kg/j), par voie orale, pendant 42 jours (**Oduola et al., 2007**).

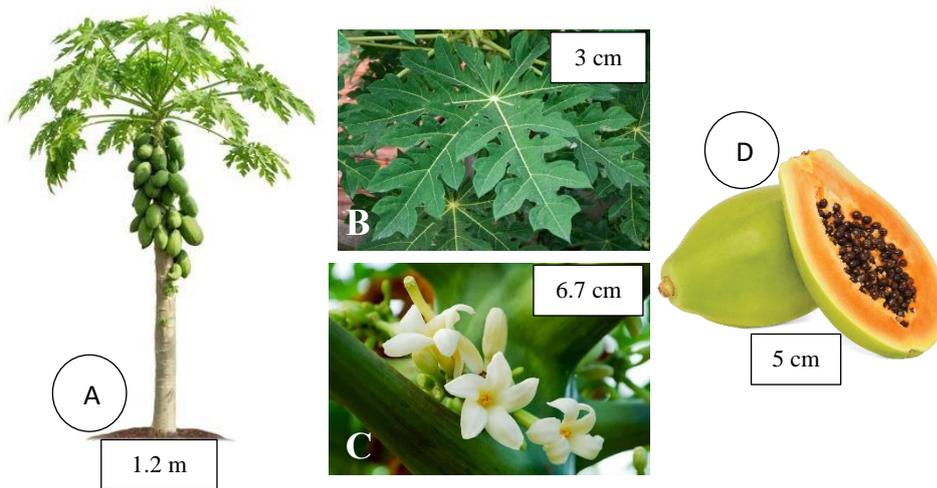


Figure 12 : plante (A), feuille (B), fleur (C) et fruit (D) de *Carica papaya*

IV. METHODES DE CONSERVATION DE LA TOMATE

Les procédés de conservation des produits récoltés varient suivant le type de produit, l'objectif d'écoulement, le mode de distribution... Ces procédés visent à conserver au maximum les caractéristiques originelles des produits ou fortement ralentir la dégradation de ces produits tout en maintenant leur valeur nutritionnelle, leur texture et leur goût... (Alteragri, 2008).

Il existe plusieurs procédés pour augmenter la durée de vie des fruits et légumes et désaisonnaliser leur consommation.

1. Conservation traditionnelle

1.1. Conservation par la cendre

C'est une technique traditionnelle peu répandue. En effet, elle n'est pour l'instant utilisée qu'au Burundi (Ininahazwe, 2016 ; Ndabashinze, 2017). Elle consiste à utiliser la cendre provenant d'une cheminée, la tamiser trois ou quatre fois pour enlever les gros, débris et autres corps étrangers. Ensuite, la cendre est versée dans un carton avant d'y déposer les tomates. Grâce à cette technique, les tomates parviennent à être conservées en toute sécurité pendant 5 à 6 mois (Ininahazwe, 2016). Pour avoir un bon résultat, le produit final doit être conservé à l'abri de toute humidité. Dans le cas contraire, la cendre doit être séchée au soleil pendant un certain temps avant son utilisation. Si toutes ces procédures sont suivies, il sera possible de conserver les tomates pendant plus de huit mois (Ndabashinze, 2017).

1.2. Séchage au soleil

Le séchage au soleil et à l'air libre des denrées alimentaires est une pratique de conservation très ancienne, simple et naturelle. Divers auteurs rappellent qu'au paléolithique, il y a 400.000 ans, l'homme savait conserver leurs aliments (viandes, poissons, légumes...) par séchage naturel. Dans les pays en voie de développement, les marchés locaux de fruits et légumes sont souvent saturés en période de pleine production. Cette situation engendre des pertes importantes pour les producteurs. Le séchage solaire offre une alternative intéressante pour la valorisation des surplus. Le séchage traditionnel des fruits et légumes se pratique à même le sol, le long des routes, sur des nattes, des rochers plats, sur les toits des habitations (**Dudez et al., 2022**). Tous les types de tomates peuvent être séchés. Il suffit que les fruits soient bien fermes et mûrs. Les meilleures tomates pour le séchage sont celles d'été, celles qui ont été mûries par le soleil et ayant une couleur rouge foncé (**Anonyme, 2022**). Les variétés qui ont beaucoup de chair sont les plus adaptées (**Dudez et al., 2022**).

2. Conservation moderne

2.1. Conservation à basse température

Les basses températures agissent sur la physiologie des fruits en ralentissant le métabolisme : respiration, transpiration, production d'éthylène, etc. Elles réduisent également le développement des micro-organismes (**Laville, 1994 ; Burdon, 1997**). C'est une technique largement utilisée pour prolonger la durée de conservation des fruits et légumes. Cependant, le choix de la température de conservation dépend de la sensibilité du végétal au froid pour éviter l'apparition des maladies physiologiques du froid appelé « chilling injury » (**Djioua, 2010**). La tomate est un fruit qui ne peut supporter les basses températures. Les blessures dues au froid se produisent chez la tomate exposée à une température plus basse que 12,5 °C. Plus la température est basse, plus le temps d'exposition nécessaire pour développer les blessures est court. De plus, les tomates vertes (non mûres) sont plus susceptibles à la maladie physiologique du froid que les tomates mûres (**Autio et Bramlage, 1986**).

2.2. Conservation sous atmosphère contrôlée / modifiée

L'utilisation des atmosphères modifiées ou contrôlées tend à se développer surtout pour les fruits et légumes tropicaux et subtropicaux où les avantages de la réfrigération sont limités par les maladies du froid (**Burdon, 1997**). Ces deux méthodes doivent être considérées comme complémentaires. Elles peuvent être utilisées pour un stockage de longue durée, un stockage temporaire ou pendant le transport. Le principe de ces méthodes est de modifier les proportions

oxygène/gaz carbonique (O₂/CO₂) de l'atmosphère de stockage, avec généralement diminution de l'oxygène et enrichissement en gaz carbonique. Le but est de ralentir les échanges respiratoires et les autres processus métaboliques (accumulation d'acides, modification des pectines, dégradation des chlorophylles, etc.). Il s'en suit un allongement de la durée de vie des fruits cueillis (**Laville, 1994 ; Burdon, 1997 ; Salunkhe et al., 1991**).

L'usage des atmosphères contrôlées pour la conservation de la tomate est possible, bien qu'en pratique il ne soit pas très répandu. Elles consistent à retirer l'oxygène et l'éthylène et à ajouter du gaz carbonique pour garder les concentrations de ces gaz constantes en tout temps (**Batu, 2003**). Les fruits vert-matures nécessitent une température d'entreposage entre 12,2 °C et 20 °C avec un taux d'oxygène compris entre 3-5 % et un taux de dioxyde de carbone allant de 0 à 3 %. Les fruits partiellement mûrs nécessitent une température d'entreposage entre 7 °C et 12,2 °C, avec une atmosphère composée de 3-5 % d'oxygène et de 0-5 % de dioxyde de carbone (**Benton, 1999**). La grande sensibilité des tomates au gaz carbonique rend l'application commerciale de cette méthode plus difficile (**Kader, 2003**).

Quant à l'atmosphère modifiée, le principe s'appuie sur la perméabilité des membranes ou films qui servent à l'emballage des commodités. Pour être efficace, le taux de transfert de l'oxygène du matériau d'emballage doit correspondre au taux respiratoire du produit (**Kim, Luo et al., 2005**). En plus, certaines substances comme le charbon activé permettent d'adsorber l'éthylène à l'intérieur des emballages de tomates et ainsi prolonger la durée de vie (**Bailen, Guillen et al., 2006**). Pour assurer l'efficacité des emballages à atmosphère modifiée, il est très important de bien contrôler la température lors du transport et de l'entreposage. Cela évite ainsi les fluctuations qui causent des détériorations majeures chez les produits emballés (**Oule et al., 2007**).

2.3. Conservation avec l'hexanal

L'hexanal, un aldéhyde à six atomes de carbone, est un composé naturel produit par dégradation oxydative des acides gras. Sa présence contribue à la couleur verte de nombreuses espèces de fruits et légumes (**Croteau, 1978 ; Aubert et Milhet, 2007**). La production d'hexanal dans la plante augmente rapidement dans les tissus végétaux endommagés en raison de l'activation de la lipoxygénase (**Matsui, 2006**). L'hexanal a été approuvé comme additif alimentaire par le, US Food and Drug Administration (**Song et al., 1996**). Il présente un risque de toxicité moindre pour l'homme et l'animal et provoque moins de pollution de l'environnement (**Tripathi et Dubey, 2004**).

L'application de compositions à base d'hexanal est une technologie relativement nouvelle qui s'est avérée efficace pour prolonger la durée de conservation et la qualité de plusieurs fruits tels que la pomme, la cerise, la pêche, la prune, les légumes, les fleurs et la tomate (**Paliyath et Murr, 2007 ; Sharma *et al.*, 2010 ; Tiwari et Paliyath, 2011 ; Paliyath *et al.*, 2012**).

El Kayal *et al.* (2017) ont montré chez la fraise que l'application d'hexanal avant la récolte induit une nette réduction du niveau de transcription de deux gènes de la phospholipase D et d'autres enzymes majeures impliquées dans la dégradation de la paroi.

Concernant la tomate, les fruits récoltés deux semaines après avoir été pulvérisés à l'hexanal ont montré une couleur rouge améliorée et plus prononcée par rapport aux tomates non traitées. Par ailleurs, **Paliyath *et al.*, 2012** montrent que les tomates traitées à l'hexanal ont présenté une plus longue durée de vie. Ces tomates ont une qualité supérieure avec une belle couleur, une bonne fermeté et une belle apparence visuelle, sans aucune infection. En outre, selon **Pinhero *et al.* (2003)**, l'efficacité optimale de conservation a été observée lorsque les fruits ont été trempés dans l'hexanal pour la maturation au stade vert mûr.

V. FAIBLESSES DE LA FILIERE TOMATE EN CÔTE D'IVOIRE

1. Au niveau de la production

La production de la tomate se fait en majorité de façon inorganisée en Côte d'Ivoire, ce qui conduit à de mauvaises pratiques culturales. En outre, le niveau d'étude très bas de certains producteurs implique une mauvaise conduite culturale qui peut s'expliquer par plusieurs facteurs.

- Mauvais entretien des parcelles :
 - Désherbage et palissage absent ou mal réalisé : En effet, les plants de tomates sont étouffés par les mauvaises herbes. **Selon Alaoui (2015)**, les mauvaises herbes devraient être contrôlées parce qu'elles concurrencent la culture de tomate pour la lumière, l'eau, et les éléments nutritifs. Parfois ils jouent un rôle dans la transmission des maladies de tomate, comme le virus du TYLCV. En ce qui concerne les allées pour la circulation, elles sont présentées par les **figures 14A et 14B**.
 - Déchets de culture ou autres non évacués de la parcelle : les **figures 15A, 15B et 15C** montrent les déchets abandonnés dans le champ. En effet, il y a débris divers

tels que cartons usagés, sachets plastiques, chaussures abimées, herbes mortes, tomates pourries...

- On observe aussi souvent une mauvaise conduite de l'irrigation entraînant des excès ou déficit en eau. Aussi, un excès ou un manque d'eau peut-il entraîner le jaunissement des feuilles de tomates. Dans le premier cas, la plante peut facilement attraper une maladie fongique et dans le second cas, elle se fanera et sera facilement brûlée par le soleil (**Lafon, 2022**). On remarque une importante quantité d'eau stagnante qui peut être source de contamination.

- Le coût et la mauvaise utilisation des pesticides entraîne l'apparition dès le champ de nombreuses maladies. La **figure 13** présente un plant (**1A**) et un champ (**1B**) de tomate. On observe que le plant de tomate présente des feuilles jaunies et brunies. Ces jaunissements pourraient être dues à un excès/manque d'eau ou une attaque des microorganismes. En effet, la présence du champignon *Alternaria solani*, responsable de l'alternariose, présente des tâches concentriques brunes délimitées par les nervures et le limbe devient jaune (**Richard et Boivin, 1994 ; Jones et al., 2014**). La **figure 16** montrent des tomates pourries en champ, avec divers types de pourritures. Les dégâts sont soit dus à des moisissures (**B, C et D**), soit dus à des rongeurs (**A**) qui mangent une partie des tomates et laissent pourrir l'autre partie sur la plante. Les tomates pourries sont soit retirées, soit laissées sur les plants. Le manque d'entretien de la parcelle et une mauvaise conduite culturale est ainsi une source majoritaire de contamination et constitue un problème pour l'obtention de fruits de bonne qualité sanitaire capable d'être conservé longtemps. De plus, il constitue d'énormes pertes de rendement pour le producteur.



Figure 13 : photos d'un champ et d'un plant de tomate

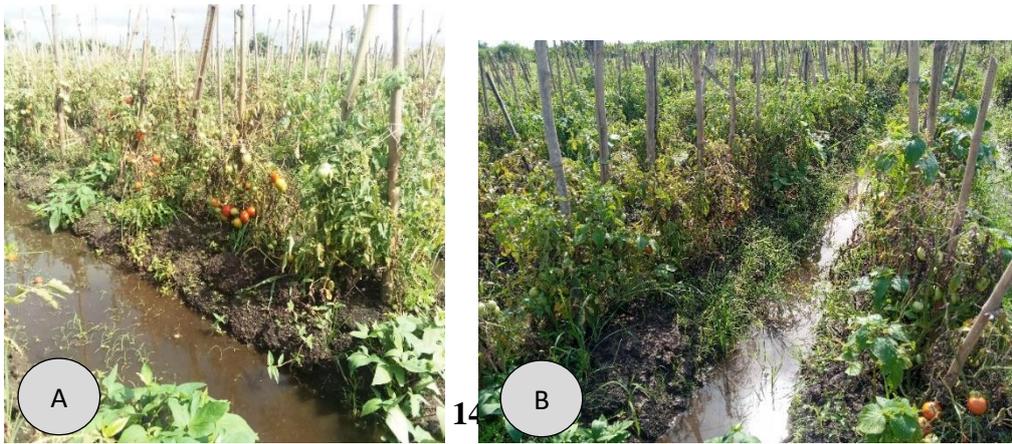


Figure 15 : déchets dans un champ de tomate

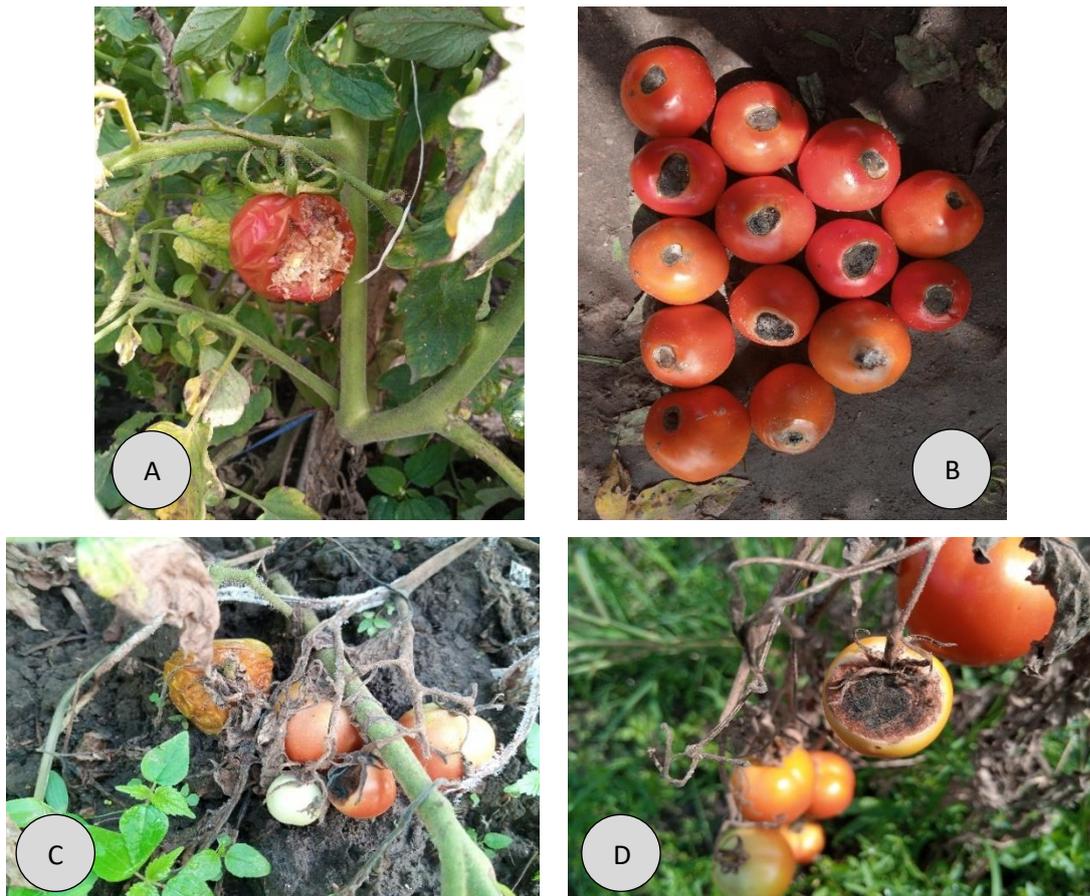


Figure 16 : tomates pourries dans un champ

2. Au niveau de la commercialisation

2.1. Le transport

Le transport des tomates depuis les champs vers les marchés de gros et de détails se fait dans des cartons usagés et recyclés (**figure 17A et 17B**). Après les conditionnements, les cartons sont disposés d'abord dans des tricycles (**figure 18A**) pour les sortir des champs ou pour le transport vers les marchés locaux. Ensuite, les cartons sont disposés sur des remorques (**figure 18B**) pour le voyage vers les marchés de gros d'Abidjan. La **figure 18** montre les types d'engins utilisés pour le transport des tomates depuis le champ jusqu'aux marchés. Les fruits et légumes, en particulier les tomates sont des produits à manipuler avec précaution car ils sont sensibles aux chocs mécaniques. En effet, les tomates sont des fruits climactériques et leurs attributs physiologiques en font des produits agricoles très délicats (**Chero et al., 2020**). Au cours du processus post-récolte, les produits horticoles sont soumis à diverses forces externes. Lorsque ces forces dépassent la valeur critique d'endommagement des tissus, elles induisent des dommages mécaniques. Par conséquent, les fruits peuvent être endommagés pendant la manutention, la récolte, le transport et la transformation, et ces dommages ont été décrits

comme une source principale de baisse de la qualité des fruits, entraînant une baisse des prix de vente et des pertes pour le producteur (Menesatti *et al.*, 1999). En Côte d'Ivoire, la culture de la tomate se fait un peu partout sur toute l'étendue du pays, alors que la plus grande consommation se fait dans la capitale (Abidjan). Cela nécessite une distribution efficace, qui implique une manipulation sur de longues distances avec les dommages mécaniques associés, notamment ceux dus aux chocs. Les dommages physiques post-récolte sont courants chez les tomates, même lorsque les fruits sont traités avec soin. Par rapport à d'autres fruits, comme les pommes, les tomates ont une capacité de stockage plus faible, et elles sont sensibles à des conditions inappropriées pendant la récolte, le rechargement et le transport (Abedi et Ahmadi, 2014 ; Tran *et al.*, 2017). En outre, Wu et Wang (2014) ont souligné que les tomates peuvent être affectées par des facteurs post-récolte tels que le stockage, la manipulation, le transport, etc.



Figure 17 : mode de conditionnement des tomates pour le transport vers les marchés de gros et de détails

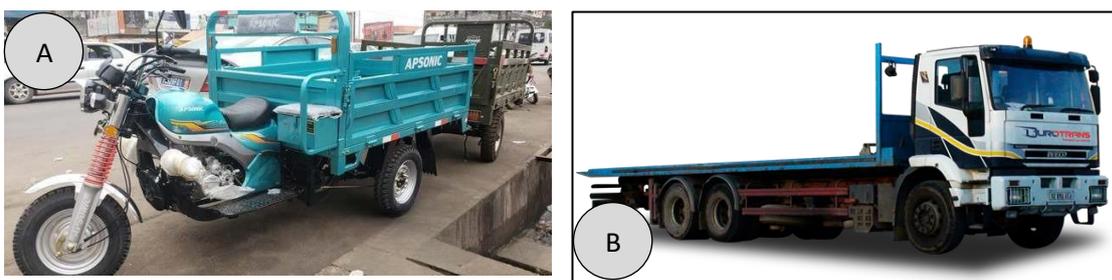


Figure 18 : modes de transport des tomates depuis les champs vers les marchés de gros

2.2. Le stockage (conservation)

Les tomates ne sont pas stockées au niveau des producteurs. Après la récolte, les tomates sont acheminées vers les différents marchés. Au niveau des commerçants, la conservation se fait dans les cartons d'achat ou sur les tables couvertes de plastiques noirs pendant la nuit.

2.3. La vente

La commercialisation de la tomate sur les marchés de détails se fait à l'étalage, on peut trouver des tomates de première qualité comme des tomates de qualité 4 (ultime). La **figure 19** montre des qualités de tomate 3, 4 et 5. En effet, ce sont des tomates de qualités pas attrayantes, qui ont perdu leur fermeté (voire écrasées) et qui peuvent contenir des moisissures. Ces tomates sont commercialisées sur les marchés de détails. La mise en vente de ses tomates de qualité 4 est dû aux faites que les détaillants veulent rentabiliser leurs achats. En effet, les détaillants n'ont pas accès à des boîtes de stockage pour prolonger la vie des produits ou les protéger contre les attaques de micro-organismes. Lorsqu'ils surestiment la demande du marché, les détaillants gèrent un stock qui se dégrade chaque jour et dont la valeur diminue en conséquence. En saison sèche, les pertes des détaillants sont essentiellement qualitatives et économiques, car toutes les qualités des produits trouvent preneurs. Pendant la saison des pluies, quelques pertes de qualité peuvent devenir quantitatives en raison de l'abondance, les consommateurs sont plus exigeants sur la qualité.



Figure 19 : tomates dégradées mais vendues sur les marchés (Bancal et Tano, 2019).

2.4. Circuit de distribution de la tomate en Côte d'Ivoire

Le circuit de distribution de la tomate est présenté au niveau du schéma de la **figure 20**. En effet, le premier circuit se fait à partir du champ où les acheteurs de produits vivriers vont auprès des producteurs qui sont éloignés d'Abidjan acheter leur production de tomates. Les tomates

achetées chez plusieurs producteurs vont être collectées et transportées vers Abidjan. Une fois les tomates arrivées aux marchés de gros, les vendeuses du marché de détails vont venir s'approvisionner et aller les vendre sur les différents marchés de détails. Les consommateurs quant à eux pourront s'approvisionner auprès des vendeuses en détails.

Le second circuit est fait entre les producteurs et les vendeuses des marchés de détails. En effet se circuit se fait avec les producteurs aux alentours et/ou au sein de la ville d'Abidjan. Dans ce cas de figure les vendeuses sont livrées ou se déplacent pour leurs achats directement avec les producteurs.

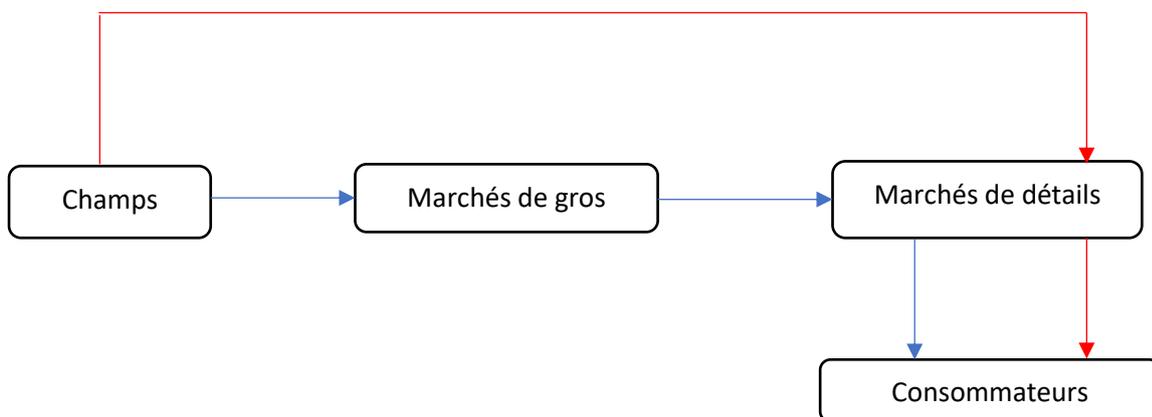


Figure 20 : schéma de distribution de la tomate sur les marchés en Côte d'Ivoire

- > : Circuit 1
- > : Circuit 2

MATERIELS ET METHODES

I. RECHERCHE D'UN BIO-FONGICIDE POUR LA CONSERVATION DE LA TOMATE

1. Matériels

1.1. Matériel végétal

Des feuilles fraîches de *O. gratissimum* L., de *Carica papaya* et de *Azadirachta indica* ont été collectées à Dabou (Côte d'Ivoire). Les feuilles ont été transportées au laboratoire de botanique, département des sciences naturelles de l'Université Nangui Abrogoua où elles ont été séchées à l'obscurité dans une salle climatisée entre 16 °C et 18 °C pendant 7 jours. Les échantillons de feuilles séchées ont été broyés en poudre à l'aide d'un broyeur électronique (Moulinex). Puis, ils ont été conditionnés dans des pots et des sacs en polyéthylène, et envoyés au laboratoire de physiologie des fruits et légumes de l'Université d'Avignon (France). Les poudres de feuilles ont été stockées à 4 °C pour leur utilisation ultérieure. Les huiles essentielles de *O. gratissimum* L. et de *Azadirachta indica* ont été achetées à Myrtea (Berzet, France).



Feuilles de *O. gratissimum*



Feuilles de *Carica papaya*



Feuilles de *Azadirachta indica*



Huile essentielle de *O. gratissimum*



Huile essentielle de graine de *Azadirachta indica*

Figure 21 : feuilles et huiles essentielles utilisées

1.2. Matériels fongiques

Les souches fongiques qui ont été choisies pour cette étude sont des champignons pathogènes fréquemment impliqués dans l'altération de la tomate. La souche de *Botrytis cinerae* a été fournie par l'INRAE de Montfavet à Avignon. La souche de *Fusarium oxysporum* par l'UMR QUALISUD à Montpellier (France). *Alternaria solani* a été fourni par ENZA ZADEN (Hollande).

2. Méthodes

2.1. Préparation des extraits aqueux et des milieux de culture

✚ Préparation par infusion (à chaud)

L'extrait a été obtenu en ajoutant à 25 g de chaque poudre, 50 mL d'eau ultrapure (milli-Q) chaude (100 °C). Après agitation pendant 5 min, les mélanges ont été laissés au repos pendant 24 h. ils ont ensuite été filtrés à travers des « compresses gaze » puis des filtres antibactériens. Les filtrats obtenus ont été utilisés comme extrait par infusion (Gwa *et al.*, 2017).

✚ Préparation par macération (à froid)

L'extrait par macération a été obtenu en ajoutant 25 g de chaque poudre à 50 mL d'eau ultrapure (milli-Q). Les mélanges ont été laissés au repos pendant 24 h après agitation pendant 5 min et filtration à travers des « compresses gaze » puis des filtres antibactériens. Les filtrats obtenus ont été utilisés comme extrait par macération (Gwa *et al.*, 2017).

2.2. Incorporation des extraits aqueux et des huiles essentielles dans les milieux

PDA

La gélose à la pomme de terre et au dextrose (PDA) a été préparée en dissolvant 13,65 g de PDA dans 350 mL d'eau ultrapure (milli-Q). Elle a été autoclavé à 121 °C pendant 20 min et laissé refroidir entre 50 et 45 °C. En effet, plusieurs bouteilles de gélose ont été préparées en raison d'une bouteille par extrait aqueux et par concentration. Des capacités de 17,5 mL d'extrait par infusion et par macération ont été incorporées dans chaque bouteille de PDA prévue. Le mélange a été homogénéisé. Pour l'huile essentielle, différentes concentrations comprises entre 0,062 et 0,75 mL/L ont été utilisées. Dans toutes les bouteilles 0,005 % de TWEEN 80 a été ajouté pour avoir une homogénéité entre l'huile et le milieu PDA. Pour le milieu PDA qui a constitué le témoin des extraits aqueux, 17,5 mL d'eau ultrapure (milli-Q) ont été additionnées. Pour le milieu témoin des huiles essentielles, 0,005 % de TWEEN 80 a été ajouté au milieu PDA. Le contenu de toutes les bouteilles a été coulé dans des boîtes de pétri

soigneusement étiquetées. Les boîtes de pétri ont été ensuite refroidies à la température ambiante sous une hotte aspirante à 0,42 m/s avant l'inoculation.

2.3. Préparation de l'extrait aqueux à chaud et des milieux de culture pour la confirmation de l'efficacité de *O. gratissimum gratissimum* L

Les extraits aqueux à chaud bruts des feuilles de *O. gratissimum* L. ont été reconstitués pour avoir une concentration de 10 % (p/v). Ainsi, 100 g de poudre ont été ajoutés à 1000 mL d'eau ultrapure (milli-Q). Le mélange a été autoclavé à 121 °C pendant 20 minutes. Après refroidissement, une triple filtration a été effectuée. La première filtration a été effectuée à l'aide d'un papier filtre Whatman contenant des plis de toile à fromage stérile. La deuxième filtration a été effectuée avec un papier filtre Whatman contenant du coton. Pour la dernière filtration, la solution a été filtrée à travers un papier filtre Whatman contenant de la « compresses gaze » et du coton stériles. Le filtrat ainsi obtenu a constitué l'extrait aqueux pour l'évaluation de l'activité antifongique des feuilles de *O. gratissimum* L. Tout le matériel de filtration a été stérilisé à l'autoclave pour éviter toute contamination bactérienne. En plus, les conditions aseptiques ont été assurées par l'utilisation d'une hotte aspirante à 0,42 m/s. Les concentrations des milieux de culture à l'extrait aqueux ont été consignées le **tableau 6**.

Tableau 6: concentrations pratiques des milieux de culture à l'extrait aqueux

Concentration (%)	0	30	40	50	60	70
Eau ultrapure (milli-Q) (mL)	100	70	60	50	40	30
PDA (g)	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
Extrait aqueux de <i>O. gratissimum</i> (mL)	0	30	40	50	60	70

2.4. Préparation des suspensions de spores

La suspension de spores a été préparée à partir de souches âgées d'au moins sept jours. Pour chaque champignon, les spores ont été prélevées à la surface de la culture et mises en suspension dans 1 mL de sérum physiologique. La suspension a été agitée au vortex pour dissocier l'amas cellulaire et 5 µL ont été placés sur une cellule de Malassez pour la numération au microscope optique (DM750, LEICA, France). L'homogénéité de la suspension cellulaire a été vérifiée à un grossissement de 10 et le comptage des spores a été effectué à un grossissement de 40. La

concentration de spores a été ajustée à 10^6 cellules/mL de la suspension par dilution avec du sérum physiologique.

2.5. Détermination "*in vitro*" de l'activité antifongique de l'extrait aqueux et de l'huile essentielle de *Ocimum gratissimum*

La méthode de contact direct a été réalisée en utilisant la technique de l'aliment empoisonné de **Schmitz (1930)** telle que décrite par **Bussaman et al. (2012)** avec de légères modifications. Elle consiste à mélanger des concentrations différentes d'extrait aqueux ou d'huile essentielle avec une quantité appropriée du milieu PDA en surfusion. Le mélange a été coulé dans des boîtes de Pétri à raison de 10 mL pour chaque boîte. Après refroidissement, les boîtes ont été conservées au réfrigérateur pour être inoculées le lendemain avec au centre 5 μ L de suspension de spores à 10^6 . Chaque concentration a été répétée cinq fois. Les boîtes ont été incubées pendant 7 jours à l'étuve à 25 °C. Le témoin a été réalisé dans les mêmes conditions sans extrait aqueux ni huile essentielle. La croissance mycélienne a été évaluée toutes les 24 heures en prenant les boîtes de pétri en photo. Les différentes photos obtenues ont permis, à l'aide du logiciel « Image J », de mesurer la surface de croissance par jour des microorganismes. Cette mesure toujours réalisée en comparaison avec les cultures témoins. La concentration minimale inhibitrice (CMI) a été définie comme la concentration la plus faible d'huile essentielle ou d'extrait aqueux dans laquelle aucune croissance n'a eu lieu. Le pourcentage d'inhibition de la croissance des mycéliums a été calculé en pourcentage d'inhibition de la croissance radicale par rapport au témoin selon la formule de **Plaza et al. (2004)**.

$$TI(\%) = \frac{C - T}{C} \times 100 \quad (1)$$

Ti : taux d'inhibition ; *C* : diamètre de croissance du pathogène dans les boîtes témoins ; *T* : diamètre de croissance du pathogène dans les boîtes avec présence de traitement.

Les valeurs de la concentration minimale fongicide (CMF) ont été déterminées par la méthode décrite par **Angelini et al. (2006)**. Pour se faire, une sous-culture des disques fongiques inhibés aux CMI a été effectuée sur un milieu PDA sans huile essentielle. Les observations ont été enregistrées après 7 jours d'incubation à 25°C. La croissance fongique au septième jour indiquait une nature fongistatique, tandis que l'absence de croissance fongique dénotait une action fongicide de l'huile ou de l'extrait aqueux.

2.6. Analyses statistiques

L'analyse statistique a été effectuée avec le logiciel R Studio version 1.4.1717. Les données ont été soumises à une analyse de la variance (ANOVA) pour déterminer les éventuelles différences entre les traitements. La différence significative a été évaluée en utilisant l'ajustement de Tukey pour les comparaisons multiples à $P \leq 0,05$. Pour les données non paramétriques, un test de Kruskal-Wallis avec ajustement de Bonferroni pour les comparaisons multiples a été utilisé pour déterminer les différences ($P \leq 0,05$) entre les moyennes.

II. RECHERCHE DU STADE DE RECOLTE APPROPRIÉ POUR LES TRAITEMENTS ET LA CONSERVATION

1. Matériel

1.1. Matériel végétal

Le matériel végétal a été constitué de tomates fraîches cultivées et cueillies en plein champ. Ces tomates ont été réparties en trois lots en fonction du stade de développement : stade Breaker (**figure 10A**), stade tournant (**figure 10B**) et rouge. Stade rouge ont aussi été cueillies en plein champ et servies de témoin lors des analyses (**figure 10C**).

Les fruits de la tomate (*Solanum lycopersicum*) ont été récoltés aux deux stades de maturation, Breaker et tournant sur le site de production du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) de Bouaké (Côte d'Ivoire). Pour nos analyses, les tomates ont été récoltées directement en champ. Juste après la cueillette, les fruits ont été rangés dans des cageots puis transportés au Centre Suisse de Recherches Scientifiques (CSRS) à Adiopodoumé (Côte d'Ivoire) où se sont déroulées les analyses.



Figure 22 : différents stades de maturité de tomates utilisées : **A** (Breaker), **B** (Tournant) et **C** (rouge en plein champ).

2. Méthodes

2.1. Traitement des tomates à l'hexanal

2.1.1. Préparation l'hexanal

La formulation à base d'hexanal a été préparée selon la méthode de **Paliyath *et al.*, 2003**. Elle a consisté 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 solution obtenue a été stockée dans une bouteille brune en verre à 4 °C à l'abri de la lumière quelques jours avant les analyses.

2.1.2. Traitement des tomates

Les tomates ont été triées, calibrées et soigneusement lavées à l'eau potable additionnée d'hypochlorite de sodium (1 %). Une partie des tomates sélectionnées a été trempée dans la formulation à l'hexanal (0,002 %) pendant trois minutes et l'autre partie dans de l'eau pendant 3 min également. Toutes les tomates ont été égouttées à l'ombre. Le schéma de traitement et les conditions d'entreposage se présentent comme suit :

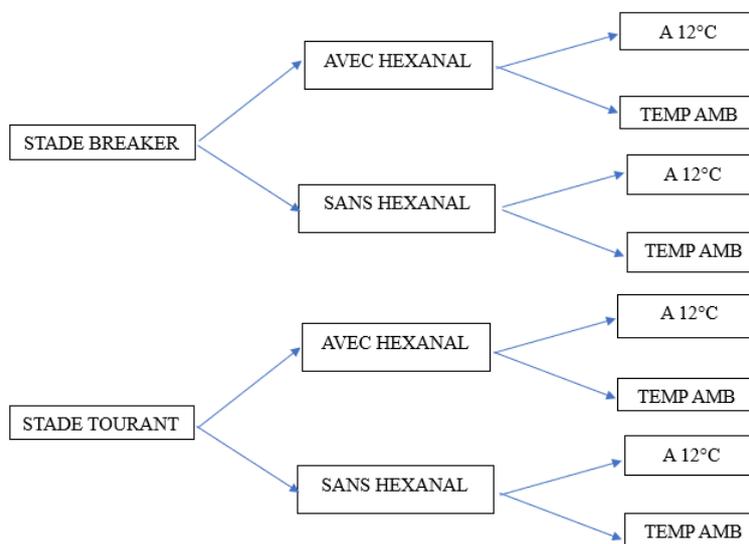


Figure 23 : schéma de traitement et conditions d'entreposage des tomates

TA12 : Tournant Avec hexanal à la température 12° ; **TS12** : Tournant Sans hexanal à la température 12° ; **TAA** : Tournant Avec hexanal à la température Ambiante ; **TSA** : Tournant Sans hexanal à la température Ambiante ; **BA12** : Breaker Avec hexanal à la température 12° ; **BS12** : Breaker Sans hexanal à la température 12° ; **BAA** : Breaker Avec hexanal à la température ambiante ; **BSA** : Breaker Sans hexanal à la température ambiante ; **TEMP AMB** : Température Ambiante.

2.1.3. Condition de stockage

Les manipulations ont été effectuées à Abidjan au Centre Suisse de Recherche Scientifique en Côte d'Ivoire et à l'université Nangui Abrogoua (Côte d'Ivoire). Après les différents traitements les tomates ont été conservées sur des tables (température ambiante) et dans un réfrigérateur réglable contenant des étagères (12 °C). Les différents compartiments ont été désinfectés régulièrement pour éviter les contaminations croisées

2.2. Détermination des propriétés physico-chimiques de la tomate

2.2.1. Mesure de la respiration

La respiration a été déterminée à l'aide d'un Tiempo Test Silver (marque Janny MT). Ce test permet de contrôler et de suivre le niveau d'O₂ et de CO₂ dans les bacs Janny MT (Janny, France). Après pesage, chaque fruit est placé dans un bocal de 750 mL et fermé hermétiquement. Après étalonnage de l'appareil, les mesures ont été effectuées à 0, 15, 30, 45, 60, 90 et 120 min. Les résultats ont été exprimés en mg/mmol/h de CO₂. Au total, 20 fruits ont été utilisés pour le suivi de la respiration. Les mesures ont été effectuées chaque 3 jours pendant 19 jours.

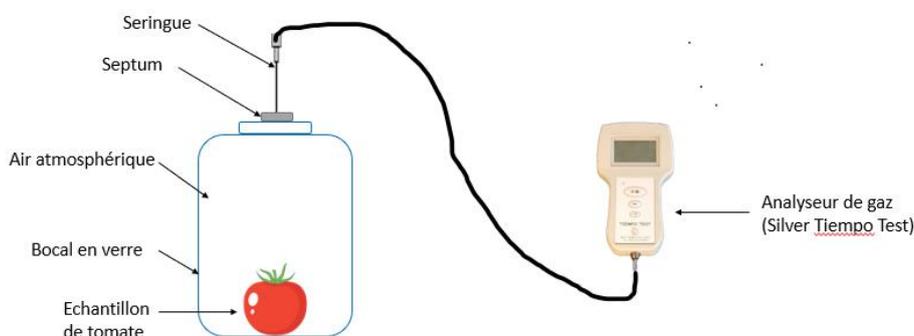


Figure 24 : schéma du dispositif de mesure de la respiration

2.2.2. Fermeté de la tomate

La fermeté a été mesurée à l'aide d'un pénétromètre digital portable modèle FC GAUGE PCE - TR 200 (PCE Instruments France EURL, France). L'embout du pénétromètre, équipé d'un indicateur de force électronique (Salter de 0-10 kg), a été placé sur la face latérale de la tomate (loge). La force de rupture requise pour qu'un embout de 6 mm de diamètre pénètre dans la pulpe a été mesurée. La valeur enregistrée, exprimée en Newton (N), est la force minimale nécessaire à appliquer pour que la pulpe cède à l'embout. Pour ce test, 10 fruits ont été utilisés.

La moyenne de tous les fruits a constitué la valeur de fermeté. Les mesures ont été effectuées sur les fruits ayant atteint le stade rouge.

2.2.3. Analyse colorimétrique de la tomate

L'analyse colorimétrique des échantillons de tomates à chaque stade et selon le traitement a été réalisée à l'aide d'un colorimètre (CR-10 Plus série n° 10049339 Konica Minolta, inc., Japon) utilisant le système de couleur L* a* b* selon les recommandations du fabricant. Pour le suivi de la couleur, 10 fruits ont été utilisés. Les mesures ont été effectuées jusqu'à ce que les fruits atteignent le stade rouge.

2.2.4. pH, degré Brix et Acidité

Des lots de 10 tomates qui ont atteint le stade rouge ont été découpés, puis mélangés. Le mélange obtenu a été broyé grâce à un extracteur de jus (KUVINGS PREMIUM D9900 N° série : FR23918061820325 KUVINGS, France). Le jus obtenu a été utilisé pour la mesure du pH, le degré Brix et l'acidité. Le pH de l'échantillon a été déterminé selon la méthode AFNOR (1991). 10 g du jus de tomate ont été additionnés d'eau distillée jusqu'à atteindre 50 g. Le mélange bien homogénéisé est récupéré puis utilisé pour déterminer des valeurs du pH à l'aide d'un pH mètre. L'acidité et le Brix ont été mesurés à l'aide d'un réfractomètre numérique double échelle combinée Brix - acide (modèle PAL-BX-ACID91, ATAGO, France) selon les recommandations du fabricant de l'appareil. Pour le Brix une goutte du jus pur obtenu est déposée sur le plateau du prisme du réfractomètre. Quant à l'acidité, un gramme de jus de tomate a été pesé puis porté à 50 g avec de l'eau distillée. L'ensemble a été homogénéisé, puis une goutte du mélange obtenu a été déposée sur le plateau du prisme. L'acidité et le Brix sont exprimées en pourcentage (%). En outre, l'indice d'acceptabilité ou de maturité et l'indice de saveur ont été calculés selon les formules de **Moneruzzaman et al., (2008)**.

$$IM = \frac{SCC}{AC} \quad (2)$$

$$IG = \left(\frac{SCC}{(20 * AC)} \right) + AC \quad (3)$$

IM : indice de maturité ou d'acceptabilité

IG : indice de saveur ou du goût

SCC : pourcentage de sucre soluble (degré Brix)

AC : pourcentage d'acide

2.3. Évaluation des pertes lors de la conservation

2.3.1. Perte de masse

Un lot de 10 tomates a été utilisé. Chaque tomate a été pesée tous les deux jours pendant 23 jours. La moyenne des masses de toutes les tomates a constitué la valeur de perte. Les résultats ont été exprimés en pourcentage de perte de masse. La formule utilisée est la suivante :

$$P_m (\%) = \frac{M}{MI} * 100 \quad (4)$$

P_m : pourcentage de perte de masse

M : moyenne des masses du jour *n* des tomates

MI : moyenne des masses initiales des tomates

2.3.2. Taux de perte (pourriture)

Le taux de perte a été exprimé en pourcentage. Différents lots de 5 kg de tomates ont été pesés chaque semaine après retrait des tomates infectées par les pathogènes. La formule utilisée pour le calcul du taux de perte est la suivante :

$$T_p (\%) = \frac{M}{MI} * 100 \quad (5)$$

T_p : taux de perte

M : masse du jour *n* des tomates

MI : masse initiale des tomates

2.4. Analyses statistiques

L'analyse statistique a été effectuée avec le logiciel R Studio version 1.4.1717. Les données ont été soumises à une analyse de la variance (ANOVA) pour déterminer les éventuelles différences entre les traitements. La différence significative a été évaluée en utilisant l'ajustement de Tukey pour les comparaisons multiples à $P \leq 0,05$.

III. ESSAIS DE CONSERVATION AVEC LE BIO-FONGICIDE ET L'HEXANAL

1. Matériel végétal

Le matériel végétal a été constitué de feuilles de *O. gratissimum* (A) et de tomates fraîches (B).



Figure 25 : matériel végétal

1.1. Récolte des feuilles et préparation de la poudre

Les feuilles ont été récoltées et traitées dans les mêmes conditions que décrite dans la **partie I**, à la **section 1.1**.

1.2. Récolte des tomates

Les essais ont été menés sur des tomates (*Solanum lycopersicum*) au stade Breaker (breaker). Celles-ci ont été récoltées sur un site de production à Songon (Dabou), commune situé à l'ouest de la commune de Yopougon, en Côte d'Ivoire. Juste après la cueillette, les tomates ont été rangées dans des cageots permettant l'aération ; ensuite, elles ont été acheminées au Laboratoire de Biochimie Alimentaire et Transformation des Produits Tropicaux (LBATPT) de l'Université Nangui Abrogoua (Côte d'Ivoire). Les tomates saines ont été choisies de façon aléatoire, lavées soigneusement dans des bassines à l'eau contenant de l'hypochlorite de sodium (1 %) pour éliminer les microorganismes et les corps étrangers, puis rincées abondamment pour éliminer les composés résiduels. Les fruits ont été mis dans des passoires en plastique et laissés égoutter.

2. Méthodes

2.1. Traitement des tomates

2.1.1. Traitement des témoins

D'abord, les tomates témoins ont été trempées dans de l'eau de robinet pendant 3 min. Les fruits ont été ensuite mis dans des passoirs en plastique et laissés égoutter. Enfin, les tomates ont été subdivisées en lots suivant les conditions de stockage.

2.1.2. Traitement à l'Hexanal

Les tomates sélectionnées ont été trempées dans la formulation à l'hexanal (0,002 %). La formulation a été préparé telle que décrite dans la **partie II** au point **1.3.1**. Les tomates ont été trempées pendant 03 minutes puis laissées égoutter à l'ombre dans des passoirs en plastique.

2.1.3. Traitement à l'huile essentielle de *O. gratissimum*

➤ Extraction de l'huile essentielle de *O. gratissimum*

L'extraction par entraînement à la vapeur d'eau est l'une des méthodes officielles pour l'obtention des huiles essentielle (DEQM, 2007). Dans ce système d'extraction, le matériel végétal est soumis à l'action d'un courant de vapeur sans macération préalable avec absence de contact direct entre l'eau et la matière végétale. Deux litres d'eau distillée et 300 g de feuilles sèches de *O. gratissimum* ont été utilisés par distillation. Chaque distillation a duré 3 heures.

➤ Traitement à l'huile essentielle

Les tomates sélectionnées ont été trempées dans de l'eau de robinet (5 L) contenant de l'huile essentielle (3,75 mL) et du TWEEN 80 (2.3 mL), pendant 3 minutes. Après égouttage dans de grandes passoirs en plastique à l'air et à l'ombre, les tomates ont été subdivisées en six lots suivant les conditions de stockage.

➤ Traitement à l'Hexanal et à l'huile essentielle

Pour ce traitement, les tomates ont été d'abord trempées dans la solution d'hexanal, puis dans la solution d'huile essentielle comme précédemment décrit. Après chaque trempage les tomates ont été égouttées dans de grandes passoirs en plastique à l'air et à l'ombre.

2.1.4. Traitement à l'extrait aqueux de *O. gratissimum*

➤ Préparation de l'extrait aqueux

A 500g de la poudre de *O. gratissimum* sont ajoutés 5 litres d'eau du robinet. Le mélange a été porté à ébullition pendant 20 min. Après refroidissement, une filtration à l'aide d'un tamis très fin (100 µm) est réalisée. Le filtrat ainsi obtenu a été utilisé pour le trempage des tomates.

➤ Traitement à l'extrait aqueux

Les tomates sélectionnées ont été trempées dans de l'extrait aqueux (3,5 L) additionnée d'eau de robinet (1,5 L). Le trempage a été effectué pendant 3 min. Après égouttage dans de grandes passoirs en plastique à l'air et à l'ombre, les tomates ont été subdivisées en 6 lots suivant les conditions de stockage.

➤ Traitement à l'Hexanal et à l'extrait aqueux

Pour le traitement, les tomates ont d'abord été trempées dans la solution d'hexanal puis dans l'extrait aqueux. Après chaque trempage, les tomates ont été égouttées dans de grandes passoirs en plastique à l'air et à l'ombre.

2.1.5. Condition de stockage

Les tomates traitées ont été stockées dans les mêmes conditions telles que décrites dans la **partie II** au point 2.1.3.

2.2. Détermination des propriétés physico-chimiques de la tomate après traitement

2.2.1. Perte de masse

La perte de masse a été évaluée selon la méthode de **Proulx et al. (2005)**. Les tomates individuellement pesées après récolte pour obtenir la masse initiale (M_{i1}). Chaque 3 jours durant une période de 30 jours, elles ont été pesées jusqu'à l'obtention d'une masse finale (M_{i2}). La perte de masse pour chaque fruit est déterminée par la formule suivante :

$$\text{Perte de masse(\%)} = \sum_{i=1}^n \frac{(M_{i1} - M_{i2})}{M_{i1}} \times 100 \quad (6)$$

M_{i1} = masse initiale du fruit ; M_{i2} = masse finale du fruit

2.2.2. Mesure de la maturité à l'aide d'un DA-Meter

La différence d'indice d'absorption des fruits de la tomate a été mesurée à l'aide d'un DA Meter (tr DA Meter, T.R. Turoni, Italie). L'instrument a été posé à la surface du fruit et la teneur en chlorophylle a été donnée sur l'écran de l'appareil. Les mesures ont été effectuées chaque 3 jours sur les mêmes fruits jusqu'à atteindre la valeur 0 pour chaque tomate.

2.2.3. Taux d'infection

Le taux d'infection a été évalué par le pourcentage de tomates infectées par lot. Au cours de la conservation, les tomates détériorées par des pourritures d'origine parasitaire et physiologique ont été identifiées par lot par simple observation. Ainsi, lorsqu'un fruit a présenté des symptômes d'infection (Alvarez et Nishijima, 1987), quelle que soit la taille de l'infection, il a été déclaré impropre à la commercialisation donc rejeté. Les fruits rejetés (fruits infectés) ont été dénombrés tous les 3 jours. Le taux d'infection (TI) des fruits a été calculé par la formule :

$$TI (\%) = \frac{NI}{NT} \times 100 \quad (7)$$

NI : Nombre de fruits infectés ; NT : Nombre Total de fruits

2.2.4. Taux de matière sèche

Le taux de matière sèche (MS) a été déterminée par la dessiccation à l'étuve à 105 °C pendant 24 h selon la méthode AOAC (2000). Pour la détermination, une masse M1 = 5 g de broyat de tomates a été pesée dans une capsule vide de masse M0. L'ensemble creuset et échantillon a été mis à sécher à 105 °C ± 2 °C pendant 24 heures ± 30 minutes dans une étuve (marque BIOBASE modèle : BOV-V125F, Chine). Après étuvage et refroidissement dans un dessiccateur, l'ensemble capsule et poudre de tomates séchée a été pesé ; soit M2 cette masse. La matière sèche (% MS) a été calculée selon la formule suivante :

$$MS (\%) = [(M2 - M0) / (M1)] \times 100 \quad (8)$$

M0 : masse (g) du creuset vide ; M1 : masse (g) de l'échantillon) frais ; M2 : masse (g) de l'ensemble (creuset + échantillon) après étuvage ; MS : matière sèche

2.2.5. pH, Degré Brix, Acidité, fermeté, indice de maturité et indice du goût

Le pH, l'acidité, le Brix, la fermeté, l'indice de maturité et l'indice du goût ont été mesurés tels que décrits dans la **partie II**.

2.2.6. Analyses statistiques

L'analyse statistique a été effectuée avec le logiciel R Studio version 1.4.1717. L'analyse d'ANOVA couplée à un test de Turkey a permis de faire une comparaison multiple des moyennes pour toutes les mesures effectuées. Le seuil de significativité a été de 5 % ($p < 0,05$).

2.3. Méthodologie d'isolement de souches fongiques à partir des tomates infectées

2.3.1. Culture des moisissures

Des tomates présentant une gamme de symptômes allant de petites lésions à de grandes lésions expansives ont été utilisées. Toute la surface de chaque tomate a été écouvillonnée avec un coton-tige stérile. L'écouvillon a été lavé dans 9 mL d'eau physiologique. L'ensemble a été homogénéisé par malaxage pendant 3 à 5 minutes. La suspension obtenue a constitué la suspension mère. Des dilutions décimales successives ont été réalisées à partir de la suspension mère (10^{-1} à 10^{-9}). Chaque dilution décimale (0,1 mL) a été ensemencée par étalement sur milieu Sabouraud au chloramphénicol puis incubé à 30 °C pendant 5 à 7 jours. Trois boîtes de Pétri par dilution ont été ensemencées et incubées.

2.3.2. Purification des cultures de moisissures

Les souches de moisissures obtenues ont été purifiées par subculture ou clonage sur milieu Sabouraud au chloramphénicol dans les mêmes conditions que précédemment. Chaque isolat développé a été repiqué, à l'aide d'une anse de platine stérile, au centre de la boîte de Pétri. En cas de contamination par une autre souche fongique, la purification des souches a été effectuée par le repiquage des disques des moisissures au centre de la boîte contenant le même milieu jusqu'à l'obtention des souches pures (**Guiraud, 2003**).

2.3.3. Etude des caractéristiques culturelles des moisissures

Les isolats des moisissures détectées ont été remis en culture dans les mêmes conditions que précédemment. Les cultures obtenues ont été examinées à l'œil nu afin de décrire les caractéristiques selon la méthode de **Samson et Frisvad (2004)** et **Pitt et Hocking (2009)**. Cette méthode a impliqué les étapes suivantes :

- description de l'apparence générale de la culture ;
- couleur de la culture au recto et verso de la boîte de Pétri ;
- relief de la culture ;
- aspect de la culture ;
- présence de sillons ou de radiations dans la culture.

2.4. Mise en évidence *in vivo* de l'extrait aqueux de *O. gratissimum* sur les plants de tomate

2.4.1. Matériel végétal

Le matériel végétal a été constitué de plant de tomate d'une variété qui n'a acquis aucune résistance. Les graines de tomates de la variété ananas ont d'abord été semées le 01 août 2022 sur la station de recherche de la structure ENZA ZADEN à Chateaurenard (France). Ensuite les plants ont été repiqués le 23 août 2022. Le 05 septembre 2022, enfin les plants ont été transportés à la serre Agrosociences de l'université d'Avignon où se sont déroulées les différentes manipulations. Par ailleurs, à la suite du transfert, un deuxième repiquage a été réalisé. Seize (16) plantes ont été utilisées pour tous les tests, correspondant à 4 lots de quatre plants de tomate. Un lot pour le curatif et un lot pour le préventif. Deux lots ont été utilisés comme témoin : un pour le curatif et un pour le préventif.

Le matériel végétal pour les tests *in situ* a été constitué de feuilles de tomate issues des mêmes plants que pour les tests *in vivo*.

2.4.2. Inoculation des plants de tomate

Pour le test, des disques mycéliens ont été utilisés comme inoculum. Les mycéliums ont été inoculés sur les plants de tomates sur le bord de chaque feuille (Yu *et al.*, 2016). Les témoins ont été inoculés de la même manière.

2.4.3. Traitement des plants de tomate avec l'extrait aqueux de *O. gratissimum*

2.4.3.1. Traitement préventif

Pour le traitement préventif, l'extrait aqueux de *O. gratissimum* additionné de tween 80 (0.005 %) a été appliqué 24 heures avant l'inoculation par pulvérisation foliaire des plants avec un pulvérisateur manuel. Le témoin a été pulvérisé avec de l'eau distillée stérile (Martinko *et al.*, 2022).

2.4.3.2. Traitement curatif

Pour le traitement curatif, l'extrait aqueux de *O. gratissimum* additionné de tween 80 (0.005 %) a été appliqué 48 heures après l'inoculation (Batta, 2005) par pulvérisation foliaire des plants avec un pulvérisateur manuel. Le témoin a été pulvérisé avec de l'eau distillée stérile.

2.4.4. Conditions d'incubation des plants

Pour favoriser le développement de la maladie, les plantes traitées et les plantes témoins ont été recouvertes d'une feuille de plastique pendant 48 heures pour obtenir une humidité élevée. Après 48 heures, les plants ont été maintenus dans la serre jusqu'à l'apparition des premiers symptômes (Martinko *et al.*, 2022). Les plants ont été arrosés deux fois par jour tout au long de l'expérience (Doubouya *et al.* 2021).

2.4.5. Suivi de l'évolution de la maladie

Les plants ont été observés chaque jour pour noter la présence ou non de la maladie ainsi que sa persistance.

2.5. Mise en évidence *in situ* de l'extrait aqueux de *O. gratissimum* sur les feuilles de tomate

2.5.1. Inoculation, traitement et conservation

Les feuilles ont été inoculées avec des disques mycéliens (déposés sur la face) et traitées en fonction de chaque modalité, idem pour les plants (préventif et curatif). Toutes les boîtes contenant les feuilles inoculées ont été mises dans une chambre de culture. La chambre de culture est un « versatile environmental test chamber » de marque SANYO model MLR-351 H (Japon). Cette photopériode a été de 16 h le jour avec une température de 20 °C. La nuit, la durée a été de 8h avec une température de 18 °C. L'intensité lumineuse a été de 104,2 µE/m²s.

2.5.2. Suivi de la maladie

Les feuilles ont été observées chaque jour pour observer la présence et la sévérité de la maladie.

2.6. Mise en évidence *in vitro* de l'effet de l'extrait aqueux de *O. gratissimum* sur *Alternaria solani*

Les tests ont été faits dans les mêmes conditions que dans le cas de *Fusarium* et *Botrytis* dans la partie I et au point 2.3 à 2.5. Les concentrations utilisées étaient de 50, 60 et 70 %.

RESULTATS ET DISCUSSION

Chapitre 1

EFFET DE LA CONSERVATION A 12°C EN PRESENCE
OU ABSENCE D'HEXANAL SUR LA QUALITE DE LA
TOMATE

L'objectif de cette partie était de déterminer le stade de récolte pour lequel les méthodes de conservations sont les plus efficaces. La méthodologie utilisée est décrite dans la **partie II** des matériels et méthodes. Dans cette partie, trois lots de tomates ont été utilisés, à savoir le stade Breaker, le stade Tournant et le stade Rouge (témoin). Les tomates récoltées aux stades Breaker et Tournant sont traitées par trempage dans l'hexanal ou l'eau et placées en conservation à 12°C ou à température ambiante. Les caractéristiques biochimiques sont déterminées lorsque les tomates sont mûres (stade rouge). La maturation des tomates s'est poursuivie durant la conservation. Des tomates ont été récoltées mures au champ et sont utilisées comme témoin (potentiel optimum de qualité)

I. RESULTATS

1. Teneur en sucres solubles des tomates

Les taux de sucres solubles dans les tomates sont compris entre 4 et 5,5 % (**figure 26**). La valeur la plus élevée a été obtenue au niveau du témoin récolté à maturité en champ (5,33 %). Quel que soit la température, de conservation il n'y a pas de différence significative entre les traitements, excepté BA12 (Tomates récoltées au stade Breaker, traitées à l'hexanal à la récolte et conservées à 12°C). En effet, il n'y a pas de différence significative en le taux de sucres solubles de BA12 et celui du témoin.

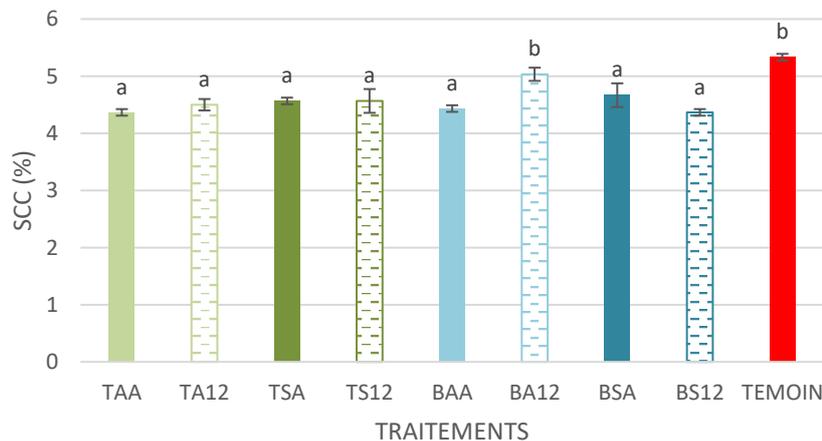


Figure 26 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non des tomates, sur la teneur en sucres solubles des tomates devenues rouge lors de la conservation. Les tomates ont été conservées à 12 °C, puis à température ambiante (≈ 28 °C). **TA12** : Tournant Avec hexanal à la température 12° ; **TS12** : Tournant Sans hexanal à la température 12° ; **TAA** : Tournant Avec hexanal à la température Ambiante ; **TSA** : Tournant Sans hexanal à la température Ambiante ; **BA12** : Breaker Avec hexanal à la température 12° ; **BS12** : Breaker Sans hexanal à la température 12° ; **BAA** : Breaker Avec hexanal à la température Ambiante ; **BSA** : Breaker Sans hexanal à la température Ambiante. Les données présentées sont la moyenne \pm l'écart type et les valeurs statistiquement significatives ($p < 0,05$) dans les colonnes sont désignées par des lettres.

2. Acidité titrable des tomates

La **figure 27** présente l'acidité titrable des tomates traitées et conservées, ainsi que celui de notre témoin. La majorité des tomates stockées à 12°C a une acidité titrable élevée par rapport au témoin. En effet, les échantillons TA12, TS12 et BA12 ont des taux de 0,5% ; 0,52% et 0,50% respectivement contre 0,4% pour les tomates muries au champ. Aussi, il faut noter que l'acidité titrable de la majorité des tomates stockées à température ambiante (TAA, BSA et BAA) n'était pas significativement différente de celle du témoin.

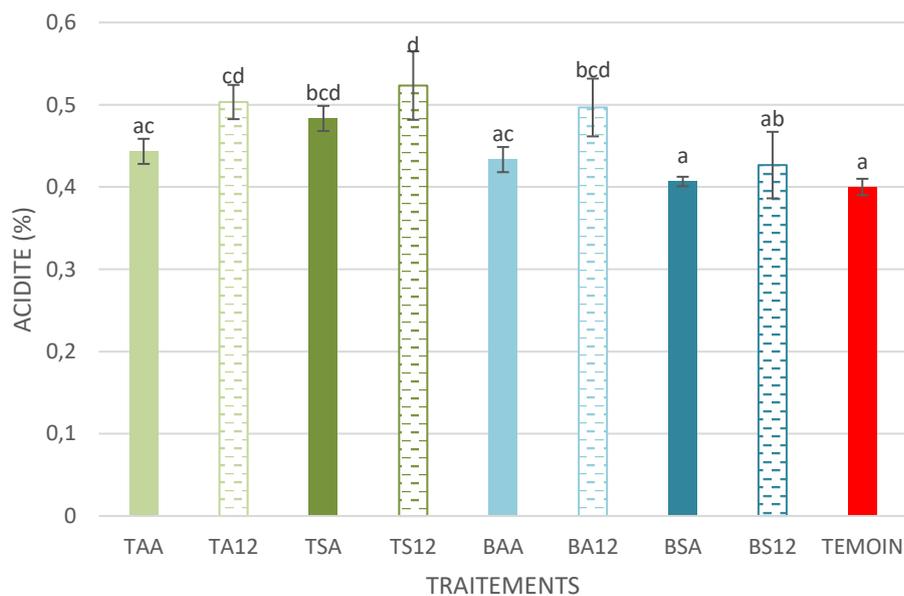


Figure 27 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non des tomates, sur l'acidité titrable des tomates devenues rouge lors de la conservation. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante. **TA12** : Tournant Avec hexanal à la température 12° ; **TS12** : Tournant Sans hexanal à la température 12° ; **TAA** : Tournant Avec hexanal à la température Ambiante ; **TSA** : Tournant Sans hexanal à la température Ambiante ; **BA12** : Breaker Avec hexanal à la température 12° ; **BS12** : Breaker Sans hexanal à la température 12° ; **BAA** : Breaker Avec hexanal à la température Ambiante ; **BSA** : Breaker Sans hexanal à la température Ambiante. Les données présentées sont la moyenne \pm l'écart type et les valeurs statistiquement significatives ($p < 0,05$) dans les colonnes sont désignées par des lettres.

3. Indice de maturité et d'acceptabilité

La **figure 28** présente l'indice de maturité et d'acceptabilité des tomates étudiées. Les valeurs sont comprises entre 8,77 et 13,34. Toutes les tomates traitées ont un indice de maturité et d'acceptabilité inférieurs au témoin. Quelle que soit la température de conservation, les tomates du stade tournant ont une teneur inférieure à 10 tandis que celles du stade Breaker ont une teneur supérieure ou égale à 10.

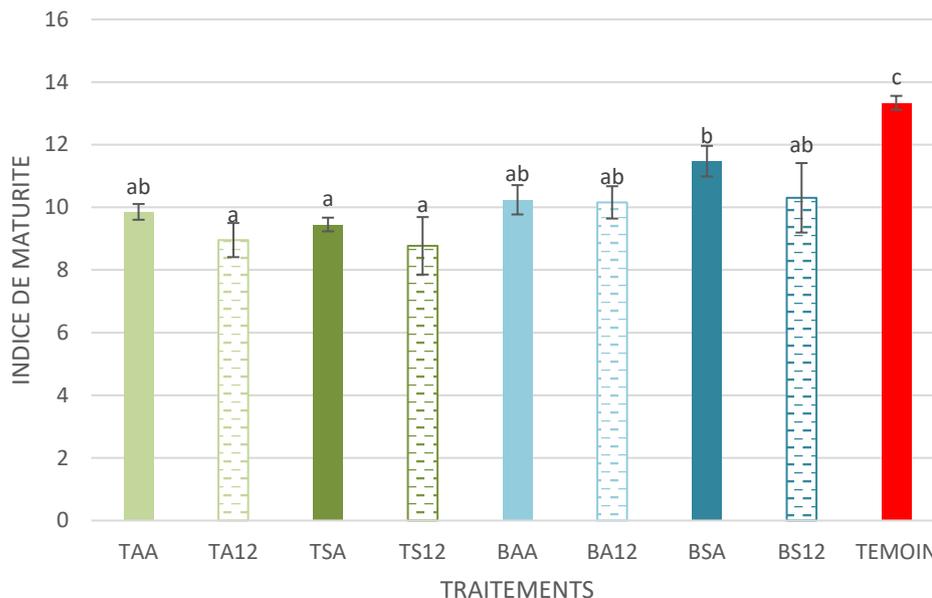


Figure 28 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non des tomates, sur l'indice de maturité et d'acceptabilité des tomates devenues rouge lors de la conservation. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante. **TA12** : Tournant Avec hexanal à la température 12° ; **TS12** : Tournant Sans hexanal à la température 12° ; **TAA** : Tournant Avec hexanal à la température Ambiante ; **TSA** : Tournant Sans hexanal à la température Ambiante ; **BA12** : Breaker Avec hexanal à la température 12° ; **BS12** : Breaker Sans hexanal à la température 12° ; **BAA** : Breaker Avec hexanal à la température Ambiante ; **BSA** : Breaker Sans hexanal à la température Ambiante. Les données présentées sont la moyenne ± l'écart type et les valeurs statistiquement significatives ($p < 0,05$) dans les colonnes sont désignées par des lettres.

4. Indice du goût

L'indice du goût prend des valeurs comprises entre 0,94 et 1,07 (**figure 29**). Le témoin a la valeur la plus élevée qui est de 1,07. Il est suivi de BA12 avec un indice de 1. TAA a eu l'indice la plus faible (0,94). De même que l'indice d'acceptabilité, au niveau de l'indice de goût, il n'y a pas une grande variation des valeurs. Cependant, il y a une différence significative entre les traitements et le témoin.

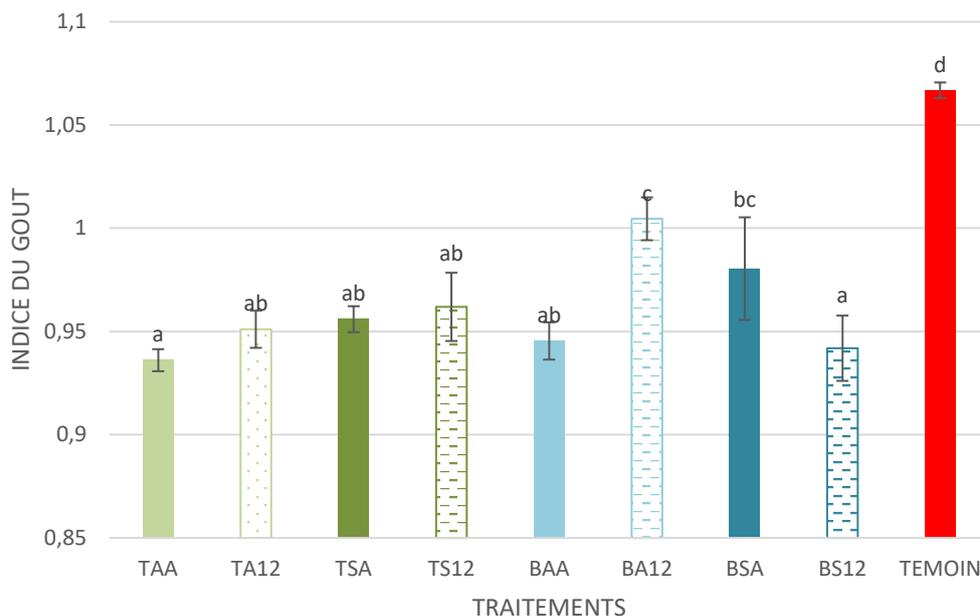


Figure 29 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non des tomates, sur l'indice du goût des tomates devenues rouges lors de la conservation. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante. **TA12** : Tournant Avec hexanal à la température 12° ; **TS12** : Tournant Sans hexanal à la température 12° ; **TAA** : Tournant Avec hexanal à la température Ambiante ; **TSA** : Tournant Sans hexanal à la température Ambiante ; **BA12** : Breaker Avec hexanal à la température 12° ; **BS12** : Breaker Sans hexanal à la température 12° ; **BAA** : Breaker Avec hexanal à la température Ambiante ; **BSA** : Breaker Sans hexanal à la température Ambiante. Les données présentées sont la moyenne ± l'écart type et les valeurs statistiquement significatives ($p < 0,05$) dans les colonnes sont désignées par des lettres.

5. pH des tomates

La **figure 30** présente les valeurs de pH des tomates. Les valeurs sont comprises entre 4,0 et 4,5. TA12 a présenté la valeur minimale de pH (4,16) et BAA a eu la valeur la plus élevée (4,36). Il faut noter que, les tomates conservées à température ambiante ont enregistré des pH supérieurs à ceux des tomates conservées à 12°C et du témoin. Contrairement aux tomates conservées à température ambiante, les pH des tomates conservées à 12°C ne sont pas significativement différents du pH du témoin.

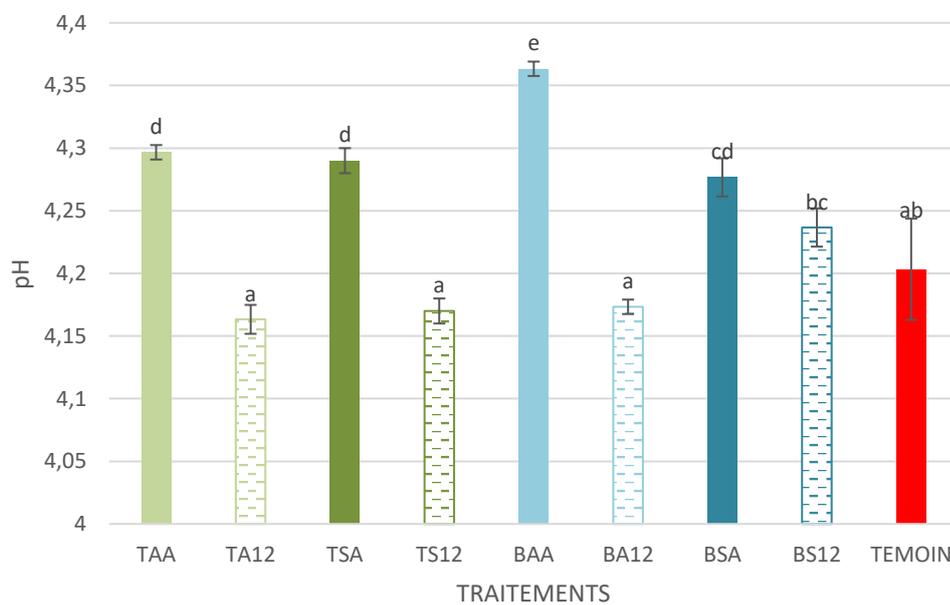


Figure 30 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non des tomates, sur le pH des tomates devenues rouges lors de la conservation. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante. **TA12** : Tournant Avec hexanal à la température 12° ; **TS12** : Tournant Sans hexanal à la température 12° ; **TAA** : Tournant Avec hexanal à la température Ambiante ; **TSA** : Tournant Sans hexanal à la température Ambiante ; **BA12** : Breaker Avec hexanal à la température 12° ; **BS12** : Breaker Sans hexanal à la température 12° ; **BAA** : Breaker Avec hexanal à la température Ambiante ; **BSA** : Breaker Sans hexanal à la température Ambiante. Les données présentées sont la moyenne \pm l'écart type et les valeurs statistiquement significatives ($p < 0,05$) dans les colonnes sont désignées par des lettres.

6. Fermeté

La fermeté des tomates qui ont atteint le stade rouge pendant le stockage est illustrée à la **figure 31**. Il n'y a aucune différence significative de fermeté entre les tomates étudiées. Seul BA12 a une fermeté supérieure et statistiquement différente à celle du témoin. Aussi, les traitements peuvent être subdivisés en deux groupes au niveau statistique : le 1^{er} avec TAA, TA12, TSA, TS12, BSA, BS12, BAA ; et le 2^{ème} avec TA12, BS12, BA12.

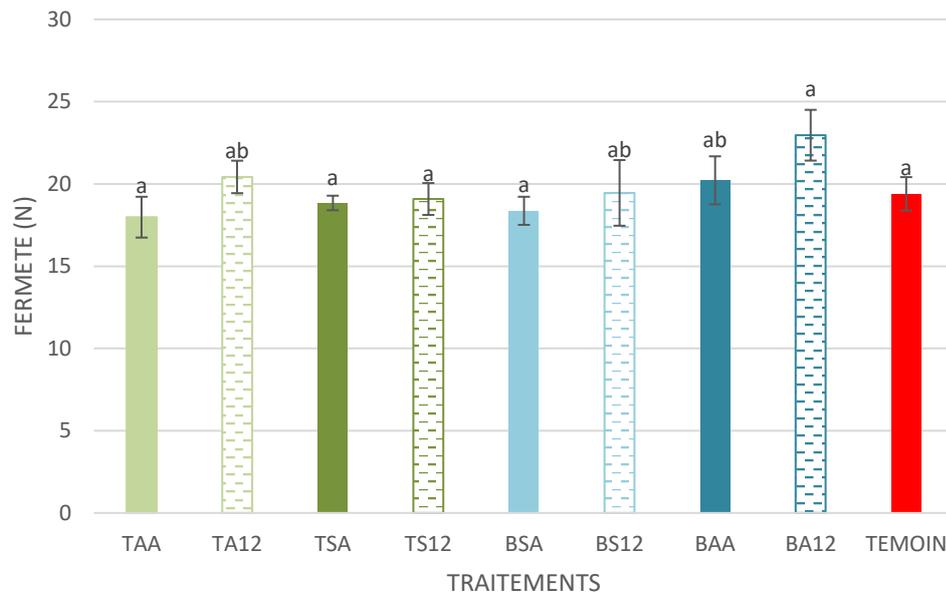


Figure 31 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non des tomates sur la fermeté. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈ 28 °C). **TA12** : Tournant Avec hexanal à la température 12° ; **TS12** : Tournant Sans hexanal à la température 12° ; **TAA** : Tournant Avec hexanal à la température Ambiante ; **TSA** : Tournant Sans hexanal à la température Ambiante ; **BA12** : Breaker Avec hexanal à la température 12° ; **BS12** : Breaker Sans hexanal à la température 12° ; **BAA** : Breaker Avec hexanal à la température Ambiante ; **BSA** : Breaker Sans hexanal à la température Ambiante. Les données présentées sont la moyenne ± l'écart type et les valeurs statistiquement significatives ($p < 0,05$) dans les colonnes sont désignées par des lettres.

7. Couleur

Le **tableau 7** présente les paramètres de couleur des tomates ayant atteint le stade rouge durant la conservation. Les valeurs sont confrontées à celles du témoin. BAA est le traitement toutes les valeurs L^* , a^* , b^* , C^* et H^* qui étaient statistiquement différentes du témoin. BSA, TA12 et TS12 avaient des couleurs moins rouges (a^*) que celui du témoin.

Tableau 7 : effet du traitement par trempage post-récolte des fruits de tomate dans une formulation aqueuse d'hexanal et stockés à 12 et 28 °C, sur les paramètres de couleur.

Traitement	L^*	a^*	b^*	C^*	H^*
BAA	44.57±2.06 ^c	8.23±3.26 ^e	40.30±0.69 ^c	41.20±1.30 ^c	78.57±4.30 ^a
BA12	33.23±1.27 ^{ab}	23.93±0.84 ^a	25.83±1.72 ^{ab}	35.16±1.70 ^{ac}	47.03±1.46 ^{de}
BSA	40.43±2.28 ^{bc}	6.53±6.90 ^e	31.67±1.72 ^{ac}	32.93±2.50 ^{ab}	80.47±8.39 ^a
BS12	30.20±3.20 ^a	25.27±2.25 ^a	22.67±1.93 ^a	33.93±2.87 ^{ab}	41.87±1.42 ^e
TAA	37.70±2.65 ^{bc}	21.03±4.60 ^{abc}	30.90±1.01	37.53±2.05 ^{bc}	55.93±6.40 ^{bc}
TA12	38.33±1.29 ^{bc}	15.93±1.79 ^{cde}	27.03±4.72 ^{ab}	30.16±1.53 ^a	59.03±7.0 ^{8b}
TSA	35.53±3.76 ^{ab}	17.57±2.78 ^{bcd}	32.40±5.67 ^{bc}	37.10±3.93 ^{bc}	31.03±7.51 ^b
TS12	40.40±b ^c	12.13±8.59 ^{de}	31.10±4.42 ^{ab}	34.27±1.50 ^{ab}	68.23±15.97 ^{ab}
TÉMOIN	34.20±0.9 ^{ab}	23.23±1.27 ^{ab}	27.23±2.71 ^{ab}	35.80±2.83 ^{ac}	49.47±1.50 ^{cd}

L^* = luminosité, a^* = du vert au rouge, b^* = du bleu au jaune, C^* = Chroma, H^* = angle de teinte (Hue).

TA12 : Tournant Avec hexanal à la température 12° ; **TS12** : Tournant Sans hexanal à la température 12° ; **TAA** : Tournant Avec hexanal à la température Ambiante ; **TSA** : Tournant Sans hexanal à la température Ambiante ; **BA12** : Breaker Avec hexanal à la température 12° ; **BS12** : Breaker Sans hexanal à la température 12° ; **BAA** : Breaker Avec hexanal à la température Ambiante ; **BSA** : Breaker Sans hexanal à la température Ambiante. Les données présentées sont la moyenne ± l'écart type et les valeurs statistiquement significatives ($p < 0,05$) dans les colonnes sont désignées par des lettres.

8. Taux de perte (Pourriture)

Dès la première semaine, les tomates stockées à température ambiante présentent des pertes allant jusqu'à 20 % contrairement aux tomates conservées à 12°C (**figure 32**). En effet, au niveau des tomates stockées à 12 °C, ce n'est qu'à la troisième semaine que les pertes commencent et elles sont comprises entre 20 % et 41 %. Il y a une nette distinction des deux groupes dès la première semaine jusqu'à la quatrième semaine. A la cinquième semaine, 100 % de perte sont atteints au niveau de tous les échantillons sauf BA12 et BS12. En effet ce n'est qu'à la sixième semaine que ces tomates atteignent 100 % de perte.

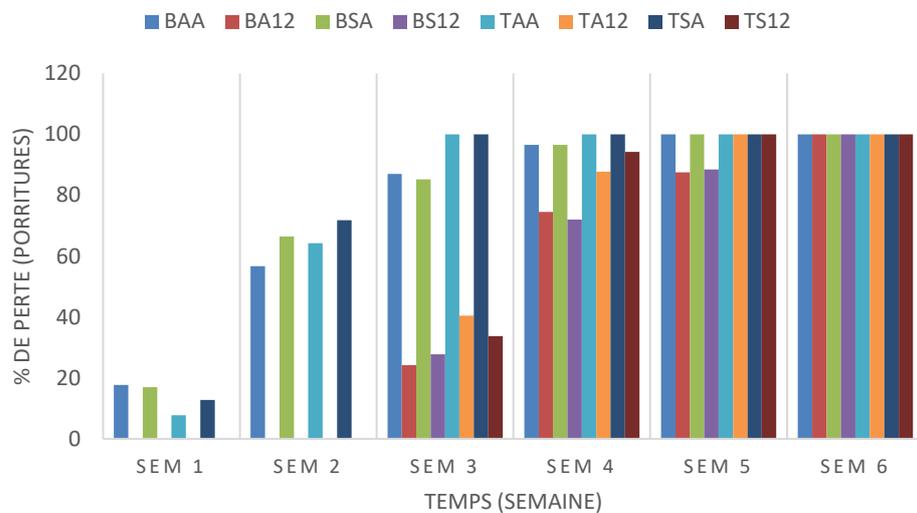


Figure 32 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non des tomates sur le taux de perte dû à la pourriture lors de la conservation. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈ 28 °C). **TA12** : Tournant Avec hexanal à la température 12° ; **TS12** : Tournant Sans hexanal à la température 12° ; **TAA** : Tournant Avec hexanal à la température Ambiante ; **TSA** : Tournant Sans hexanal à la température Ambiante ; **BA12** : Breaker Avec hexanal à la température 12° ; **BS12** : Breaker Sans hexanal à la température 12° ; **BAA** : Breaker Avec hexanal à la température Ambiante ; **BSA** : Breaker Sans hexanal à la température Ambiante

9. Perte de masse

La perte de masse au cours de la conservation des tomates étudiées est présentée par la **figure 33**. Que quel que soit le traitement, la masse des tomates diminue avec le temps. L'évaluation s'est effectuée sur 23 jours, mais au bout de 9 jours, toutes les tomates traitées et stockées à température ambiante ont atteint le stade rouge, d'où l'arrêt de la mesure. Pour les tomates traitées et stockées à 12°C, les fruits récoltés au stade "Tournants" ont atteint le stade rouge au 13^{ème} jour. Seul le stade Breaker à atteint la fin du temps d'évaluation soit 23 jours.

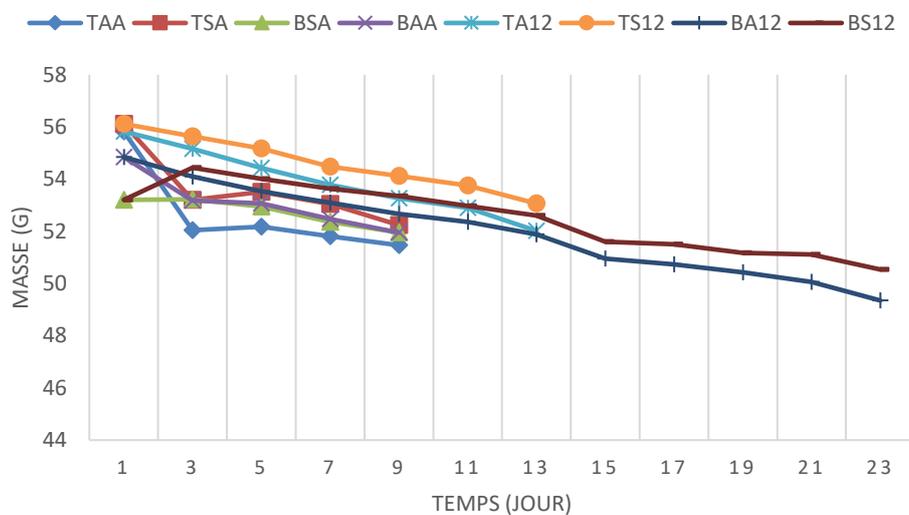


Figure 33 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non des tomates sur la perte de masse des tomates lors de la conservation. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈ 28 °C). *TA12* : Tournant Avec hexanal à la température 12° ; *TS12* : Tournant Sans hexanal à la température 12° ; *TAA* : Tournant Avec hexanal à la température Ambiante ; *TSA* : Tournant Sans hexanal à la température Ambiante ; *BA12* : Breaker Avec hexanal à la température 12° ; *BS12* : Breaker Sans hexanal à la température 12° ; *BAA* : Breaker Avec hexanal à la température Ambiante ; *BSA* : Breaker Sans hexanal à la température Ambiante. Les données présentées sont la moyenne \pm l'écart type et les valeurs statistiquement significatives ($p < 0,05$) dans les colonnes sont désignées par des lettres.

10. Respiration

La respiration des tomates étudiées est présentée par la **figure 34**. Pour toutes les tomates traitées et stockées, la respiration atteint un pic puis chute. Les tomates au stade Breaker stockées à 12°C ont 2 pics, avant la stabilisation. De plus, les tomates stockées à température ambiante ont atteint leur maturité plus vite que celles stockées à 12°C, et ont un seul pic. Cependant, toutes les tomates stockées à 12°C excepté BA12 ont d'abord une chute brusque de la respiration juste après stockage.

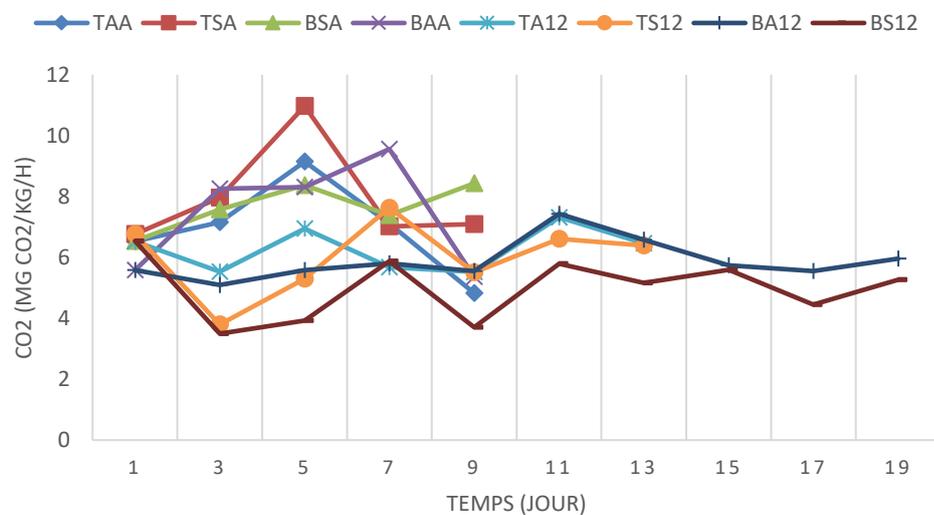


Figure 34 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non des tomates sur la respiration lors de la conservation. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈ 28 °C). **TA12** : Tournant Avec hexanal à la température 12° ; **TS12** : Tournant Sans hexanal à la température 12° ; **TAA** : Tournant Avec hexanal à la température Ambiante ; **TSA** : Tournant Sans hexanal à la température Ambiante ; **BA12** : Breaker Avec hexanal à la température 12° ; **BS12** : Breaker Sans hexanal à la température 12° ; **BAA** : Breaker Avec hexanal à la température Ambiante ; **BSA** : Breaker Sans hexanal à la température Ambiante. Les données présentées sont la moyenne \pm l'écart type et les valeurs statistiquement significatives ($p < 0,05$) dans les colonnes sont désignées par des lettres.

11. Quotient respiratoire

Le quotient respiratoire est présenté par la **figure 35**. Les valeurs sont comprises entre 0 et 2. Toutes les tomates traitées et stockées ont un pic avant une chute et une stabilisation. Au 3^{ème} jour de conservation TS12 et BS12 ont une chute brusque du QR avant d'atteindre le pic au 5^{ème} jour. Les tomates n'ayant reçu aucun traitement et stockée à 12°C ainsi que celles traitées et stockées à température ambiante ont des valeurs élevées de QR (Pic) au 5^{ème} jour de conservation. Seul TS12 a un pic très élevé (1,78) contrairement à tous les traitements. Pour BA12, le QR est moins variable avec un pic au 19^{ème} jour, qui marque également la fin des évaluations.

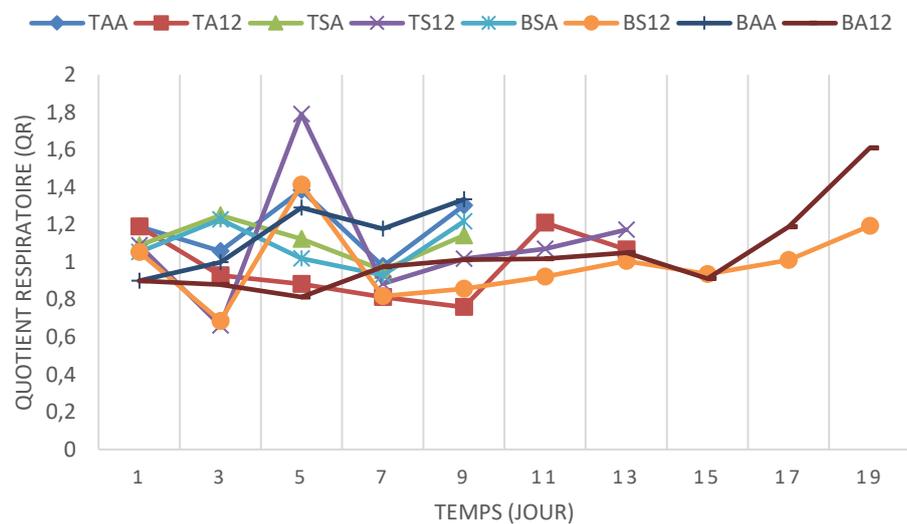


Figure 35 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non des tomates sur le quotient respiratoire lors de la conservation. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈ 28 °C). **TA12** : Tournant Avec hexanal à la température 12° ; **TS12** : Tournant Sans hexanal à la température 12° ; **TAA** : Tournant Avec hexanal à la température Ambiante ; **TSA** : Tournant Sans hexanal à la température Ambiante ; **BA12** : Breaker Avec hexanal à la température 12° ; **BS12** : Breaker Sans hexanal à la température 12° ; **BAA** : Breaker Avec hexanal à la température Ambiante ; **BSA** : Breaker Sans hexanal à la température Ambiante. Les données présentées sont la moyenne \pm l'écart type et les valeurs statistiquement significatives ($p < 0,05$) dans les colonnes sont désignées par des lettres.

II. DISCUSSION

La maturation des fruits est une phase dynamique, transitoire et métaboliquement active qui implique plusieurs processus biochimiques. Ces processus sont : la décomposition des parois cellulaires et de la pectine, la dégradation des membranes, la décomposition des glucides stockés en sucres, une réduction de l'acidité et une augmentation de la biosynthèse de la couleur et des composants volatils de l'arôme. Tous ces processus contribuent à une amélioration globale de la qualité organoleptique des fruits (**Paliyath et al., 2012**). Aussi, est-elle caractérisée par une séquence de changements chimiques associés à des processus tels que la respiration, la transpiration, la production d'éthylène et autres substances volatiles (**Balaguera et al., 2009 ; Ayala et al., 2013**). Dans le cas de cette étude, les tomates ont été récoltées au stade Breaker et tournant puis traitées avec une formulation à base d'hexanal. L'application de formulations à base d'hexanal est une technologie qui s'est avérée efficace pour prolonger la durée de conservation et la qualité de plusieurs fruits tels que la pomme, la cerise, la pêche, la prune, les légumes et les fleurs (**Paliyath et Murr, 2007 ; Sharma et al., 2010 ; Tiwari et Paliyath, 2011**). Des travaux antérieurs ont démontré de manière concluante les effets bénéfiques des trempettes à base d'hexanal sur les tomates fraîches au stade Breaker (**Tiwari et Paliyath, 2011**). Ces résultats ne sont pas en accord avec nos résultats. En effet les résultats de la présente étude ne montrent aucune différence significative entre les tomates traitées et celle non traitées à l'hexanal. La température pourrait être, dans cette étude le facteur qui a permis de prolonger la durée de conservation et les paramètres physicochimiques des tomates. En effet, selon **Kader (2002)**, la température est un facteur important pour maintenir la qualité post-récolte et l'aptitude au stockage de la tomate. À des températures plus basses, le mûrissement est ralenti ; à des températures supérieures à 27 °C, la croissance bactérienne et la pourriture peuvent être accélérées, et au-dessus de 30 °C, le mûrissement peut être inhibé. Aussi, **Polderdijk et al. (1993)** ont montré qu'une température de 12 °C est considérée comme sûre pour le stockage des tomates ce qui corroborent les nôtres.

Au niveau du pH, les tomates stockées à température ambiante ont eu des teneurs supérieures (4,28-4,36) et significativement différentes du témoin (4,20) contrairement à celles conservées à 12°C qui ont des pH inférieurs (\approx 4,17 ; excepté BS12). La valeur du pH des échantillons de tomates augmentait avec la température de stockage, ce qui était en accord avec les conclusions de **Moneruzzaman et al. (2008)**. Cette augmentation pourrait être due à la dégradation enzymatique de la pectine pendant la période de stockage. En effet, lorsque la pectine se décompose, l'acidité augmente en raison de la formation d'acide galacturonique dans le fruit

(**De Oliveira et al., 2016**). Toutefois, **Anthon et al. (2011)** ont suggéré que la valeur du pH des fruits frais de la tomate, qui varie entre 4,25 et 4,4, est optimale et souhaitable pour assurer la sécurité alimentaire. Ces résultats ne sont pas en accord avec les valeurs des tomates de la présente étude conservées à 12 °C ainsi que celle du témoin. Cependant, d'autres auteurs tels que **Giordano, 2000** ; **Aoun et al., 2013**, recommandent des pH inférieurs à 4,5 ; ce qui est en accord avec les résultats de la présente étude. Outre le pH, les teneurs en acidité titrable varient entre 0,40 et 0,55, avec la valeur maximale de 0,52 atteinte par TS12. Les tomates traitées qui étaient statistiquement identiques avec notre témoin étaient BSA, BS12, BAA et TAA. La majorité des tomates traitées et conservées à 12 °C avaient des teneurs élevées et statistiquement différentes ($p < 0.05$) du témoin. Cela pourrait être dû aux conditions de stockage. **De Souza et al., (1999)** ont rapporté que l'augmentation de l'acidité titrable est causée par les conditions gazeuses (augmentation de la concentration de CO₂ et réduction de l'O₂) pendant la période de stockage. Cependant, lorsque le pH est bas, l'acidité titrable est élevée, et lorsque le pH est élevé, l'acidité titrable est basse (**Kiehl, 1964**). Ce n'est pas toujours le cas, et certaines études ont montré presque le contraire. **Anderson (1957)** a trouvé que le pH n'était pas toujours le plus bas là où l'acidité titrée était la plus élevée, ce qui est en accord avec nos résultats. D'autres paramètres tels que l'indice de maturité et l'indice du goût sont évalués pour déterminer la qualité des fruits et légumes. En effet, le rapport TSS/TTA (indice de maturité et d'acceptabilité) est un paramètre très important dans l'évaluation de la qualité des fruits car il détermine l'harmonie de la saveur des fruits (**Voca et al., 2008**). Aussi, l'indice de maturité (TSS/TA) avec une valeur plus élevée donne-t-il une saveur plus douce aux fruits et légumes, tandis que les valeurs plus faibles sont corrélées avec l'acide, donc une saveur moins douce (**Araujo et al., 2014**). Les valeurs du rapport SS/TA obtenues dans la présente étude sont considérées comme bonnes pour le stade Breaker, car elles sont supérieures à 10, selon ce qui a été stipulé par **Kader et al. (1978)** ; **Schwarz et al. (2013)**. Cependant, aucun traitement n'a une valeur statistiquement identique au témoin qui avait la valeur la plus élevée donc considéré comme le plus acceptable. Outre l'indice de maturité, il y a l'indice de saveur qui est également un paramètre de qualité de la tomate. Selon **Hernández et al. (2008)** les valeurs de l'indice de saveur supérieures à 0,85 sont décrites comme valeurs minimales requise pour une saveur acceptable de la tomate. Les résultats de cette étude corroborent.

Une évolution de la coloration des tomates (Breaker et tournant) jusqu'à atteindre le stade rouge a été observé au cours de l'étude. Selon **Lopez Camelo et Gomez (2004)**, les changements d'intensité de la couleur et de la qualité sont des indicateurs importants de la maturité et de la

qualité des tomates fraîches. Le développement de la couleur rouge est considéré comme un indice de maturité. **Tijksens et Evelo, (1994)** ont rapporté que pour les tomates fraîches, l'un des attributs de qualité les plus importants pour les acheteurs et les consommateurs sont la couleur de la peau et la texture. Dans cette étude les valeurs de L^* étaient comprises entre 30-45 ; a^* (6-25,5) ; b^* (22-40.5) ; C^* (30-41.5) et h° (31-80.5). Il faut noter que les tomates conservées à température ambiante ont atteint le stade rouge plus vite que celles conservées à 12°C. A mesure que les tomates murissent, a^* augmente (**Dragan et al., 2010**). Les valeurs obtenues pour les traitements étaient positives, les plus petites étaient celle de BAA et BSA (8.23 et 6.53 respectivement) tandis que la plus élevée était celle de BS12. Les analyses statistiques ont montré que les taux de rouge dans les tomates traitées qui étaient différents du témoin étaient BSA, BAA, TA12 et TS12. La fermeté est l'un des paramètres de qualité les plus importants de la tomate, qui est étroitement associé à la maturité et à la durée de conservation. Les résultats obtenus dans cette étude se situent entre 15 et 25N. Aucune différence significative n'a été observée entre les tomates traitées et le témoin excepté BA12 qui avait une fermeté supérieure. **Batou (2004)** a rapporté qu'avec une fermeté supérieure à 8,76 N, les fruits étaient considérés très fermes et très commercialisables dans les supermarchés. Par conséquent, nos résultats sont en accord. D'autres auteurs tel que **GormLey et Maher, (1987)**, ont rapporté que le niveau de fermeté minimum acceptable pour les fruits de tomates devrait être de 10 N au détail.

La respiration est le processus par lequel l'énergie dérivée du catabolisme oxydatif des matières organiques stockées telles que les glucides, les graisses et les protéines (**Wilson et al., 1999**) est utilisée pour maintenir le fruit en vie et soutenir les changements de développement. La respiration se produit dans les mitochondries des cellules vivantes et maintient les réactions de synthèse qui se produisent après la récolte en assurant la médiation de la libération des squelettes de carbone et de l'énergie (**Kays, 1991**). Les résultats des mesures de la respiration, ont montré que les tomates traitées et stockées à température ambiante ont des valeurs de respiration plus élevées que celle stockées à 12 °C. cela pourrait être dû à la température. En effet, selon **Knee (2002)**, en l'absence de blessures paralysantes ou de dommages associés, les températures d'entreposage frigorifique diminuent la fréquence respiratoire. Aussi, selon **Jayas et Jeyamkondan, (2002)** ; **Suárez et al. (2009)**, les températures élevées accélèrent les réactions chimiques et les taux de respiration. Une augmentation de la respiration entraîne une perte des réserves alimentaires stockées, ce qui accélère les processus de sénescence. Cela entraîne une réduction de la valeur alimentaire pour le consommateur, une perte de saveur, en particulier de douceur, une perte de poids sec vendable et une détérioration rapide (**Kader, 1992**

; **Wilson *et al.*, 1999**). En outre, l'augmentation de la respiration entraîne une hausse de la température et une accélération du taux de croissance des agents pathogènes (**Kays, 1991**). Cela a été observé avec les tomates stockées à température ambiante qui se sont détériorées plus vite (dès la première semaine) que celles stockées à 12 °C (à partir de la troisième semaine). Le quotient respiratoire est le rapport (CO_2/O_2). Si le processus respiratoire est normal et que les sucres sont métabolisés, le QR devrait être égal à un (1). Des valeurs de QR supérieures à 1 indiquent que l'organisme brûle des glucides pour produire des graisses ou qu'il y a utilisation de substrats oxygénés dans la respiration, comme les acides organiques (protéines). Une valeur très élevée du QR indique un processus anaérobie. Pour les produits frais les valeurs varient généralement entre 0,7 et 1,3 pour la respiration aérobie (**Saltveit, 2005**). Dans notre cas le TS12, BS12 (5^e jour) ; BS12, BA12 (19^e jour) ont enregistré des valeurs supérieures à 1,3 donc sont entrées en respiration anaérobie.

III. CONCLUSION

Dans ce chapitre il a été question de la recherche du stade de maturité approprié pour la conservation de la tomate sous deux conditions de température : température ambiante et 12°C. L'hexanal a été le traitement appliqué pour ralentir le murissement. Les résultats ont montré que le traitement à l'hexanal n'a pas eu d'effet significatif sur les tomates. La conservation à 12 °C a permis de limiter les pertes post-récoltes tout en conservant une qualité des tomates proche de celle en champ. Dans le chapitre suivant les activités antifongiques d'extrait aqueux et d'huile essentielle ont été étudiés, en vue de contrôler les pourritures dues aux microorganismes au cours de la conservation des tomates

Chapitre 2

ACTIVITE ANTIFONGIQUE D'EXTRAIT AQUEUX ET
D'HUILE ESSENTIELLE

L'objectif de la seconde partie de mon travail consistait à trouver un bio-fongicide afin de limiter le développement de pathogènes sur la tomate durant la conservation entraînant des pertes importantes. La méthodologie utilisée est décrite dans la partie I des matériels et méthodes. Les extraits aqueux de feuilles (neem, papaye et basilic africain), graine (papaye) et huiles essentielles (neem et basilic africain) ont été utilisés pour inhiber la croissance *in vitro* de *Botrytis* et *Fusarium*.

I. RESULTATS

1. Inhibition de la croissance *in vitro* de *Botrytis cinerea* par les huiles essentielles de Neem et de *Ocimum*

La **figure 36** présente l'effet des huiles essentielles de Neem et de *Ocimum* sur la croissance radiale de la moisissure *Botrytis cinerea* au septième jour de traitement en fonction de trois doses (250, 500 et 750 ppm). L'huile essentielle de Neem, quel que soit la dose n'a pas eu d'effet sur la croissance de *Botrytis* contrairement à *Ocimum*. En effet le seuil d'efficacité (50 %) a été atteint déjà à 250 ppm. Il n'y a pas de différence au niveau des doses avec le traitement avec Neem.

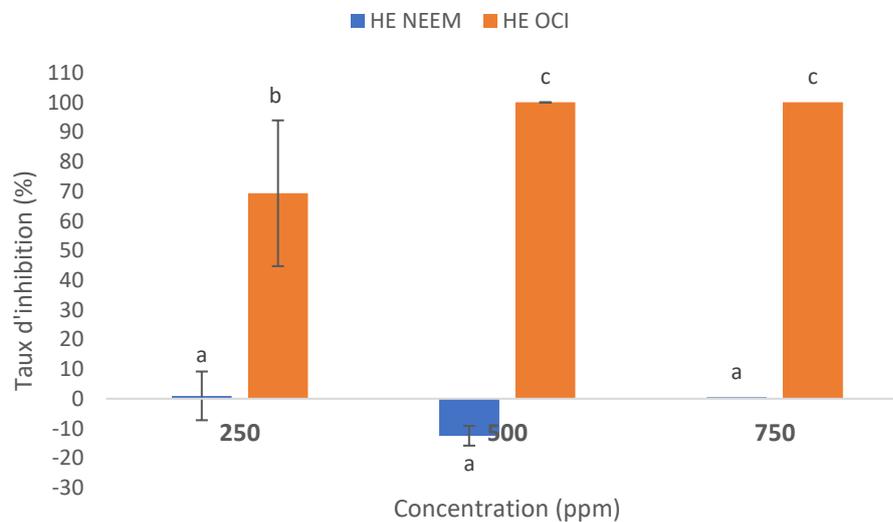


Figure 36 : effet des huiles essentielles de Neem et de *Ocimum* sur la croissance *in vitro* de *Botrytis* sur un milieu PDA après 7 jours. *HE NEEM* : huile essentielle de neem ; *HE OCI* : huile essentielle de ocimum. Les données représentent les moyennes de 5 répétitions \pm l'écart type. Les valeurs statistiquement significatives ($p < 0,05$) sont désignées par des lettres.

2. Inhibition de la croissance *in vitro* de *Botrytis cinerea* par la tisane des feuilles de neem, de papaye et *Ocimum*.

La **figure 37** montre l'effet des différents types de feuilles et leur mode de préparation sur la croissance *in vitro* de *Botrytis*. Pour les préparations à chaud, seule la tisane de *Ocimum* a un effet inhibiteur remarquable (50 %) sur la croissance de *Botrytis*. Quant à la tisane de papaye, elle a eu l'effet contraire c'est-à-dire qu'elle a été un activateur de croissance (-164 %). Au niveau des préparations à froid, la tisane de papaye a le taux d'inhibition le plus élevé (28 %). Il n'y a pas de différence significative entre les préparations à froid et celle à chaud de *Ocimum* et de neem. Cependant il y a différence entre la préparation à chaud de papaye et toutes les autres préparations.

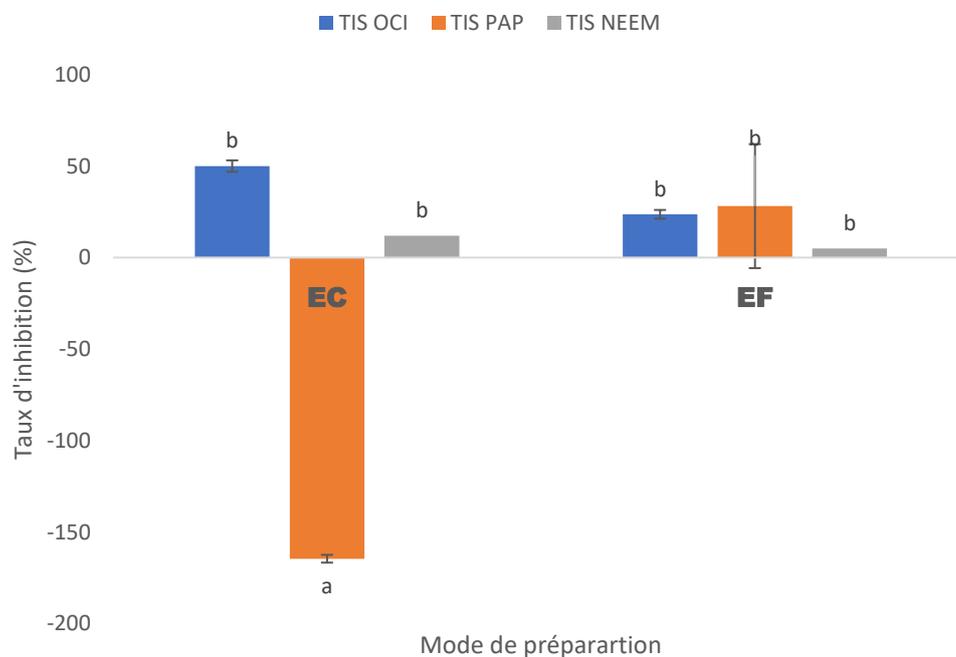


Figure 37 : effet des tisanes de feuilles de papaye, de Neem et de *Ocimum* en fonction de leur mode de préparation sur la croissance *in vitro* de *Botrytis* au septième jour de traitement. *TIS OCI* : tisane de feuille de *Ocimum* ; *TIS PAP* : tisane de feuille de papaye ; *TIS NEEM* : tisane de feuilles de neem ; *EC* : eau chaude ; *EF* : eau froide. Les données représentent les moyennes de 5 répétitions \pm l'écart type. Les valeurs statistiquement significatives ($p < 0,05$) sont désignées par des lettres.

3. Inhibition de la croissance *in vitro* de *Fusarium* par l'huile essentielle de *Ocimum*.

L'effet de l'huile essentielle de *Ocimum* a été mis en évidence *in vitro* sur la croissance de *Fusarium*. Trois concentrations ont été utilisées (250, 500 et 700 ppm) pour les différents traitements. Les taux d'inhibition en fonction des concentrations sont présentés par la **figure 38**. Il y a une croissance du taux d'inhibition en fonction de l'augmentation de la concentration de l'huile essentielle et une inhibition de 38,57 (250 ppm) à 100 % (750 ppm). En outre, il y a une différence significative entre les taux d'inhibition en fonction de la concentration.

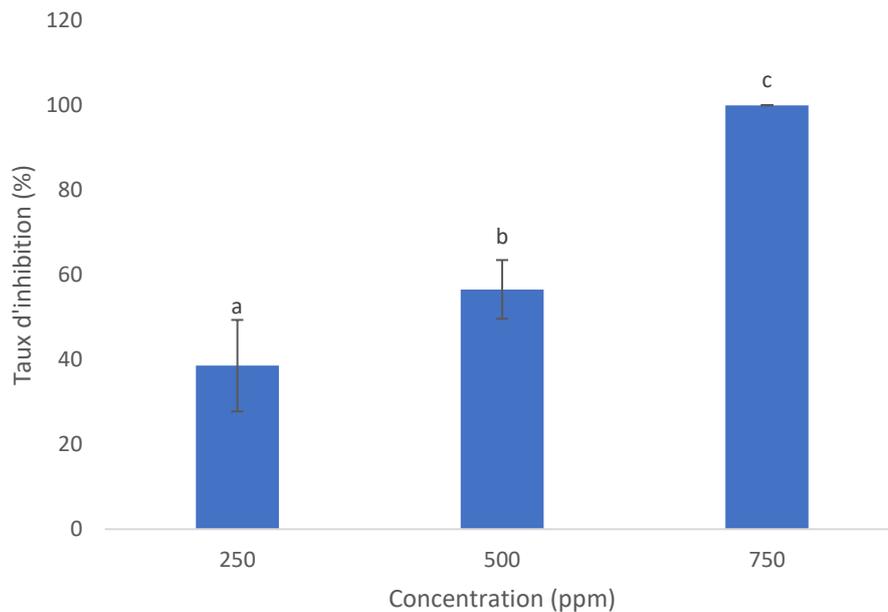


Figure 38 : effet de l'huile essentielle de *Ocimum* sur la croissance *in vitro* de *Fusarium oxysporium* après 7 jours. Les données représentent les moyennes de 5 répétitions \pm l'écart type. Les valeurs statistiquement significatives ($p < 0,05$) sont désignées par des lettres.

4. Inhibition de la croissance *in vitro* de *Botrytis* et de *Fusarium* par la tisane chaude de *Ocimum*.

La **figure 39** montre l'effet de la tisane de *Ocimum* préparé à chaud sur la croissance *in vitro* de *Fusarium* et de *Botrytis*. Le taux d'inhibition croît en fonction de l'augmentation de la concentration de la tisane dans le milieu de culture pour les deux microorganismes. Les 50 % d'inhibition sont dépassés au niveau des deux microorganismes dès 300 ml/L de tisane dans le milieu de culture et l'inhibition totale (100 %) est atteinte seulement avec *Botrytis* à 600 et 700 ml/L. A ces valeurs de 600 et 700 ml/L l'inhibition au niveau de *Fusarium* est de 93,33 et 96,42 % respectivement.

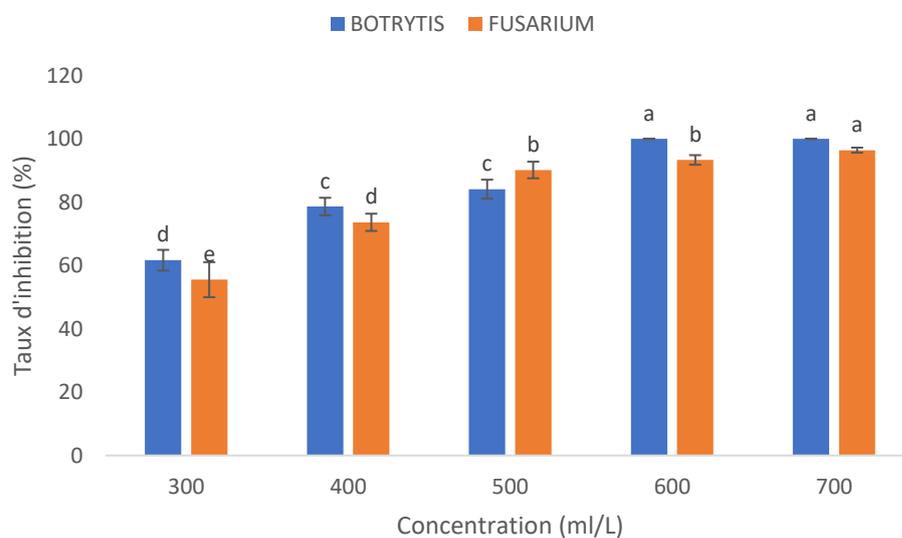


Figure 39 : effet de la tisane chaude de *Ocimum* sur la croissance *in vitro* de *Fusarium* et *Botrytis* au septième jour de traitement. Les données représentent les moyennes de 5 répétitions \pm l'écart type. Les valeurs statistiquement significatives ($p < 0,05$) sont désignées par des lettres.

Le **tableau 8** présente les paramètres antifongiques de la tisane à chaud et de l'huile essentielle de *Ocimum* sur la croissance mycélienne de *Fusarium* et de *Botrytis*. La concentration minimale inhibitrice (CMI) et la concentration minimale fongicide (CMF) au niveau de la tisane à chaud, ont été atteintes pour *Botrytis* à la concentration de 60 ml/L. cependant au niveau de *Fusarium* il n'y a ni CMI et CMF avec la tisane. Mais pour l'huile essentielle, la CMI a été atteinte à 750 ppm. Avec *Botrytis*, pour le traitement du milieu de culture avec l'huile essentielle, la CMI et la CMF ont été atteintes à la concentration de 500 ppm.

Tableau 8: paramètres antifongiques de la tisane à chaud et de l'huile essentielle de *O. gratissimum* sur la croissance mycélienne.

Pathogènes		<i>B. cinerae</i>	<i>F. oxysporum</i>
Tisane à chaud	CMI (% v/v)	60	-
	CMF ((%, v/v)	60	-
Huile essentielle	CMI (ppm)	500	750
	CMF (ppm)	500	-

CMI : concentration minimale inhibitrice ; *CMF* : concentration minimale fongicide

II. DISCUSSION

Le contrôle des maladies post-récolte par l'utilisation d'extraits de plantes est une nouvelle méthode alternative nouvelle, avancée et sans risque de gestion des produits post-récolte qui garantit une santé (santé humaine, et animale et environnement). L'activité fongicide de certains extraits de plantes pour contrôler différents agents pathogènes des plantes a été rapportée par plusieurs auteurs (**Adepoju et al. 2014 ; Chávez-Quintal et al. 2011 ; Gwa VI et Nwankiti 2017 ; Imtiaj et al. 2005 ; Okigbo et Ogbonnaya 2006**) etc.

L'objectif de ce travail étaient d'évaluer l'activité antifongique de quelques plantes (extrait aqueux et huile essentielle) et d'utiliser le meilleur comme fongicide naturel dans le traitement des maladies post-récolte des fruits et légumes tels que la mangue, la tomate et la banane, etc. *O. gratissimum* L., *Carica papaya* et *Azadirachta indica* sont connus pour leurs propriétés antimicrobiennes, insecticides, médicinales populaires et aromatiques alimentaires. (**Somalwar et al., 2022 ; Nilofer et Chenthamarai, 2020 ; Dozie-Nwakile et al., 2020 ; Pandey 2017 ; Tay et Chong, 2016**). Cette étude a révélé que l'extrait aqueux et l'huile essentielle de *O. gratissimum* ont une forte activité antifongique contre *B. cinerae* et *F. oxysporum*, respectivement agents responsables de la moisissure grise et brune sur la tomate. Cette activité antifongique augmente avec la concentration, mais diminue pendant la période d'incubation. De plus, l'efficacité de l'extrait aqueux et de l'huile essentielle dépend de l'agent pathogène fongique. Ainsi, l'extrait aqueux et l'huile essentielle de *O. gratissimum* L. se sont révélés plus actifs sur *B. cinerae* que sur *F. oxysporum*. Pour *B. cinerea*, la concentration minimale inhibitrice de l'huile essentielle et de l'extrait aqueux obtenus dans cette étude est de 500 ppm et de 60 % (v/v) pour la croissance mycélienne, respectivement. En ce qui concerne *F. oxysporum*, il n'y a pas de concentration minimale inhibitrice pour l'huile essentielle et l'extrait aqueux dans notre travail. Ceci est en désaccord avec les rapports de (**Soro et al. 2011**) qui indiquent 250 ppm comme concentration minimale inhibitrice de l'huile essentielle OG pour la croissance mycélienne de *F. oxysporum*.

Les travaux de **Kobenan et al., (2018), Koffi et al., (2013) et Oussou et al. (2004)** ont révélés que le para-cymène, le γ -terpène et surtout le thymol sont les principaux composés de l'huile essentielle d'OG de Côte d'Ivoire, alors que l'huile essentielle utilisée dans cette étude a été extraite de *O. gratissimum* d'Inde qui est principalement riche en eugénol, linalool, germacrène-D, cis-beta ocimène selon le fabricant (Oshadhi, Inde). Par conséquent, cette différence peut être expliquée par la composition chimique liée elle-même à la localisation géographique de la plante. Cependant, la diversité de la composition chimique des huiles essentielles peut être

influencée par de nombreux facteurs dont l'âge de la plante, le solvant d'extraction, la méthode d'extraction, les conditions climatiques, la localisation géographique, et le moment de la récolte et la partie de la plante collectée (**Bautista-Baños et al. 2003 ; Okigbo 2005 ; Prabhu et al. 2009**). En outre, selon **Pandey et al. (2014)**, l'un des principaux composés présents dans l'huile essentielle de basilic giroflée est le linalol qui peut provoquer une dénaturation des protéines et une déshydratation des cellules végétatives, conduisant à la mort des micro-organismes en contact avec l'huile essentielle. De plus, l'activité antimicrobienne de l'huile essentielle pourrait être associée à plusieurs composés tels que l'eugénol (**Rizvi et al. 2014**) ; le thymol (**Dubey et al. 2002 ; Soro et al. 2011**) ; etc.

En ce qui concerne l'extrait aqueux, la présence de composés terpénoïdes, stéroïdes, phénoliques comme le tanin, les flavonoïdes, a été enregistrée dans l'échantillon. Par conséquent, l'activité antifongique dans l'extrait aqueux serait liée aux monoterpènes et sesquiterpènes avec des cycles aromatiques et des groupes phénoliques. Ces composés peuvent créer des liaisons hydrogènes avec les sites actifs des enzymes cibles et ont constitué la principale cause des effets antimicrobiens de l'OG (**Mohr et al. 2017**). En général, l'activité de l'huile essentielle est plus élevée que l'extrait foliaire car elle est plus concentrée en composés actifs que l'extrait aqueux. La diversité et la variabilité de la composition chimique de *O. gratissimum* L. lui confèrent un spectre antifongique étendu et des utilisations. Néanmoins, quel que soit le composé majeur de l'extrait ou de l'huile essentielle, le potentiel antimicrobien d'*Ocimum gratissimum* L. est lié (ou accentué) à la somme des effets ou à la synergie des propriétés des différents composants. Sur la base de ce raisonnement, tous les champignons phytopathogènes peuvent être relativement considérés comme sensibles à l'huile essentielle ou à l'extrait de feuilles de *O. gratissimum* selon les concentrations. Le taux d'inhibition est fortement corrélé par les concentrations d'extrait aqueux et d'huile essentielle d'OG. De plus, la diminution de l'effet inhibiteur avec le temps, pourrait être due à la volatilisation du principe actif. Par conséquent, *O. gratissimum* L. a une activité antifongique dose-réponse en fonction du temps. Il a été signalé que l'extrait aqueux de *O. gratissimum* L. a une DL50 de 4242,64 mg/kg de poids corporel (**Okon et al. 2012**) tandis que l'huile essentielle présente une DL50 de 1750 mg/kg de poids corporel pour (**Fandohan et al. 2008**).

CONCLUSION

Au terme de ce chapitre, il en ressort que de tous les extraits de plantes étudiés seul *Ocimum gratissimum* a une activité antifongique avérée sur les microorganismes testés. Ainsi, elle sera utilisée pour le traitement des tomates avant conservation. De ce fait, le chapitre suivant traitera de l'effet combiné du traitement à l'hexanal et aux extraits de *Ocimum*.

Chapitre 3

EFFET COMBINE DU TRAITEMENT A L'HEXANAL ET
A L'HUILE ESSENTIELLE DE OCIMUM EN POST
RECOLTE

L'objectif de cette partie était d'évaluer l'effet combiné de l'hexanal et de l'un (le meilleur) des bio-fongicides étudiés à savoir *Ocimum gratissimum*. La méthodologie utilisée est décrite dans la **partie III** des matériels et méthodes. Dans cette partie, deux lots de tomates ont été utilisés, à savoir le stade Breaker et le stade Rouge (témoin). Les traitements sont effectués sur les tomates au stade Breaker avant la mise en conservatiopn. Les tomates sont trempées dans l'hexanal ou l'eau puis dans l'huile essentielle ou l'extrait aqueux de *Ocimum* diluées dans l'eau.

I. RESULTATS

1. Effet des traitements sur le pH des tomates stockées à 12 °C et à température ambiante (27 ± 2 °C)

La **figure 40** présente le pH entre les fruits traités, non traités et le témoins (témoin), avec un taux qui varie entre 3,4 et 4,1. Seules les tomates conservées à 27 °C ont des pH pratiquement égaux et ne sont pas différents significativement du témoin. Les tomates traitées et conservées à 12 °C ont des valeurs de pH basses tandis que celles traitées et conservées à 27 °C les valeurs les plus élevés.

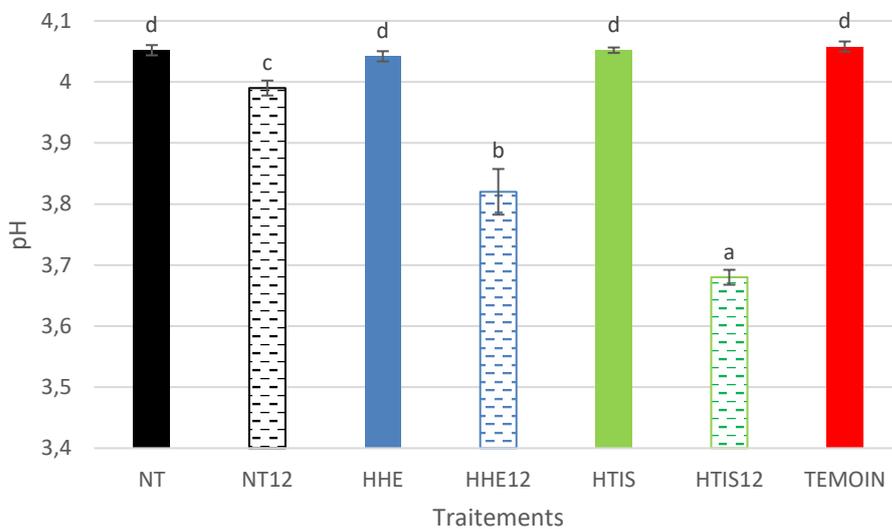


Figure 40 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non puis à la tisane ou huile essentielle de *Ocimum* sur le pH des tomates. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈27 °C). Tous les échantillons ont été analysés dès qu'ils ont atteint le stade rouge. *NT* : non traité ; *NT12* : non traité et conservé à 12 °C ; *HHE* : traité à l'hexanal + huile essentielle de *Ocimum* ; *HHE12* : traité à l'hexanal + huile essentielle de *Ocimum* et conservé à 12 °C ; *HTIS* : traité à l'hexanal + tisane de *Ocimum* ; *HTIS12* : traité à l'hexanal + tisane de *Ocimum* et conservé à 12 °C. Les données représentent la moyenne +/- SE de 5 répétitions. Les valeurs statistiquement significatives ($p < 0,05$) sont désignées par des lettres.

2. Effet des traitements sur l'acidité des tomates stockées à 12 °C et à température ambiante (27 ± 2 °C)

L'acidité des tomates traitées et non traitées, stockées à température ambiante (27 ± 2 °C) et à 12 °C est présentée par la **figure 41**. La valeur la plus grande d'acidité est celle du témoin (0,67 %) et la plus petite (0,34 %) est celle des tomates traitées à l'hexanal et à la tisane de *O. gratissimum* et stockées à 12 °C (HTIS12). Toutes les tomates conservées ont un taux d'acidité significativement différent et moins élevés par rapport à celui du témoin. Cependant, les tomates traitées et non traitées ont des taux similaires, sauf HTIS et HTIS12.

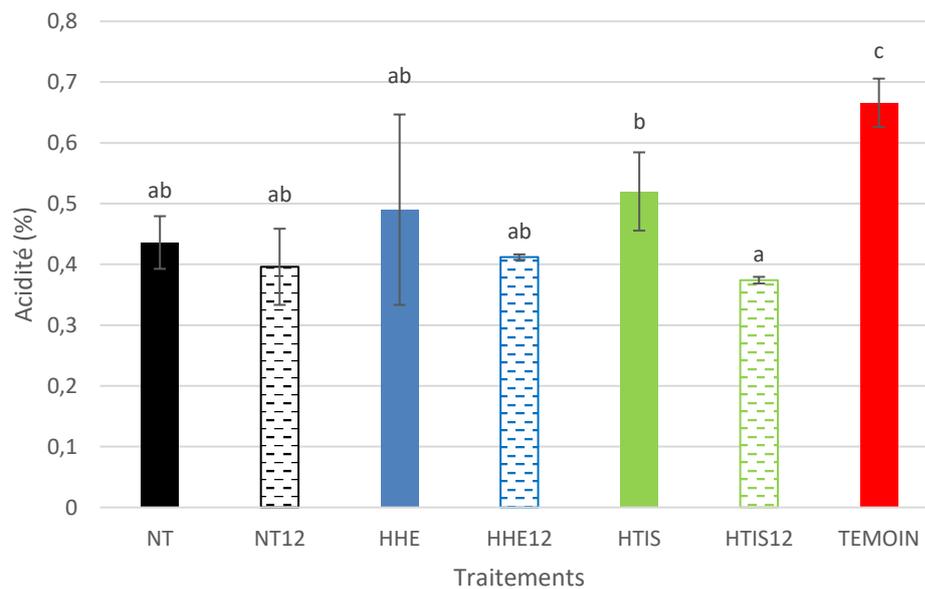


Figure 41 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non puis à la tisane ou huile essentielle de *Ocimum* sur l'acidité des tomates. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈27 °C). Tous les échantillons ont été analysés dès qu'ils ont atteint le stade rouge. **NT** : non traité ; **NT12** : non traité et conservé à 12°C ; **HHE** : traité à l'hexanal + huile essentielle de *Ocimum* ; **HHE12** : traité à l'hexanal + huile essentielle de *Ocimum* et conservé à 12°C ; **HTIS** : traité à l'hexanal + tisane de *Ocimum* ; **HTIS12** : traité à l'hexanal + tisane de *Ocimum* et conservé à 12°C. Les données représentent la moyenne +/- SE de 5 répétitions. Les valeurs statistiquement significatives ($p < 0,05$) sont désignées par des lettres.

3. Effet des traitements sur les sucres solubles des tomates stockées à 12 °C et à température ambiante (27 ± 2 °C)

L'effet des traitements sur le taux en sucre soluble des tomates est présenté par la **figure 42**. Les taux varient entre 4,22 % et 4,6 %, avec la plus faible qui est de 4,22 % et la plus élevée qui est de 4,6 %. Quelle que soit la température de stockage et le traitement les tomates ont des taux en sucre solubles qui ne sont pas significativement différents. Aussi, seuls les tomates traitées et stockées à température ambiante et les tomates non traitées stockées à 12 °C ont un taux statistiquement identique au témoin.

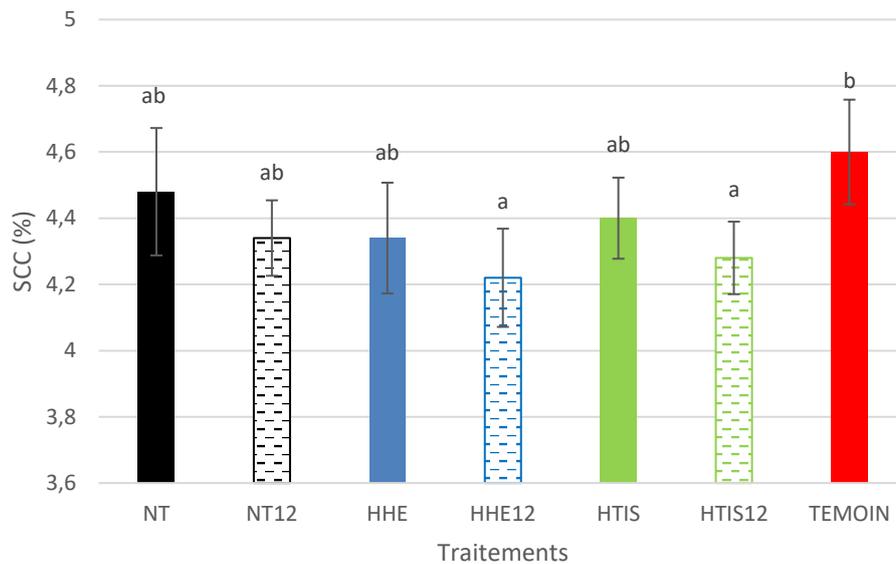


Figure 42 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non puis à la tisane ou huile essentielle de *Ocimum* sur la quantité de sucres solubles des tomates. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈27 °C). Tous les échantillons ont été analysés dès qu'ils ont atteint le stade rouge. **NT** : non traité ; **NT12** : non traité et conservé à 12°C ; **HHE** : traité à l'hexanal + huile essentielle de *Ocimum* ; **HHE12** : traité à l'hexanal + huile essentielle de *Ocimum* et conservé à 12°C ; **HTIS** : traité à l'hexanal + tisane de *Ocimum* ; **HTIS12** : traité à l'hexanal + tisane de *Ocimum* et conservé à 12°C. Les données représentent la moyenne +/- SE de 5 répétitions. Les valeurs statistiquement significatives ($p < 0,05$) sont désignées par des lettres.

4. Effet des traitements sur l'indice de maturité et d'acceptabilité des tomates stockées à 12 °C et à température ambiante (27±2 °C)

Le rapport SCC/ACIDITE est présenté à la **figure 43**. Les valeurs sont comprises entre 6 et 11,5. La plus petite valeur d'indice de maturité est celui du témoin. Tous les traitements sont significativement différents du témoin.

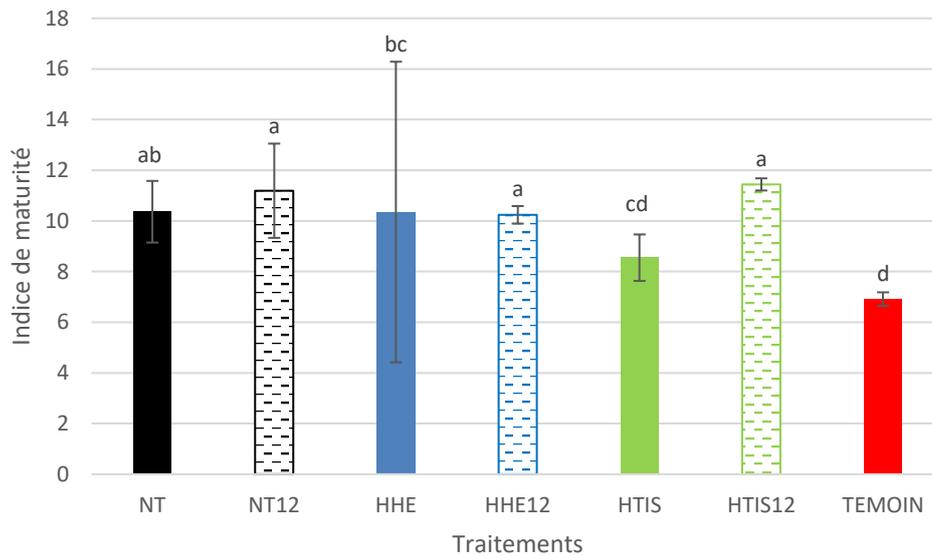


Figure 43 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non puis à la tisane ou huile essentielle de *Ocimum* sur l'indice de maturité et d'acceptabilité des tomates. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈27 °C). Tous les échantillons ont été analysés dès qu'ils ont atteint le stade rouge. **NT** : non traité ; **NT12** : non traité et conservé à 12°C ; **HHE** : traité à l'hexanal + huile essentielle de *Ocimum* ; **HHE12** : traité à l'hexanal + huile essentielle de *Ocimum* et conservé à 12°C ; **HTIS** : traité à l'hexanal + tisane de *Ocimum* ; **HTIS12** : traité à l'hexanal + tisane de *Ocimum* et conservé à 12°C. Les données représentent la moyenne +/- SE de 5 répétitions. Les valeurs statistiquement significatives ($p < 0,05$) sont désignées par des lettres.

5. Effet des traitements sur l'indice du goût des tomates traitée et stockées

L'indice du goût présenté à la **figure 44** montre des valeurs comprises entre 0,9 et 1,1. Ces valeurs sont environ égales mais tous les traitements sont statistiquement différents du témoin. La valeur d'indice du goût la plus élevée est celle du témoin (1,01).

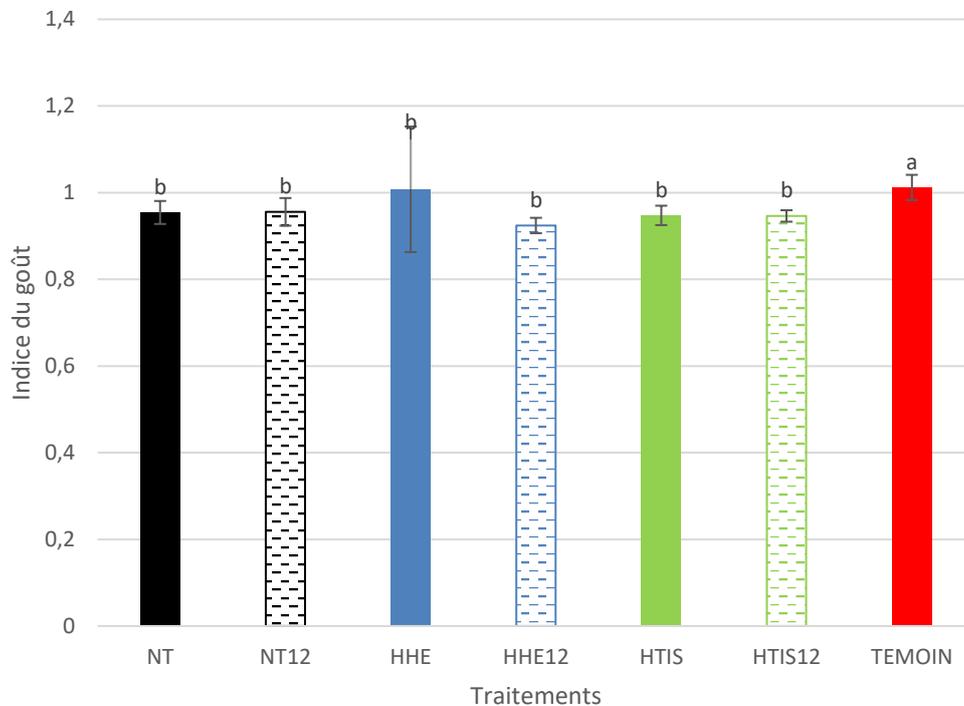


Figure 44 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non puis à la tisane ou huile essentielle de *Ocimum* sur l'indice du goût des tomates. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈ 27 °C). Tous les échantillons ont été analysés dès qu'ils ont atteint le stade rouge. **NT** : non traité ; **NT12** : non traité et conservé à 12°C ; **HHE** : traité à l'hexanal + huile essentielle de *Ocimum* ; **HHE12** : traité à l'hexanal + huile essentielle de *Ocimum* et conservé à 12°C ; **HTIS** : traité à l'hexanal + tisane de *Ocimum* ; **HTIS12** : traité à l'hexanal + tisane de *Ocimum* et conservé à 12°C. Les données représentent la moyenne \pm SE de 5 répétitions. Les valeurs statistiquement significatives ($p < 0,05$) sont désignées par des lettres.

6. Effet des traitements sur la fermeté des tomates stockées à 12 °C et à température ambiante (27 ± 2 °C)

La **figure 45** présente la fermeté des tomates traitées et stockées à 12 °C et à température ambiante (27 °C). La fermeté se situe entre 25,59 et 28,16 N. Il n'y a aucune différence significative entre les différents traitements et le témoin.

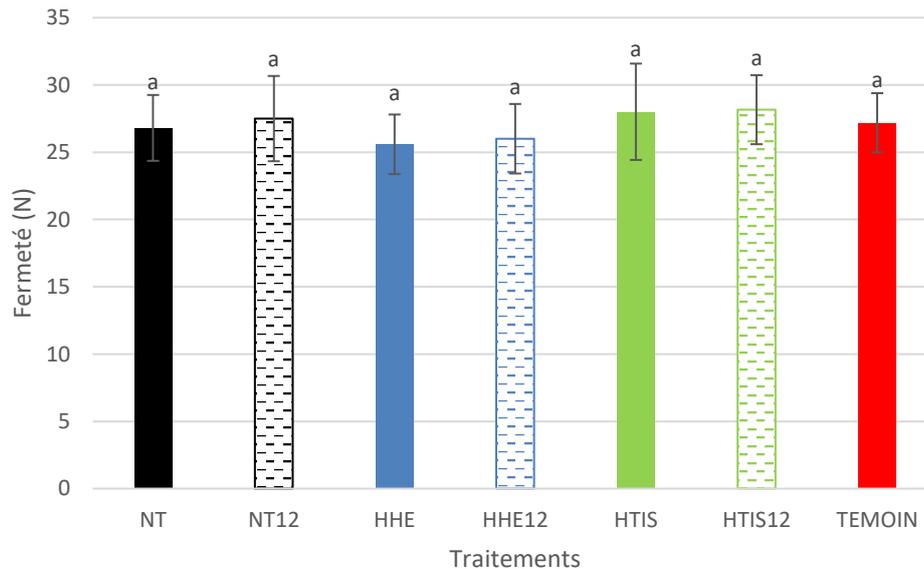


Figure 45 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non puis à la tisane ou huile essentielle de *Ocimum* sur la fermeté des tomates. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈ 27 °C). Tous les échantillons ont été analysés dès qu'ils ont atteint le stade rouge. **NT** : non traité ; **NT12** : non traité et conservé à 12°C ; **HHE** : traité à l'hexanal + huile essentielle de *Ocimum* ; **HHE12** : traité à l'hexanal + huile essentielle de *Ocimum* et conservé à 12°C ; **HTIS** : traité à l'hexanal + tisane de *Ocimum* ; **HTIS12** : traité à l'hexanal + tisane de *Ocimum* et conservé à 12°C. Les données représentent la moyenne \pm SE de 5 répétitions. Les valeurs statistiquement significatives ($p < 0,05$) sont désignées par des lettres.

7. Effet des traitements sur la matière sèche des tomates stockées à 12 °C et à température ambiante (27 ± 2 °C)

La matière sèche est présentée à la **figure 46**. Le pourcentage de matière sèche varie entre 5,14 et 5,29 %. Quel que soit le traitement et la température de stockage, il n'y a aucune différence significative entre les taux de matière sèche des tomates traitées et celui du témoin.

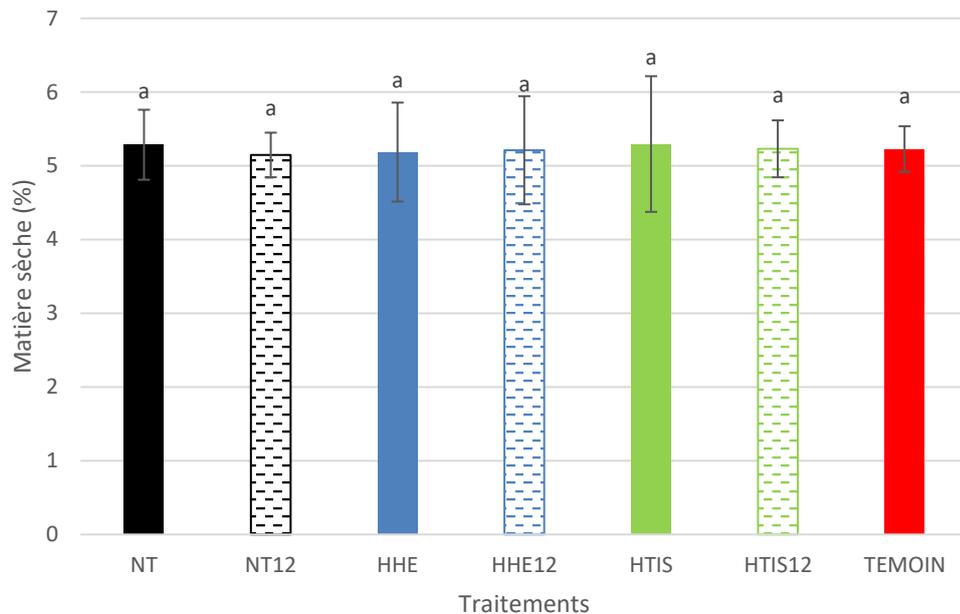


Figure 46 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non puis à la tisane ou huile essentielle de *Ocimum* sur la matière sèche des tomates. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈ 27 °C). Tous les échantillons ont été analysés dès qu'ils ont atteint le stade rouge. **NT** : non traité ; **NT12** : non traité et conservé à 12°C ; **HHE** : traité à l'hexanal + huile essentielle de *Ocimum* ; **HHE12** : traité à l'hexanal + huile essentielle de *Ocimum* et conservé à 12°C ; **HTIS** : traité à l'hexanal + tisane de *Ocimum* ; **HTIS12** : traité à l'hexanal + tisane de *Ocimum* et conservé à 12°C. Les données représentent la moyenne \pm SE de 5 répétitions. Les valeurs statistiquement significatives ($p < 0,05$) sont désignées par des lettres.

8. Evolution de la maturation au cours de la conservation à 12 °C et à température ambiante (27 ± 2 °C)

L'évolution de la maturité des tomates est présentée à la **figure 47**. Les tomates traitées et stockées à température ambiante (27 °C) ont atteint leur maturité plus rapidement (environ une semaine) que celles conservées à 12°C (environ 3 semaines). Pour les tomates à température ambiante NT et HHE ont atteint la maturité (6^e jour) avant HTIS (9^e jour). Quant aux tomates conservées à 12 °C, NT12 a atteint la maturité (18^e jour) avant HHE12 et HTIS (21^e jour). Les valeurs de maturité commencent à 1,34 au début de la conservation jusqu'à atteindre 0 au cours du temps.

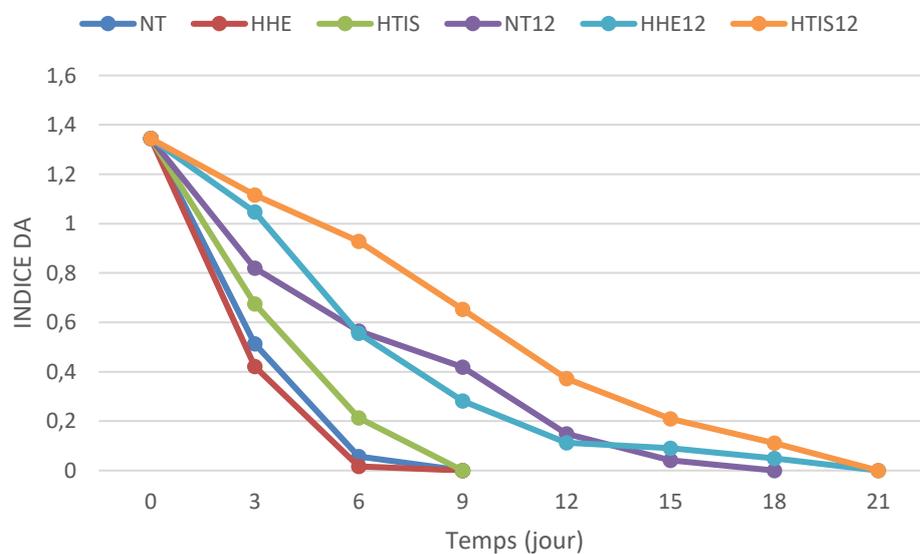


Figure 47 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non puis à la tisane ou huile essentielle de *Ocimum* sur la maturation des tomates. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈ 27 °C). Tous les échantillons ont été analysés dès qu'ils ont atteint le stade rouge. *NT* : non traité ; *NT12* : non traité et conservé à 12°C ; *HHE* : traité à l'hexanal + huile essentielle de *Ocimum* ; *HHE12* : traité à l'hexanal + huile essentielle de *Ocimum* et conservé à 12°C ; *HTIS* : traité à l'hexanal + tisane de *Ocimum* ; *HTIS12* : traité à l'hexanal + tisane de *Ocimum* et conservé à 12°C. Les données représentent la moyenne \pm SE de 5 répétitions. Les valeurs statistiquement significatives ($p < 0,05$) sont désignées par des lettres.

9. Perte de masse au cours de la conservation à 12 °C et à température ambiante (27 ± 2 °C)

La **figure 48** présente la perte de masse en gramme au cours de la conservation des tomates. Les tomates ont toutes subi une perte de masse au cours du temps. La perte de masse est comprise entre -0,2 et 8 %. Les mesures pour les tomates à température ambiante se sont arrêtées au bout de 12 jours et celles conservées à 12 °C au bout de 30 jours.

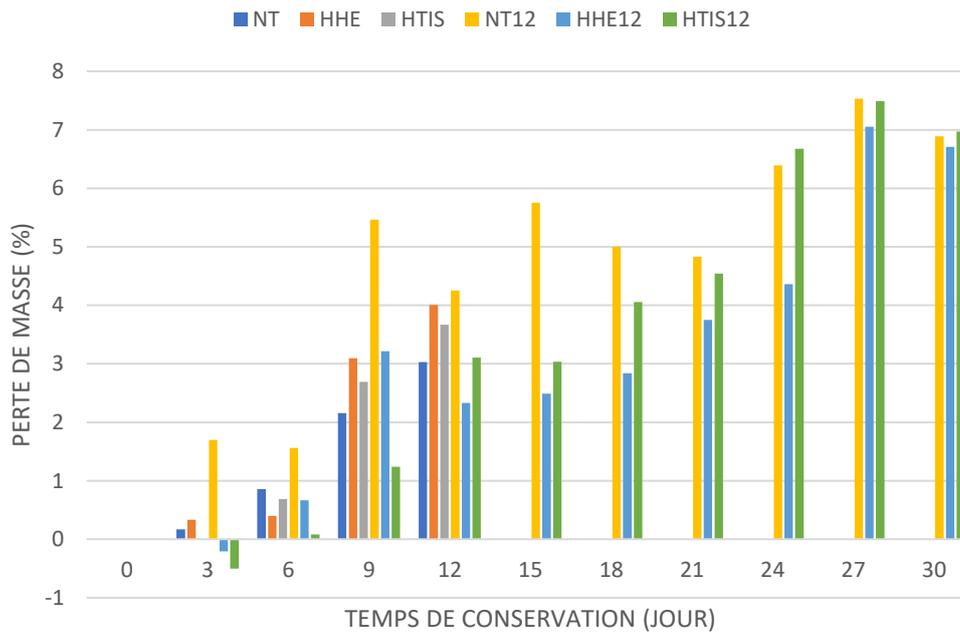


Figure 48 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non puis à la tisane ou huile essentielle de *Ocimum* sur la perte de masse des tomates. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈ 27 °C). Tous les échantillons ont été analysés dès qu'ils ont atteint le stade rouge. **NT** : non traité ; **NT12** : non traité et conservé à 12°C ; **HHE** : traité à l'hexanal + huile essentielle de *Ocimum* ; **HHE12** : traité à l'hexanal + huile essentielle de *Ocimum* et conservé à 12°C ; **HTIS** : traité à l'hexanal + tisane de *Ocimum* ; **HTIS12** : traité à l'hexanal + tisane de *Ocimum* et conservé à 12°C. Les données représentent la moyenne \pm SE de 5 répétitions. Les valeurs statistiquement significatives ($p < 0,05$) sont désignées par des lettres.

10. Quantité d'eau perdue par les tomates au cours de la conservation à 12 °C et à température ambiante (27 ± 2 °C)

Au cours de la conservation, les tomates ont perdu de la masse qui se traduit par une perte en eau. La quantité d'eau perdue au cours de la conservation des tomates est présentée par la **figure 49**. La perte d'eau se situe entre 0 et 5,30 g. Dans l'ensemble, il y a une augmentation progressive de la perte en eau au cours de la conservation. Pour les tomates à 12 °C traitées à l'hexanal + tisane (HTIS) et à l'hexanal + huile essentielle (HHE) de *O. gratissimum*, il y a une augmentation de la quantité d'eau les 3 premiers jours avant le début de perte à partir du 6^{ième} jour de conservation. Pour tous les lots de tomates traitées, il n'y a pas de perte à croissance linéaire. Il y a parfois une baisse suivie d'une augmentation. Les courbes des pertes se traduisent par une forme en dents de scie.

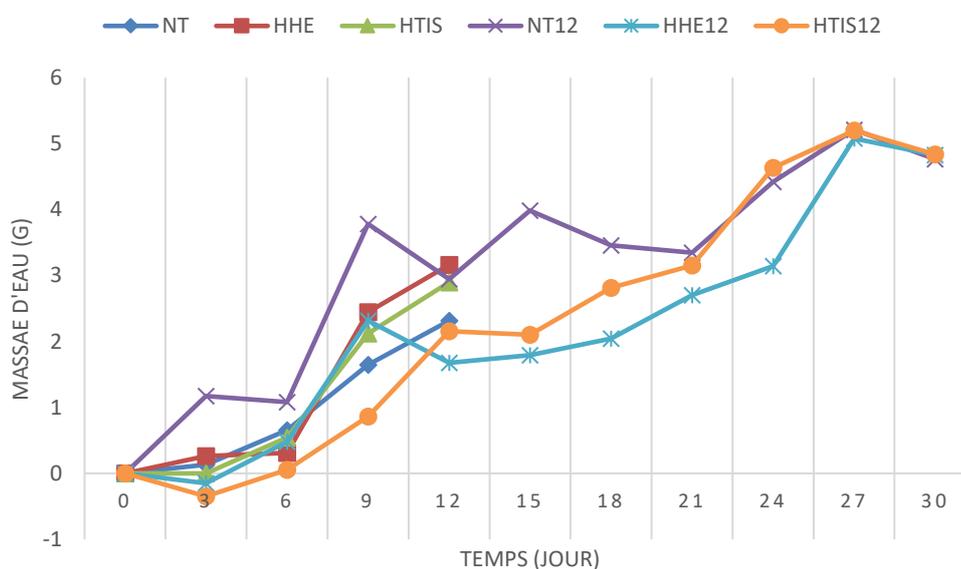


Figure 49 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non puis à la tisane ou huile essentielle de *Ocimum* sur la quantité d'eau perdue des tomates. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈ 27 °C). Tous les échantillons ont été analysés dès qu'ils ont atteint le stade rouge. *NT* : non traité ; *NT12* : non traité et conservé à 12°C ; *HHE* : traité à l'hexanal + huile essentielle de *Ocimum* ; *HHE12* : traité à l'hexanal + huile essentielle de *Ocimum* et conservé à 12°C ; *HTIS* : traité à l'hexanal + tisane de *Ocimum* ; *HTIS12* : traité à l'hexanal + tisane de *Ocimum* et conservé à 12°C. Les données représentent la moyenne \pm SE de 5 répétitions. Les valeurs statistiquement significatives ($p < 0,05$) sont désignées par des lettres.

11. Comparaison de la couleur des tomates devenues rouge en conservation avec celles devenues rouge en champ

Le **tableau 9** présente les différents paramètres de couleur mesurés sur les tomates devenues rouge en conservation après traitement. Les résultats sont confrontés au témoin. Seuls les traitements HTIS12 et HHE12 ont un angle de teinte statistiquement identique au témoin. Au niveau de la coloration rouge, seules les tomates traitées et conservées à température ambiante ont une coloration identique au témoin.

Tableau 9 : effet du traitement par trempage post-récolte des fruits de tomate dans une formulation à l'hexanal ou non puis à la tisane ou huile essentielle de *Ocimum* et stockés à 12 et 27 °C, sur les paramètres de couleur.

Traitements	L*	a*	b*	C*	H*
HHE	33,65±1,12 ^a	24,66±0,77 ^c	29,76±1,46 ^{ab}	38,60±0,83 ^b	50,31±2,07 ^a
HHE12	29,27±1,45 ^{cd}	28,42±1,28 ^{ab}	29,60±1,91 ^b	41,00±2,13 ^a	46,15±0,98 ^{bc}
HTIS	34,09±3,29 ^a	23,74±3,73 ^c	29,62±3,45 ^{bc}	38,25±1,45 ^b	51,16±7,14 ^a
HTIS12	30,34±1,63 ^{bc}	29,04±1,46 ^a	31,63±2,20 ^a	42,98±2,22 ^a	47,42±1,86 ^b
NT	32,40±1,50 ^a	23,60±2,38 ^c	29,30±2,41 ^{bc}	37,68±2,04 ^b	51,11±4,03 ^a
NT12	27,83±2,00 ^d	27,33±1,36 ^b	27,55±2,21 ^{cd}	38,77±2,44 ^b	45,16±1,46 ^c
TÉMOIN	30,58±1,82 ^b	23,49±1,59 ^c	25,09±2,84 ^d	34,41±2,92 ^c	46,77±2,39 ^b

*L** = luminosité, *a** = du vert au rouge, *b** = du bleu au jaune, *C** = Chroma, *H** = angle de teinte (Hue)
NT : non traité ; **NT12** : non traité et conservé à 12 °C ; **HHE** : traité à l'hexanal + huile essentielle de *Ocimum* ; **HHE12** : traité à l'hexanal + huile essentielle de *Ocimum* et conservé à 12 °C ; **HTIS** : traité à l'hexanal + tisane de *Ocimum* ; **HTIS12** : traité à l'hexanal + tisane de *Ocimum* et conservé à 12°C. Les données présentées sont la moyenne ± l'écart type et les valeurs statistiquement significatives ($p < 0,05$) dans les colonnes sont désignées par des lettres.

12. Taux d'infection des tomates au cours de la conservation à 12 °C et à température ambiante (27 ± 2 °C)

Le pourcentage de tomates infectées lors de la conservation est présenté à la **figure 50**. Les tomates conservées à température ambiante sont celle qui ont été atteinte le plus rapidement par les pathogènes.

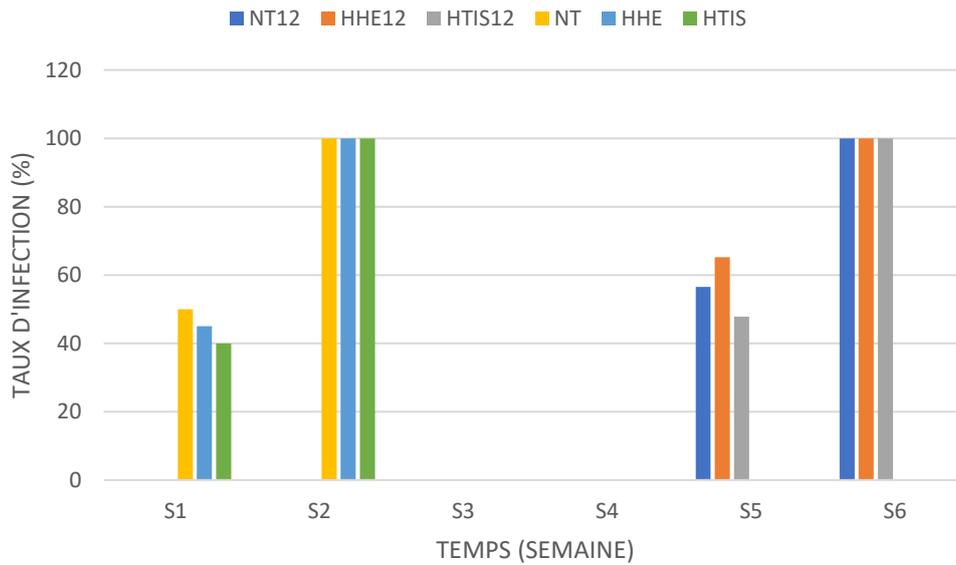
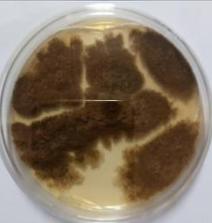


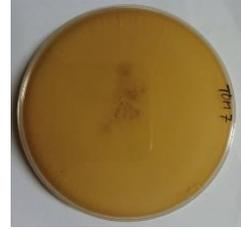
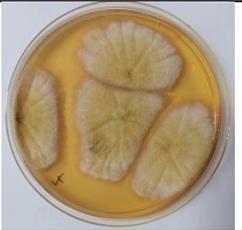
Figure 50 : effet du traitement par trempage post-récolte à l'hexanal ou non puis à la tisane ou huile essentielle de *Ocimum* sur le taux d'infection au cours de la conservation des tomates. Les tomates ont été conservées à 12 °C et à température ambiante (≈27°C). Tous les échantillons ont été analysés dès qu'ils ont atteint le stade rouge. *NT* : non traité ; *NT12* : non traité et conservé à 12°C ; *HHE* : traité à l'hexanal + huile essentielle de *Ocimum* ; *HHE12* : traité à l'hexanal + huile essentielle de *Ocimum* et conservé à 12°C ; *HTIS* : traité à l'hexanal + tisane de *Ocimum* ; *HTIS12* : traité à l'hexanal + tisane de *Ocimum* et conservé à 12°C.

13. Microorganismes isolés des tomates au cours de la conservation à 12 °C et à température ambiante (27 ± 2 °C)

Le **tableau 10** présente les microorganismes isolés lors de la conservation des tomates à température ambiante et à 12 °C. Plusieurs microorganismes de natures et de reliefs différents ont été isolés. Parmi ces microorganismes, *Alternaria* et *Penicillium* ont été identifiés.

Tableau 10 : microorganismes isolés des tomates traitées à l'hexanal et *Ocimum* (huile ou tisane) ayant été infectées au cours de la conservation

RECTO	VERSO	Relief de la culture	Aspect de la culture	Présence de sillons	Description de l'apparence générale
		Le relief de la culture est plat avec un centre bombé	Culture granuleuse de couleur jaune orangé avec une mince couche noirâtre à l'extrémité. Le revers de la culture est incolore. Cette souche produit des sclérotés.	Absence	Bonne croissance sur gélose Sabouraud au Chloramphénicol.
		Relief plat	Mycélium vert clair, cotonneux, avec un centre vert foncé à noir. Le revers de la culture est de couleur incolore	Absence	La croissance de cette espèce était moyenne (<i>Penicillium</i>)
		Le relief de la culture est plat avec un centre bombé	Culture granuleuse de couleur jaune orangé avec une mince couche noirâtre à l'extrémité. Le revers de la culture est incolore.	Absence	Bonne croissance sur gélose.
		Le thalle aplati	Un aspect cotonneux, blanc et poudré de noir. Le revers de la boîte est gris.	Absence	Une croissance moyenne (<i>Alternaria</i>)

RECTO	VERSO	Relief de la culture	Aspect de la culture	Présence de sillons	Description de l'apparence générale
		Le relief de la culture est plat avec un centre bombé	Culture lisse de couleur blanche. Le revers de la culture est incolore.	Absence	Bonne croissance sur gélose Sabouraud au Chloramphénicol
		Le relief est plat	Cultures organisées en plusieurs petits amas de couleur beige avec un centre noir pour chaque amas. Le revers des boites est incolore	Absence	Bonne croissance sur gélose Sabouraud au Chloramphénicol
		Le relief est plat	Cultures insulaires organisées en plusieurs amas compactes de couleur jaune beige. Le revers des boites est incolore	Absence	La culture a une structure arborissante avec une vitesse de croissance moyenne.
		Le relief de la culture est plat avec un centre bombé	Culture de couleur blanche. Le revers de la culture est incolore.	Absence	Vitesse de croissance moyenne.

II. DISCUSSION

La couleur des tomates est l'un des facteurs les plus importants qui déterminent l'acceptation et l'achat par le consommateur. Les tomates sont généralement consommées à leur qualité organoleptique maximale, c'est-à-dire lorsque la couleur rouge apparaît mais avant qu'un ramollissement excessif ne se produise (**López et Gómez, 2004**). Dans le cas de cette étude la couleur des tomates utilisées est le rouge à maturité finale. En effet les tomates ont été récoltées au stade Breaker puis traitées et suivies au cours de la conservation jusqu'à atteindre le stade rouge. Les tomates stockées à température ambiante ont viré au rouge plus rapidement que celles à 12°C. Des résultats similaires ont été obtenus par **Gebregziabher et al., (2021)** où le changement de la couleur rouge du fruit était plus rapide à 25 °C qu'à 16 °C. L'angle de teinte (h°) avait des valeurs comprises entre 45 et 50,5. L'analyse statistique a montré que seul HH12 et HTIS12 avait des angles de teinte égaux à celui du témoin. Des résultats similaires ont été obtenus par **Pak Dek et al., (2018)** et **Tiwari et Paliyath, (2011)**, où les tomates étaient traitées avec de l'hexanal et de FFA (Formulation de la fraîcheur améliorée) à 1 % d'hexanal, appliqués au stade post-récolte ont développé une couleur rouge similaire à celle du contrôle pendant la période de stockage. **Rahman et al., (2019)**, ont obtenu la valeur minimum de 53,7, indiquant une couleur rouge complète de leurs tomates, ce qui n'est pas en accord avec nos résultats. Par ailleurs selon **Babu et al., (2018)** l'angle de teinte doit être supérieur à 40 (stade de surmaturité), cela est en accord avec nos résultats quel que soit le traitement et la température de conservation. Le changement de couleur du fruit pendant la maturation de la tomate est dû à la dégradation de la chlorophylle et à la synthèse des caroténoïdes (**Park et al., 2018**). L' I_{AD} (maturation) a été mesuré pour déterminer la teneur en chlorophylle immédiatement sous la peau pendant la maturation. Les valeurs étaient comprises entre 0 et 1,4, avec 1,34 comme teneur de départ pour toutes les tomates avant traitement et conservation. Les tomates traitées et conservées à température ambiante ont eu toutes leur chlorophylle dégradée (9^e jour) avant celles conservées à 12°C (18^e jour pour NT12 et 21^e pour HHE12, HTIS12). **Rahman et al., (2019)** ont obtenu L' I_{DA} le plus élevé, qui indique la teneur maximale en chlorophylle, était de 1,05 pour la tomate mature pré-optimale récoltée à 21 jours après la mise à fruit, puis il a diminué progressivement pour atteindre l' I_{DA} nul dans les tomates rouge clair et rouges mûres récoltées à 29 et 31 jours après la mise à fruit, respectivement. Ces résultats sont approximativement identiques aux résultats de cette étude.

La perte d'eau est l'un des principaux facteurs qui contribuent à la détérioration des fruits et à leur perte de valeur marchande. Comme la perte d'eau est irremplaçable une fois que le fruit a

été récolté, la transpiration représente une perte économique dans l'industrie des supermarchés, car elle entraîne une perte de masse vendable (**Chakraverty et al., 2003**). La perte de masse peut être causée par l'activité de la polygalacturonase (PG), l'enzyme qui augmente la perméabilité de la paroi cellulaire, augmentant ainsi la transpiration (**Ferreira, 2004**). Selon **Loro et al., (2018)**, il est donc important de quantifier ce paramètre pour évaluer la qualité du produit pendant le stockage. Une perte de masse de 10 % peut rendre une large gamme de cultures horticoles inacceptables pour la vente et constitue le seuil d'acceptabilité pour la qualité des produits frais (**Robinson et al., 1975 ; Acedo, 1997**). La perte de masse de tous les traitements au cours de cette étude était inférieure à 10 %, ces résultats sont en accord avec ceux de **Mthembu (2020)** pour ses fruits non traités et traités au stade de la transformation. Le taux de matière sèche des tomates traitées et conservées ainsi que du témoin était compris entre 5 et 5,5. L'analyse statistique n'a montré aucune différence significative entre les traitements et le témoin. Les résultats de cette étude sont supérieurs à ceux de **Baldina et al., (2016)** qui rapportent une gamme de matière sèche comprise entre 4,76 et 5,20 g/100 g de poids corporel sur quinze variétés italiennes de tomates soumises à une caractérisation. Selon **Serio et al., (2004)** et **Barbagallo et al., (2008)** une teneur élevée en matière sèche dans les fruits de tomate est considérée comme un trait de bonne qualité. Cela pourrait signifier que toutes les tomates (quel que soit le traitement et la température de conservation) ainsi que notre témoin sont de bonne qualité. En ce qui concerne la fermeté, les résultats n'ont montré aucune différence significative avec le témoin pour tous les traitements. En effet les valeurs étaient comprises entre 25 et 30 N. **Kabir et al., (2020)**, ont obtenu des fermetés de 20,49 N après 15 jours de conservation de tomates rouges dans une serre à 18 °C ; les résultats de cette étude sont supérieurs. La teneur en sucre soluble, l'acidité, l'indice de maturité et l'indice du goût sont des paramètres qui sont en rapport avec l'acceptabilité et le caractère organoleptique de la tomate. L'indice de goût était compris entre 0,9 et 1,1. Selon **Hernandez et al., (2007b)** lorsque les valeurs moyennes de l'indice de goût de toutes les tomates appartenant à tous les cultivars considérés sont supérieures à 0,85, cela indique que les cultivars de tomates analysés sont savoureux. Les tomates de nos essais pourraient être considérées comme savoureuses. L'acidité contribue à la fois au goût et à la sécurité alimentaire car elle empêche l'altération des aliments par les micro-organismes. Il a été signalé que les tomates dont le pH est inférieur à 4,5 sont souhaitables car ce faible pH empêcherait la prolifération des micro-organismes dans le produit final pendant la transformation industrielle (**Giordano, 2000**). Cependant, dans notre étude les valeurs de pH étaient comprises entre 3,4 et 4,1, et malgré les traitements antifongiques nous avons observé la prolifération des microorganismes durant la conservation. En effet la **tableau 2**

présente les figures et la description des différents microorganismes isolés au cours de la conservation. Les microorganismes isolés malgré le traitement pourraient être dus à d'autres facteurs qui influenceraient la conservation des tomates ou à la non-efficacité du traitement *in vivo* sur les fruits de la tomate. La dernière raison sera celle qui va conduire à des essais de traitement pré-récolte de la tisane de *O. gratissimum* sur des plants de tomates.

III. CONCLUSION

Les différents traitements effectués sur la tomate avaient pour but de prolonger la conservation et d'inhiber le développement de pathogènes sur les tomates en conservation. En effet, l'application du biofongicide *O. gratissimum* avait pour rôle de contrôler voire empêcher le développement des microorganismes responsables de la dégradation des tomates en post-récolte. Il y a un effet de la tisane et de l'huile essentielle sur la perte de masse alors que cela n'est pas le cas lorsque l'hexanal seul est utilisé pour les traitements (chapitre précédent). Mais les résultats ne sont pas concluants vu que plusieurs microorganismes se sont développés sur les tomates en conservation malgré les traitements. Ces pourritures étaient essentiellement localisées à l'intérieur de la tomate, ce qui pourrait être dû à une contamination depuis le champ. A cet effet, le chapitre 4 présentera les résultats des essais d'application de la tisane de *O. gratissimum* en pré-récolte.

Chapitre 4

EFFET DE LA TISANE DE *OCIMUM GRATISSIMUM* SUR
ALTERNARIA SOLANI EN PRE RECOLTE

L'utilisation d'Huile essentielle ou de tisane de *Ocimum gratissimum* n'étant pas efficace sur les fruits de tomate en post récolte du fait de l'infection des fruits dès la culture, il nous ait apparu nécessaire de réaliser des traitements pré-récolte afin de limiter la charge fongique durant la culture de la tomate. Par ailleurs, nous avons observés durant nos visites de parcelle, une prédominance de l'alternariose causée par l'agent infectieux *Alternaria solani*. Ce champignon pathogène, est susceptible de produire des mycotoxines nocives pour le consommateur. Dans ce chapitre, nous présentons les essais que nous avons réalisés sur des plants de tomates « ananas » sensibles à l'alternariose. Après avoir vérifié que *Alternaria solani* était sensible à *Ocimum gratissimum* in vitro, les feuilles de plants de tomates ont été traitées par la tisane d'*ocimum* soit en mode de prévention (avant inoculation du champignon) soit en mode curatif (après inoculation).

I. RESULTATS

1. Effet de la tisane de *O. gratissimum* sur la croissance *in vitro* de *Alternaria solani*

Les résultats de la mise en évidence de la tisane à chaud de *O. gratissimum* sur *Alternaria solani* à différentes concentrations (50, 60 et 70 %) sont présentés à la **figure 51**. Le pourcentage d'inhibition augmente en fonction de l'augmentation de la concentration de la tisane de *O. gratissimum* dans le milieu de culture. En effet les concentrations sont de 50, 60 et 70 % avec des pourcentages d'inhibition de 48,46 ; 60,78 et 90,19 % respectivement.

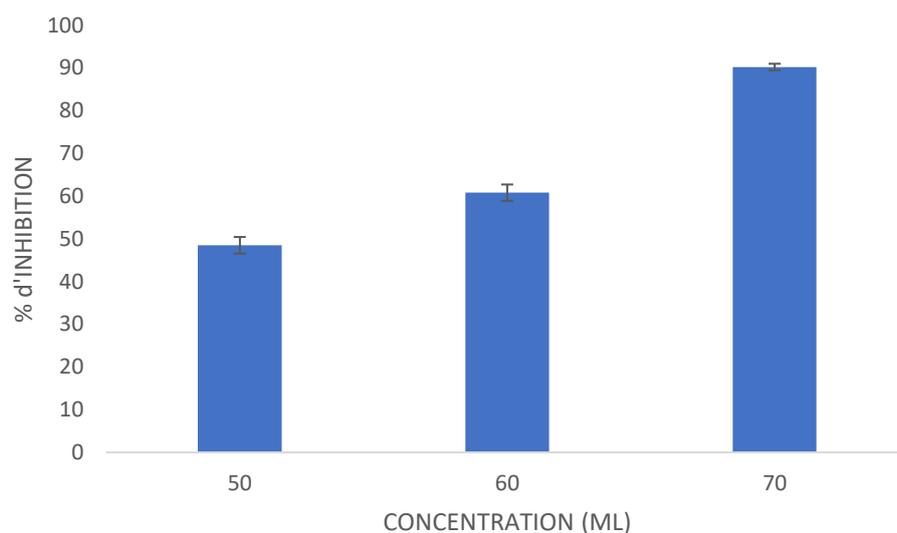


Figure 51 : effet de la tisane de *O. gratissimum* sur la croissance *in vitro* d'*Alternaria solani* au septième jour de traitement. Les données représentent la moyenne +/- SE de 5 répétitions. Les valeurs statistiquement significative ($p < 0,05$) sont désignées par des lettres.

2. Effet de la tisane de *O. gratissimum* sur la croissance *in situ* de *Alternaria solani*

L'effet de la tisane de *O. gratissimum* sur la croissance *in situ* de *Alternaria solani* est présenté dans le **tableau 11**. Les résultats sont présentés au 10^e et 15^e jour après l'inoculation et le traitement. Les différents traitements étaient curatif et préventif en confrontation avec le témoin n'ayant subi aucun traitement.



Tableau 11 : effet du traitement *in situ* de la tisane chaude de *Ocimum* à la concentration de 70 % sur l'alternariose causé par *Alternaria solani* sur les feuilles de tomates après 10 et 15 jours d'inoculation.

	Témoin	Curatif	Préventif
10 jours apres inoculation			
15 jours apres inoculation			

3. Effet de la tisane de *O. gratissimum* sur la croissance *in planta* de *Alternaria solani*

Le **tableau 12** présente les résultats de la mise en évidence de la tisane de *O. gratissimum* sur la croissance *in planta* de *Alternaria solani* sur les plants de tomate. Deux traitements ont été effectués sur les plants de tomates, à savoir le traitement curatif et le traitement préventif. Les plants traités ont été confrontés à des plants qui n'ont reçu aucun traitement



Tableau 12 : effet du traitement *in planta* de la tisane chaude de *Ocimum* à la concentration de 70 % sur l'alternariose causé par *Alternaria solani* sur les plants de tomates après 10 et 15 jours d'inoculation.

	Témoin	Curatif	Préventif
10 apres inoculation			
15 jours apres inoculation			

II. DISCUSSION

L'activité de la tisane de *O. gratissimum* a été mise en évidence sur la croissance de *Alternaria solani*. En effet, en *in vitro* la croissance de *Alternaria* est inhibée en fonction de la concentration de la tisane de *O. gratissimum*. Nous avons observé que plus la concentration augmentait, plus la croissance de *Alternaria* était retardée dans le milieu de culture. Des effets similaires de divers autres extraits de végétaux (feuille de Zimou, marjolaine de Syrie, roselle, sauge greque, romarin, coton lavande, neem, basilic...), efficaces contre *Alternaria spp.*, ont été rapportés par plusieurs auteurs (**Latha et al., 2009 ; Goussous et al., 2010 ; Nashwa et Abo-Elyousr, 2012**). La concentration efficace de *O. gratissimum* qui inhibe la croissance de *Alternaria* a été de 700 mL/L. En effet, à cette concentration, 90.19 % d'inhibition ont été obtenues. Selon **Finney, 1971 ; Paranagama et al., (2003)**, un extrait est considéré très actif, lorsqu'il possède une inhibition comprise entre 75 et 100 % et la souche fongique est dite très sensible. L'extrait, à 700 mL/L, pourrait être considéré très actif pour inhiber la croissance de *Alternaria solani*. Cela se vérifie avec l'extrait à la dose 600 mL/L. la sensibilité de *Alternaria solani* à l'extrait aqueux de *O. gratissimum* commencerait donc à la dose de 600 mL/l de traitement. L'activité antifongique des extraits de feuilles de *O. gratissimum gratissimum* sur d'autres microorganismes a été prouvée dans ce travail mais également par d'autre auteurs. En effet, **Oussou et al., (2004) ; Soro et al., (2011)** ont montré l'efficacité de l'huile essentielle, sur 14 bactéries et sur *Fusarium oxysporum* f. sp. *Radici-lycopersici* respectivement.

Dans les essais *in planta* et *in situ*, on remarque que la tisane de *O. gratissimum* a empêché la croissance de *Aletrnaria* sur les feuilles avec le traitement préventif, et cela pendant plusieurs jours malgré le nombre de traitement. En effet sur 15 jours il n'y a eu qu'un seul traitement qui pourrait être efficace vue qu'on n'a pas observé la croissance de *Alternaria*. L'extrait aqueux de *O. gratissimum* à la concentration de 700 mL/L pourrait être efficace dans le traitement des tomates pour la prévention des maladies causé par *Alternaria*. Outre son pouvoir antifongique, *O. gratissimum* peut être utilisée comme insecticide. En effet, **Dossa (2018)**, dans son étude sur l'utilisation des extraits aqueux du genre *O. gratissimum* pour la gestion des principaux ravageurs de la grande morelle a démontré que les extraits aqueux de la tige et feuille fraîche de *O. gratissimum* et de *O. basilicum* à 10 % permettent de réduire de 44 à 100 % le développement des insectes ravageurs de la grande morelle en condition de champ. Aussi, les extraits ou huiles essentielles de *O. gratissimum*, *O. basilicum* et *O. sanctum* L. ont été identifiés comme perturbateurs de ponte de plusieurs familles d'insectes nuisibles telles que

Dryophthoridae, Curculionidae, Bostrichidae, Tenebrionidae et Bruchidae (**Asawalam et al., 2008 ; Ogendo et al., 2008 ; Kiradoo et Srivastava, 2010**). Ainsi, selon **Yarou (2018)** l'emploi des huiles essentielles de *O. basilicum* et *O. gratissimum* sur les plants de tomate perturbe l'oviposition des femelles de *Tuta absoluta* (Lepidoptera ; Gelechiidae).

III. CONCLUSION

Les résultats montrent que la tisane de *O. gratissimum* peut être utilisée en traitement préventif pour le traitement des plants de tomates contre l'alternariose. En effet à la dose de 700 mL/L, la croissance de *Alternaria solani* est inhibée.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Le principal objectif de ce travail était de développer et proposer aux opérateurs de la filière tomate des techniques de conservation innovantes et adaptées à leur contexte de production. Afin d'améliorer la conservation des tomates, nous avons testé le stade de récolte, l'effet de la température, l'hexanal seul ou combiné avec *Ocimum gratissimum*. Il ressort de notre étude que le stade de maturité approprié pour la conservation de la tomate est le stade Breaker et la température permettant de conserver au mieux les tomates est de 12°C. Contrairement à nos attentes, l'hexanal combiné ou non au bio-fongicide (*Ocimum*) n'a pas eu d'effet sur la conservation à l'état frais des tomates. Cependant, nous avons montré qu'*Ocimum gratissimum* est un antifongique naturel qui a des effets inhibiteurs sur la croissance *in vitro* de *Alternaria solani*, *Fusarium oxysporium* et *Botrytis cinerae*. Les essais de mise en évidence *in planta* et *in situ* ont montré que *Ocimum gratissimum* peut être utilisé en traitement préventif sur les plants de tomates.

. Ainsi, il est envisagé les études ci-dessous en perspectives :

- L'analyse chimique de la tisane et de l'huile essentielle d'*Ocimum gratissimum* pourrait nous donner des pistes sur les principes actifs et le mode de protection préventive.
- Il apparaît nécessaire d'améliorer la formulation de la tisane afin de la rendre plus efficace et qu'elle puisse agir au niveau des fruits.
- Des études phytosanitaires sur le traitement des plants de tomates avec l'application de la tisane de *Ocimum gratissimum* en plein champs sont à envisager
- Enfin, la mise à disposition de la tisane de *Ocimum* aux producteurs de la tomate est également à envisager.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abedi G., and Ahmadi E., (2014): Bruise susceptibilities of Golden Delicious apples as affected by mechanical impact and fruit properties. *J. Agr. Sci.* **152**: 439–447.

Abedi, G. et Ahmadi, E., (2014): Bruise susceptibilities of Golden Delicious apples as affected by mechanical impact and fruit properties; *The Journal of Agricultural Science*, **152**: 439 – 447.

Acedo A.L. (1997): Storage life of vegetables in simple evaporative coolers. *Trop. Sci.* **37** :169-175.

Adepoju, A. O., Joseph, O. A. T., and Grace, F.-A. A. (2014): Antifungal activities of seed oil of neem (*Azadirachta indica* A. Juss.). *Global Journal of Biology, Agriculture & Health Sciences.* **3**:106–109.

Aissata K. (2009) : Etat sanitaire de la culture de la tomate sous serre et étude épidémiologique de *Botrytis cinerea* (agent de la pourriture grise), thèse. Université FERHAT, Abbas Sétif.106p.

Ajouz S., (2009) : Estimation du potentiel de résistance de *Botrytis cinerea* à des biofongicides. Sciences agricoles. Thèse, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, France, 213 p.

ALTER AGRI (2008) : stockage et conservation des récoltes en agriculture biologique, dossier, 12 p.

Altieri, M.A., Nicholls, C.I., & Fritz, M.A., (2005): Manage insects on your farm: a guide to ecological strategies. Sustainable Agriculture Network, Beltsville, MD.

Anderson R. E. (1957): factors affecting the acidic constituents of the tomato. Ph.D thesis, Univ. of Illinois 110 p.

Anjarwalla P., Belmain S., Sola P., Jamnadass R., Stevenson P. C., (2016): Handbook on pesticidal plants, Optimization of Pesticidal plants: Technology Innovation, Outreach & Networks (OPTIONS), World Agroforestry Centre (ICRAF), Nairobi, Kenya, 68 p.

Anthony, G. E., Strange. M. L. and Barrett, M. D. (2011): Changes in pH, acids, sugars and other quality parameters during extended vine holding of ripe processing tomatoes. *J. of Food Sci. and Agric.*, **93**: 98–109

- 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.
- Aoun A. B., Lechiheb B., Benyahya L. and Ferchichi A., (2013):** Evaluation of fruit quality traits of traditional varieties of tomato (*Solanum lycopersicum*) grown in Tunisia, *African Journal of Food Science*, 7: 350-354.
- Araujo J. C., Silva Paula P.M, Telhado S. F.P., Sakai R.H., Spoto M.H.F., Melo P.C.T. (2014):** Physicochemical and sensory parameters of tomato cultivars grown in organic systems. *Horticultura Brasileira*, 32: 205-209.
- Aravind G., Bhowmik D., Duraivel S., Harish G., (2013):** Traditional and Medicinal Uses of *Carica papaya*. *Journal of Medicinal Plants Studies*,1:7-15.
- Asawalam E., Emosairue S. & Hassanali A., (2008) :** Essential oil of *Ocimum gratissimum* (Labiatae) as *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) protectant. *African J. Biotechnol.* 7: 3771-3776.
- 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.
- Aubert C, Milhet C, (2007):** Distribution of the volatile compounds in the different parts of a white-fleshed peach (*Prunus persica* L. Batsch), *Food Chemistry* 102: 375–384.
- AUJARDIN (2021) :** Les différentes variétés de tomate, <https://www.aujardin.info/fiches/tomate-varietes.php> , consulté en 2021.
- Autio W. R., and William J. Bramlage W. J., (1986):** Chilling Sensitivity of Tomato Fruit in Relation to Ripening and Senescence, *American Society for Horticultural Science*, 111: 201-204.
- Babu R., Singh K., Jindal S.K., Jawandha S.K., Narsaiah K and. Alam M.S, (2018) :** storage behavior of modified atmosphere packed tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Treated with aqueous 1-methylcyclopropene, *Plant Archives* 18: 1809-1813.

Baldina S., Picarella M.E., Troise A.D., Pucci A., Ruggieri V., Ferracane R., Barone A., Fogliano V., Mazzucato A., (2016): Metabolite profiling of Italian tomato landraces with different fruit types. *Front. Plant Sci.*, 7, 664.

Baldwin E.A., Scott J.W., Einstein M.A., Malundo T.M.M., Shewfelt R.L., and Tandon, K.S. (1998): Relationship between sensory and instrumental analysis for tomato flavor. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **123**: 906-915

Barbagallo R.N., Chisari M., Branca F., Spagna G., (2008): Pectin methylesterase, polyphenol oxidase and physicochemical properties of typical long-storage cherry tomatoes cultivated under water stress regime. *J. Sci. Food Agric.*, **88**: 389–396.

Barry, C. and J. Giovannoni (2007): "Ethylene and fruit ripening." *Journal of Plant Growth Regulation* **26**: 143-159.

Barth M., Hankinson T. R., Zhuang H., Breidt F., (2009): Microbiological spoilage of fruits and vegetables Compendium of the microbiological spoilage of foods and beverages. *Springer*, 135-183.

Batu A (2004). Determination of acceptable firmness and colour values of tomatoes. *J Food Eng* **61**:471–475.

Bautista-Baños, S., Hernández-López, M., Bosquez-Molina, E., and 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**:1087–1092.

Beaulieu J.C. and Gorny J.R. (2001): “Fresh-Cut Fruits”. In *The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks, Agriculture Handbook Number 66*, Edited by: Gross, K.C., Saltveit, M.E. and Wang, C.Y. 1–49. Washington, DC : USDA, ARS.

Beckles, D.M. (2012): Factors Affecting the Postharvest Soluble Solids and Sugar Content of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 63, 129-140.

Biswas, K., Chattopadhyay, I., Banerjee, R.K., Bandyopahyay, U. (2002): Biological activities and medicinal properties of neem (*Azadirachta indica*). *Current Science*, **82** : 1336-1345.

Blancard D. (2013) : Marbrure physiologique des fruits (blotchy ripening), <http://ephytia.inra.fr/fr/C/5145/Tomate-Marbrure-physiologique-des-ruits>, consulté en 2021.

Boivin, G., (2001) : Parasitoïdes et lutte biologique : paradigme ou panacée ? Centre de Recherche et de développement en Horticulture, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Vertigo - La revue en sciences de l'environnement sur le web 2, <https://journals.openedition.org/vertigo/4096>.

Boller E. F., Avilla J., Jörg E., Malavolta C., Wijnands F. G., Esbjerg P. (2004): Guidelines for integrated production – principles and technical guidelines. Third edition. IOBC-WPRS Bull, 27 (2).

Brunner S., Fengler K., Morgante M., Tingey S. et Rafalski A. (2005) : Évolution des non-homologies de séquence d'ADN chez le maïs consanguin. *Cellule de plante*, **17**: 343–360.

Buechel T. (2021): Coir as a Component of Growing Media. PRO-MIX, 1-6. <https://www.pthorticulture.com/en/training-center/coir-a-component-of-growing-media/> , consulté en 2021.

Burdon J. N., (1997): Postharvest Handling of Tropical and Subtropical Fruit for Export. In : MITRA S. K. (Ed), Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits, CAB International, New York, N. Y., 1-20.

Causse M., Friguet C., Coiret C., Lépicié M., Navez B., Lee M., Holthuysen N., Sinesio F., Moneta E., and Grandillo S., (2010): Consumer Preferences for Fresh Tomato at the European Scale: A Common Segmentation on Taste and Firmness. *Journal of Food Science*, **75** : 531–541.

Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) (2013), http://www.cnra.ci/downloads/le_CNRA_201 consulté en 2021.

Chakraverty, A., Mujumdar, A. S., Ramaswamy, H. S. (2003): Handbook of postharvest technology: cereals, fruits, vegetables, tea, and spices (Vol. 93): CRC Press

Chanforan C., (2010) : Stabilité de microconstituants de la tomate (composés phénoliques, caroténoïdes, vitamines C et E) au cours des procédés de transformation : études en systèmes modèles, mise au point d'un modèle stoechio-cinétique et validation pour l'étape unitaire de

préparation de sauce tomate, thèse, UNIVERSITE D'AVIGNON ET DES PAYS DE VAUCLUSE, 399 p.

Chávez-Quintal P., González-Flores T., Rodríguez-Buenfil I., Gallegos-Tintore S., (2011): Antifungal Activity in Ethanolic Extracts of *Carica papaya* L. cv. Maradol Leaves and Seeds. *Indian Journal of Microbiology*, **51** :54-60.

Chávez-Quintal, P., González-Flores, T., Rodríguez-Buenfil, I., and Gallegos-Tintoré, S. (2011): Antifungal Activity in Ethanolic Extracts of *Carica papaya* L. cv. Maradol Leaves and Seeds. *Indian Journal of Microbiology*. **51**:54–60.

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.

Chero, M. J. S ; Zamora, W. R. M ; Chéro, J. A. S ; Villarreyes, S. S. C (2020) : Application du système de vision par ordinateur à la mesure des paramètres de couleur CIE L* a* B* des fruits. In *Advances in Artificial Intelligence, Software and Systems Engineering* ; Ahram, T., éd. ; Systèmes intelligents avancés et informatique ; *Springer* : Cham, Suisse, **1213** : 341–347.

Coll (2006): «Agrodok », Wageningen, 2006, p.105.

Collavino M.D. & Gimenez R.A. (2008): Efficacy of imidacloprid to témoin the tomato borer (*Tuta absoluta* Meyrick). *Idesia* (Chile) **26**: 65-72.

Correia A.W., Pope 3rd C.A., Dockery D.W., Wang Y., Ezzati M., Dominici F., (2013): Effect of air pollution témoin on life expectancy in the United States: an analysis of 545 U.S. counties for the period from 2000 to 2007, *Epidemiology*, **24**: 23-31

Crouch I., (2003): 1-Methylcyclopropene (Smartfresh™) as an alternative to modified atmosphere and témoinled atmosphere storage of apples and pears. *Acta Hort* ,**600**: 433-436.

Davies J.N., Hobson G.E., (1981): The constituents of tomato fruit - the influence of environment, nutrition, and genotype. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. **15**: 205-280.

De Castro, L. R., Cortez, L. A. and Vigneault, C. (2006): Effect of sorting, refrigeration and

packaging on tomato shelf life. *Journal of Food Agriculture and Environment* **4**:70-74.

De Oliveira, C. M., Ferreira, L. M., Do Carmo, M. G. F., & Coneglian, R. C. C. (2016): Influence of maturity stage on fruit longevity of cherry tomatoes stored at ambient and témoinled temperature. *Semina:Ciencias Agrarias*, **37** : 4027–4038

De Souza, A. L. B., Scalon, S. P. Q., Chitarra, M. I. F. and Chitarra, A. B. (1999): post-harvest application of CaCl₂ in strawberry fruits (*Fragaria ananassa* Dutch cv. Segnoia): Evaluation of fruit quality and post-harvest life. *Ciênc. e Agrotec. Lavras* **23**:841-848.

DeFilippi, B.G., Dandekar, A.M., and Kader, A.A., (2004): Impact of Suppression of Ethylene Action or Biosynthesis on Flavor Metabolites in Apple (*Malus domestica* Borkh.) Fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **52**: 5694-5701.

Deravel et al. (2013) Deravel, J., Krier, F., Jacques, P., 2013. Les biopesticides, compléments et alternatives aux produits phytosanitaires chimiques (synthèse bibliographique). (Fichier PDF) <http://www.pressesagro.be/base/text/v18n2/220.pdf> ; consulté en 2021.

Dharmarathna S., Wickramasinghe S., Waduge R., Rajapakse R., Kularatne S., (2013): Does Carica papaya leaf-extract increase the platelet count? An experimental study in a murine model. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, **3** :720- 724.

Djioua T., (2010) : Amélioration de la conservation des mangues 4ème gamme par application de traitements thermiques et utilisation d'une conservation sous atmosphère modifiée. Sciences agricoles. Université d'Avignon, 2010. France, 170 p.

Dodd S., Lieckfeldt E. & Samuels G., (2003) : *Hypocrea atroviridis* sp. nov., the teleomorph of *Trichoderma atroviride*. *Mycologia*, **95** : 27-40.

Dossa S. H., (2018) : Valorisation des plantes aromatiques dans la gestion intégrée des principaux insectes ravageurs de la Grande Morelle au Sud-Bénin : cas de *Ocimum gratissimum* et *O. basilicum*, Master, Gembloux Agro-Bio Tech, université de Liège, 69 p.

Doumbouya, M., Abo, K., Lepengue, A. N., Camara, B., Kanko, K., Aidara, D. & Koné, D. (2012) : Activités comparées *in vitro* de deux fongicides de synthèse et deux huiles essentielles, sur des champignons telluriques des cultures maraichères en Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Bioscience*, **50** : 3520-3532.

- Dozie-Nwakile O.C., Nwakile C.D., Onyemelukwe N.F., Aladenika S., Uchenna A.C. et Ugwu E.C., (2020)** : Antibacterial and Antifungal Effects of *Carica papaya* and *Cucurbita* specie Seed Extracts on *Escherichia coli* and *Aspergillus flavus*, *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*; **10**:189-195
- Dubey, N. K., Tiwari, T. N., Mandin, D., Andriamboavonjy, H., and Chaumont, J.-P., (2002)**: Antifungal proprieties of *ocimum gratissimum* essential oil (ethyl cinnamate chemotype). *Fitoterapia*. 71.
- Dudez P., Thémelin A., et Reynes M., (2022)** : Le séchage solaire à petite échelle des fruits et légumes : Expériences et procédés, Guide pratique, 157 p.
- El Kayal W., El-Sharkawy I., Dowling-Osborne C., Paliyath G., Sullivan J. A., Subramanian J., (2017)**: Efect of pre-harvest application of hexanal and growth regulators in enhancing shelf life and regulation of membrane associated genes in strawberry. *Can J Plant Sci*, **97** :1109–20
- Fandohan, P., Gnonlonfin, B., Laleye, A., Gbenou, J. D., Darboux, R., and 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.
- FAO (2009)** : rapport national sur l'état des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture, État des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture : Second rapport national, Côte d'Ivoire, 65 p.
- FAOSTAT. (2022)**. Food and Agriculture Organisation of the United Nations. Consultable à <http://faostat.fao.org> ,consulté en 2022.
- Fernandez S. R., Barreiros L., Oliveira R. F., (2019)**: Chemistry, bioactivities, extraction and analysis of azadirachtin: State of the art. *Fitoterapia* ; **134** : 141-150.
- Ferreira, S. M. R. (2004)** : Características de qualidade de tomate de mesa (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado nos sistemas convencional e orgânico comercializado na região metropolitana de Curitiba. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 249 p.

- Finney D. J. (1971):** Probit analysis. Cambridge University Press, 3e ed. 33 p.
- Frenkel C., and Jen J.J., (1989):** Tomatoes, *Quality and Preservation of Vegetable*, Edited by: Eskin, N.A.M. Boca Raton, FL: CRC Press, 53–73.
- Gabriel, M. F., Uriel, N., Teifoori, F., Postigo, I., Suñén, E., & Martínez, J. (2017):** The major *Alternaria alternata* allergen, Alt a 1: A reliable and specific marker of fungal contamination in citrus fruits. *International Journal of Food Microbiology*, **257**: 26-30
- Gebregziabher A. A., Supriyadi S., Indarti S., Setyowati L. (2021):** Texture Profile and Pectinase Activity in Tomato Fruit, (*Solanum lycopersicum*, Servo F1) at Different Maturity Stages and Storage Temperatures, *Planta Tropika: Jurnal Agrosains (Journal of Agro Science)* Vol. 9, 15 p.
- 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.
- Gillaspy G., Ben-David H., and Gruissem W. (1993).** Fruits: A Developmental Perspective. *Plant Cell* **5**: 1439-1451.
- Giordano L. B., Silva J. B. C., and Barbosa V., (2000):** Escolha de cultivars e plantio. In: Silva JBC and Guarding LB (org) *Tomatoe para processamento industrial*. Brasilia: Emrapa, CNPH, ,36-59.
- Giovannoni, J. J. (2004):** "Genetic regulation of fruit development and ripening." *Plant Cell* **16**: 170-180.
- GormLey T. R., Maher M. J., (1987):** The effect of re-compression on tomato fruit firmness. *Irish Journal of Food Science and Technology*, **11** : 175-178.
- Gwa VI, and 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**:8–16.

- Hamoir, J., Goret, M., Mignon, B., and Gustin, P., (2001)** : Actualité sur les antifongiques enregistrés en Belgique dans le cadre du traitement des dermatophytoses. *Ann. Med.Vet.* **145** :226-232
- Harker, F. R., Redgwell, R. J., Hallet, I. C., Murray, S. H., and Carter, G. (1997)**: Texture of fresh fruit. *Hortic. Rev.* **20**: 122–224.
- Hernández M., Rodríguez E. M., Díaz C., (2008)**: Chemical composition of tomato (*Lycopersicon esculentum*) from Tenerife, the Canary Islands. *Food Chem*, **106**: 1046–1056.
- Hernandez S. M., Rodriguez R. E., & Diaz R. C. (2007b)**: Analysis of organic acid content in cultivars of tomato harvested in Tenerife. *European Food Research and Technology*.
- Hilmi Z. A., Aloufi B. H., and Husam I. M. A., (2020)**: A Review on SARS-CoV-2: the origin, taxonomy, transmission, diagnosis, clinical manifestations, treatment and prophylaxis. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, **11** : 52- 66.
- Idah P. A., Ajisegiri, E. S. and Yisa, M. G., (2007)**: Fruits and vegetables handling and transportation in Nigeria. *Agricultural Journal*, **10**: 175-183.
- Intiaj, A., Rahman, S. A., Alam, S., Parvin, R., Farhana, K. M., Kim, S.-B., et al. (2005)**: Effect of Fungicides and Plant Extracts on the Conidial Germination of *Colletotrichum gloeosporioides* Causing Mango Anthracnose. *Mycobiology*. **33**:200.
- Ininahazwe, 2016 Jean de Dieu Ininahazwe Burundi** : Des agriculteurs découvrent une nouvelle technique de conservation des tomates <https://wire.farmradio.fm/fr/farmer-stories/burundi-des-agriculteurs-decouvrent-une-nouvelle-technique-de-conservation-des-tomates/> consulté le
- 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.
- Jones J. J., Zitter T. A., Momol T. M. & Miller S. A., (2014)**: Early Blight. Dans *Compendium of Tomato Diseases and Pests*. 2e éd. APS Press. The American Phytopathological Society Press, St-Paul,Minnesota.23-25.

Richard C., & Boivin G., (1994): Alternariose (taches zonées) de la tomate. Dans *Maladies et Ravageurs des Cultures Légumières au Canada*. La Société Canadienne de Phytopathologie et la Société d'Entomologie du Canada, Canada. p. 300-301 et 377.

Jourdheuil, P., Grison, P., et Fraval, A., (1991) : La lutte biologique, un aperçu historique. In Institut national de la recherche agronomique (INRA). *Le courrier de l'environnement de l'INRA*, 60 p.

Kabir Md., Shaha N., Mohammad A., Wang-Hee L., Seong-In C. and Sun-Ok Chung, (2020): Physicochemical Quality Changes in Tomatoes during Delayed Cooling and Storage in a Témoined Chamber, *Agriculture*, 10, 196.

Kader A. A. 1992: Post-harvest biology and technology: In: A.A. Kader (ed.) *Postharvest technology of horticultural crops*. University of California, *Agriculture and Natural Resources*, 3311:15-20.

Kader A. A., Morris L. L., Stevens M. A., Albright-Holton M., (1978): Composition and flavour quality of fresh market tomatoes as influenced by some postharvest handling procedures. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* **103**:6-13.

Kamatenesi-Mugisha M., Origa-Oryem H., (2007): Medicinal plants used to induce labour during childbirth in western Uganda. *Journal of Ethnopharmacology*, **109** :1-9.

Kassi, M.F., Tonzibo, F.Z., Salah, Z., Badou, J.O., Bolou, A.B.B., Camara, B., Amari, E., Kone, D., (2014) : Potentiel antifongique de l'huile essentielle de *Ocimum gratissimum* dans la lutte biologique contre la maladie des raies noires du bananier causée par *Mycosphaerella fijiensis* Morelet (Mycosphaerellaceae). *Agronomie Africaine* **26**: 127–136.

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.

Kays, S. J. (1991): Postharvest physiology and handling of perishable plant products: Van Nostrand Reinhold Inc.

Keita M.S., Vincent Charles., Schmidt J. P., Rammaswany S., Belanger A., (2000): Effect of various essential oils on *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of stored products Research.* **36:** 355-364.

Ketoh G.K., Glitho I.A. & Huignard J., (2002): Susceptibility of the bruchid *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae) and its parasitoid *Dinarmus basalis* (Hymenoptera: Pteromalidae) to three essential oils. *J. Econ. Entomol.*, **95:** 174-182.

Kiradoo M.M. & Srivastava M., (2010): A comparative study on the efficacy of two Lamiaceae plants on egg-laying performance by the pulse beetle *Callosobruchus chinensis* Linn. (Coleoptera: Bruchidae). *J. Biopestic.* **3:** 590-595.

Knee, M., (2002): Fruit Quality and Its Biological Basis; Sheffield Academic Press: Sheffield, UK, p. 279.

Koba K. (2003). Activités antimicrobiennes de différents chimiotypes d'huiles essentielles de quatre Lamiacées aromatiques de la flore togolaise vis-à-vis des germes représentatifs de la microflore cutanée. (Application à la formulation d'émulsions à usage topique). Thèse de Doctorat, Université de Lomé, Togo. 172p

Kobenan, K. C., Tia, V. E., Ochou, G. E. C., Kouakou, M., Bini, K. K. N., Dagnogo, M., (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.

Koffi, A. M., Tonzibo, Z. F., Delort, L., Ruiz, N., Caldefie-Chézet, L., and 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:**134–139.

Krishna K. L., Paridhavi M., Jagruti A. P., (2008): Review on nutritional, medicinal, and pharmacological properties of Papaya (*Carica papaya* Linn.). *Natural Product Radiance;***7:** 364-373.

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.

Lachachi S., (2010) : Organogénèse et embryogénèse somatique directe chez la tomate. Magister, UNIVERSITE D'ORAN, Algérie, 117 p.

Lafon A., (2022) : Feuilles jaunes des tomates : Voici la raison, {<https://deavita.fr/design-exterieur/jardin-amenagement/feuilles-jaunes-tomates-raison-remede-jardin-470073/>} consulté le 19 octobre 2022.

Lambeth V. N., Fields M. L., Huecker D. E., (1964): The Sugar-Acid Ratio of Selected Tomato Varieties, *research bulletin* 850, University of Missouri, 40 p.

Latha P., Anand T., Ragupathi N., Prakasam V., Samiyappan R., (2009): Antimicrobial activity of plant extracts and induction of systemic resistance in tomato plants by mixtures of PGPR strains and Zimmu leaf extract against *Alternaria solani*. *Biological Témoins*, **50** : 85–93

Laville E., (1994) : La protection des fruits tropicaux après récolte, CIRAD-COLEACP, Tec. & Doc Lavoisier, 190p.

LeBœuf J., Cuppels D., Dick J., Pitblado R., Løwen S., Celetti M., (2009) : Maladies bactériennes de la tomate : Tache bactérienne, moucheture bactérienne, chancre bactérien, fiche technique, {<http://omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/05070.htm#:~:text=Dans%20le%20cas%20des%20infections,%20l'intérieur%20du%20fruit>}.

Leng P., Zhiming Z., Guangtang P., Maojun Z., (2011) : Applications et tendances de développement des biopesticides. *Afr J Biotechnol* 10 : 19864-19873.

Lhie B., Grandgirard J., Wong M., (2014) : Le TYLCV : Virus des feuilles jaunes en cuillère de la tomate, Service du Développement Rural, Dpt de la Recherche Agronomique, BP 100 – 98713 Papeete Tahiti, 4 p.

Longa C.M.O., Savazzini F., Tosi S., Elad Y., and Pertot I., (2009): Evaluating the survival and environmental fate of the biotémoin agent *Trichoderma atroviride* SC1 in vineyards in northern Italy. *J. Appl. Microbiol.*, **106**: 1549-1557.

López A.F.; Gómez P.A. (2004): Comparison of color indexes for tomato ripening. *Hortic. Bras*, maraichères. 3ème Ed. INRA, Paris. **22**: 534–537.

Loro A. C., Botteon V. W., Spoto M. H. F., (2018): Quality parameters of tomatoes submitted to different doses of gamma radiation, *Braz. J. Food Technol.*, v. 21, 12 p.

Matsui K., Minami A., Hornung E., Shibata H., Kishimoto K., Ahnert V., Kindl H., Kajiwara T., Feussner I., (2006): Biosynthesis of fatty acid derived aldehydes is induced upon mechanical wounding and its products show fungicidal activities in cucumber. *Phytochemistry*, **67** : 649-657.

Mawussi G., (2008) : Bilan environnemental de l'utilisation de pesticides organochlorés dans les cultures de coton, café et cacao au Togo et recherche d'alternatives par l'évaluation du pouvoir insecticide d'extraits de plantes locales contre le scolyte du café (*Hypothenemus hampei* Ferrari). Thèse, université de Toulouse, France, 208 p.

McQuilken M. P., Gemmel J., Hill R. A., et Whipps J. M., (2003) : Production of macrospore A by the mycoparasite *Coniothyrium minitans*. *FEMS Microbiol. Lett.*, **2009** : 27-31.

Messiaen C. M., Blanchard D., Rouxel F., et Lafon R. (1993). Les maladies des plantes maraichères. Ed. *Institut nati. Rech. Agro.*, Paris, 568 p.

Mikanowski L. et Mikanowski P. (1999) : Tomate. Paris, *édition du chêne-Hachette*. 192p.

Ministère de l'agriculture et des ressources animales (MINAGRA) (1993) : Plan directeur du développement agricole 1992-2015. Ministère de l'agriculture, Abidjan, République de Côte d'Ivoire 257 pp.

Mochiah M., Banful B. & Fening K., (2011): Botanicals for the management of insect pests in organic vegetable production. *J. Entomol. Nematol.*, **3**: 85-97.

Mohr, F. B. M., Lermen, C., Gazim, Z. C., Gonçalves, J. E., and Alberton, O., (2017): Antifungal activity, yield, and composition of *Ocimum gratissimum* essential oil. *Genet. Mol. Res.* **16**:1–10.

Mondédji A.D. et al., Ketoh G. K., Amévoin K., Ameline A., Giordanengo P., and Glitho I. A., (2014a): Evaluation of neem leaves-based preparations as insecticidal agents against the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sternorrhyncha: Aphididae). *African Journal of Agricultural Research.*, **9**: 1086-1093.

Moneruzzaman K.M. Hossain A.B.M.S., Sain W., Saifuddin N. (2008): Effect of stages of maturity and ripening conditions on the biochemical characteristics of tomato. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, **4** : 329–335.

Montin A., Lègba C. E., Aglinglo A. L., Francisco A. R., Fassinou Hotègni V. N., Achigan-Dako G. E. (2018) : Fiche technique synthétique pour la production de la Papaye (*Carica papaya* L.). Laboratory of Genetics, Horticulture and Seed Science (GBioS), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Abomey-Calavi. ISBN 978-99919-78-51-2, Dépôt légal N°10671 du 06/09/18, Bibliothèque Nationale du Bénin, 3ième trimestre, 5p.

Mordue L. A. J., Morgan E. D., Nisbet A. J., (2005): Azadirachtin, a natural product in insect témoin. In : Gilbert LI, Iatrou K, Gill SS eds. *Comprehensive Molecular Insect Science*. Oxford, UK : *Elsevier*,117-35.

Mpoame M., Essomba L.I., (2000) : Essai de traitement contre les parasitoses gastro-intestinales du poulet avec des décoctions aqueuses de graines de papaye (*Carica papaya*). *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, **53**: 23–25

Mthembu, S. (2020): Evaluating the efficacy of formulations containing hexanal, moringa leaf extracts, and carboxy methylcellulose as postharvest treatments for fresh tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.), Master, University of KwaZulu-Natal, South Africa, 175 p.

Mugao G. L., (2015): tomato post-harvest spoilage, causes and use of selected botanical extracts in their management in mwea, kirinyaga county, Thesis, SCHOOL OF PURE AND APPLIED SCIENCES KENYATTA UNIVERSITY, 126p.

Ndabashinze R., (2017) : De la cendre pour conserver les tomates, {<https://www.iwacu-burundi.org/de-la-cendre-pour-conserver-les-tomates/>} consulté en 2021.

Nilofer N. M. et Chenthamarai G. (2020): Anti-fungal activity of *Carica papaya* leaf extract against *Candida albicans* and its synergy with fluconazole: an in-vitro study. *International Journal of Basic & Clinical Pharmacology*. Nilofer NMet al. **Int J Basic Clin Pharmacol.**; **10** :101-105.

Nirakar R., (2007): Biopesticides: an Economic Approach for Pest Management. *Orrissa Review*. Plant Protection, KVK, Rayagada, Gunupur .8p.

Obi V.I. & Barriuso-Vargas J.J., (2013): Effect of some botanicals on *Colletotrichum destructivum* O’Gara of cowpea. *Afr. J. Microbiol. Res.*, **7**: 4576-4581.

Oduola T., Adeniyi F., Ogunyemi E., Bello I., Idowu T., Subair H., (2007): Toxicity studies on an unripe *Carica papaya* aqueous extract: biochemical and hematological effects in Wistar albino rats. *Journal of Medicinal Plants Research*, **1**: 1-4.

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. *J. Stored Prod. Res.* **44**: 328-334.

Okigbo, R. N., (2005): Biological control of postharvest fungal rot of yam (*Dioscorea* spp.) with *Bacillus subtilis*. *Mycopathologia*. **159**:307–314.

Okigbo, R. N., and Ogonnaya, U. O., (2006): Antifungal effects of two tropical plant leaf extracts (*Ocimum gratissimum* and *Aframomum melegueta*) on postharvest yam (*Dioscorea* spp.) rot. *African Journal of Biotechnology*. **5**:727–731.

Okiror P., Lejju J.B., Bahati J., Rugunda G.K., Sebuuwufu I.C. (2017): Maturity indices for tomato (*Solanum lycopersicum* L.), cv. Ghalia 281 in Central Uganda. *African Journal of Agricultural Research*, **12** : 1196–1203.

Okon, U. A., Owo, D. U., Udokang, N. E., Udobang, J. A., and Ekpenyong, C. E., (2012): Oral Administration of Aqueous Leaf Extract of *Ocimum Gratissimum* Ameliorates Polyphagia, Polydipsia and Weight Loss in Streptozotocin-Induced Diabetic Rats. *AJMMS*. **2**:45–49.

Opara, U.L. et Pathare, P.B., (2014): Bruise damage measurement and analysis of fresh horticultural produce: A review *Postharvest Biol. Technol.* **91**: 9 – 24.

Oura R. K., (2012) : « Extension urbaine et protection naturelle : La difficile expérience d’Abidjan », *VertigO - la revue électronique en sciences de l’environnement*, Volume 12 Numéro 2 | septembre 2012, mis en ligne le 31 octobre 2012, URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/12966>, consulté en 2021.

- Oussou, K. R., Kanko, C., Guessend, N., Yolou, S., Dosso, M., N'Guessan, Y. T., (2004) :** Activités antibactériennes des huiles essentielles de trois plantes aromatiques de Côte-d'Ivoire. *Comptes Rendus Chimie*. **7** :1081–1086.
- Outani B. A., Kimba A., Madougou G., et Oumarou S., (2019) :** Note sur la noctuelle de la tomate (*Helicoverpa armigera*) pour la radio, Réseau National des Chambres d'Agriculture du Niger, 3 p
- 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.
- Paliyath, G., Murr, D.P., (2007).** Compositions for the Preservation of Fruit and Vegetables. US Patent # **7**: 198,811.
- Paliyath, G., Tiwari, K., Sitbone, C., Whitaker, B.D., (2012).** Biochemistry of fruit. In: Simpson, B.K., et, al. (Eds.), *Food Biochemistry and Food Processing*, 2nd ed. Wiley-Blackwell, Iowa, 533–553.
- Pandey, A. K., Singh, P., and 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.
- Pandey, S., (2017):** Antibacterial and antifungal activities of *ocimum gratissimum* L. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. **9**:26–31.
- Paranagama P. A., K. H. T. Abeysekera, K. Abeywickrama and L. Nugaliyadde. (2003): Fungicidal and anti-aflatoxigenic effects of the essential oil of *Cymbopogon citrates* (DC.) Stapf. (lemongrass) against *Aspergillus flavus* Link. Isolated from stored rice. Letter in Applied Microbio. **37**: 86 - 90
- Park et al., 2018)** Park, M. H., Sangwanangkul, P., & Bae, D. R. 2018. Changes in carotenoid and chlorophyll content of black tomatoes (*Lycopersicon esculentum* L.) during storage at various temperatures. *Saudi Journal of Biological Sciences*, **25**: 57-65.

Park M. H., Sangwanangkul P., & Bae D. R., (2018): Changes in carotenoid and chlorophyll content of black tomatoes (*Lycopersicon esculentum* L.) during storage at various temperatures. *Saudi Journal of Biological Sciences*, **25**: 57-65.

Pereira G. V. N., (2005): seleção para alto de açúcares de tomateiro e sua relação com a resistência ao acaro vermelho (*Tetranychus evansi*) e a traça (*Tuta absoluta*) tese apresentada a Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do programa de pós-graduação em Agronomia, área de concentração Genética e Melhoramentos de plantas, para a obtenção do título de « Doutor » 82 p.

Petro-Turza M., (1987): Flavor of tomato and tomato products. *Food Rev. Int.* **2**: 309-351.

Pinhero, R.G., Almquist, K.C., Novotna, Z., Paliyath, G., (2003). Developmental regulation of phospholipase D in tomato fruit. *Plant Physiol. Biochem.* **41** : 223–240.

PLANTNET (2022) : *Ocimum gratissimum* L. {<https://identify.plantnet.org/fr/the-plant-list/species/Ocimum%20gratissimum%20L./data>}, consulté en 2021

Polderdijk, J.J., L.M.M. Tijkskens, J.E. Robbers, and H.C.P.M. Van der Valk. (1993): Predictive model of keeping quality of tomatoes. *Postharvest Biology and Technology* **2**:179-185.

Prabhu, K. S., Lobo, R., Shirwaikar, A. A., and Shirwaikar, A. (2009): *Ocimum gratissimum: A Review of its Chemical, Pharmacological and Ethnomedicinal Properties.* *TOALTMEDJ.* **1**:1–15.

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.

Puri H.S., (1999): Neem the divine tree, *Azadiracta indica*. 1079 LH Amsterdam.

Ramel J.M. et Oudard E., (2008) : *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917), Eléments de reconnaissance. Fiche technique, L.N.P.V. et S.R.P.V. Avignon, 2p.

Regnault-Roger C., (2002) : De nouveaux phytoinsecticides pour le troisième millénaire In : Biopesticides d'origine végétales, *Ed Tec & doc.* Londres-Paris-New York. Pp : 19-39.

- 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*, 343–348.
- Rousseaux A., Seychal L., Sarthou J P., (2018) :** Lutte biologique par conservation : Définition. Dictionnaire d'Agroécologie, {<https://dicoagroecologie.fr/encyclopedie/lutte-biologique-par-conservation/>}. 2 p.
- Royer M. (2013).** Etude des relations entre croissance, concentrations en métabolites primaires et secondaires et disponibilité en ressources chez la tomate avec ou sans bioagresseurs. Thèse, Université de Lorraine, France, 158 p
- Saleem S., Muhammad G., Hussain M. A., Bukhari S. N. A., (2018):** A comprehensive review of phytochemical profile, bioactives for pharmaceuticals, and pharmacological attributes of *Azadirachta indica*. *PhytotherRes*; **32**: 1241-72.
- Salifou A., (2017) :** La noctuelle (*Helicoverpa Armigera*) : une menace sérieuse pour la culture de la tomate au Niger CSAN Niger, Vegnote, Vol. 1, 3 p.
- Sallets P. (2016) :** conservation des fruits et légumes, Biowallonie, Dossier, 15 p.
- Salunkhe D. K., Bolin H. R., Reddy N. R., (1991) :** Stockage, transformation et qualité nutritionnelle des fruits et légumes. *2e éd. Boca Raton* : CRC Press.
- Sangaré A., Koffi E., Akamou F., Fall C., (2009) :** État des ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture : second rapport national. In rapport national sur l'état des ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture. FAO-VIEWS, 65 p
- Saxena A., Kesari V. P., (2016):** Lack of genotoxic potential of pesticides, spinosad, imidacloprid and neem oil in mice (*Mus musculus*). *J Environ Biol*; **37**: 291-295.
- Schemutterer H. (1995):** The neem tree: *Azadirachta indica* A.Juss.and other meliaceous plants:sources of unique natural products for integrated pest management,medicine,industry,and other purposes.Weiheim;New York:VCH.
- Schmutterer H., (1990):** Properties and Potential of Natural Pesticides from the Neem Tree, *Azadirachta indica*. *Annual Review of Entomology*, **35** : 271-297

Semal, J., (1989) : Traité de pathologie végétale. Edition les Presses Agronomiques de Gembloux. 621 p.

Serio F., Ayala O., Bonasia A., Santamaria P., (2006): Antioxidant properties and health benefits of tomato. In Progress in Medicinal Plants—Search for Natural Drugs; Studium Press LLC: Houston, TX, USA, **13**: 159–179.

Serrano, M., Zapata, P.J., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Valero, D., (2008): post-harvest ripening of tomato. In: Preedy, V.R., Watson, R.R. (Eds.), Tomatoes and Tomato Products. *Oxford & IBH Publishing*, New Delhi, India, 67–84.

Shakya B. et Aryal H. P., (2021): A study on some fungal diseases on stored tomatoes of Kathmandu Valley. *Studies in Fungi*, **6**: 159–167.

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.

Somalwar A. R., Sande J. A. et Somalwar S., (2022): anti-dandruff potential of ethanolic extract of *carica papaya* leaves and its synergistic effects with ketoconazole, *World Journal of Pharmaceutical Research*, **11**: 1487-1501.

Song J., Leepipattanawit R., Beaudry R.M. (1996). Hexanal vapor is a natural, metabolizable fungicide: Inhibition of fungal activity and enhancement of aroma biosynthesis in apple slice. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **121**: 937–942.

Soro S., Abo K., Koné D., Coffi K., Kouadio J. Y. et Aké S. (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*, **3** : 43-52

Soro S., Doumbia M., Dao D., Andres T., & Girardin O., (2007) : Performance de six cultivars de tomates *Lycopersicon esculentum* Mills. contre la jaunisse en cuillère des feuilles, le flétrissement bactérien et les nématodes à galles. *Sciences & Nature*, **4**: 123 - 130

- Soro, S., Abo, K., Kone, D., Coffi, K., and 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.
- Srivastava M. & Raizada R., (2007)**: Lack of toxic effect of technical azadirachtin during postnatal development of rats. *Food Chem. Toxicol.*, **45**: 465-471.
- Stevens, M. A., Kader, A. A., Albright-Holton, M., Algazi, M., (1977)**: Genotypic variations for flavor and composition in fresh market tomatoes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. **102**: 680–689.
- Suárez et al. (2009) Suárez, J., M. Pérez, and A. Giménez. (2009)** : Efecto de la temperatura y estado de madurez sobre la calidad poscosecha de la fruta de guayaba (*Psidium guajava* L.) procedente de Mercabar, estado Lara, Venezuela. *Revista 60 UDO Agrícola* **9** : 60-69.
- Subramanian K., Sekar C., Suranee S., Vijaya L., Prakash. (2013)**. Recherche et changement. Réduction des pertes de mangue après récolte en Asie du Sud.
- Tay Z. H. et Chong K. P., (2016)**: The potential of papaya leaf extract in controlling *Ganoderma boninense* , International Conference on Chemical Engineering and Bioprocess Engineering, IOP Publishing, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science; 36; 012027, 8p.
- Thakore Y., (2006)**: The biopesticides market for global agricultural industrial biotechnology.**2**: 203-294.
- Tiessen, C., Ellmer, D., Mikula, H., Pahlke, G., Warth, B., Gehrke, H., & Marko, D. (2017)**: Impact of phase I metabolism on uptake, oxidative stress and genotoxicity of the emerging mycotoxin alternariol and its monomethyl ether in esophageal cells. *Archives of Toxicology*, **91**: 1213-26.
- Tigist M., Workneh T.S., Woldetsadik K. (2013)**: Effects of variety on the quality of tomato stored under ambient conditions. *Journal of Food Science and Technology*, **50**: 477–486.
- Tiwari, K., Paliyath, G. (2011)**: Microarray analysis of ripening-regulated gene expression

and its modulation by 1-MCP and hexanal. *Plant Physiology Biochemistry*, **49**: 329-340.

Tran, D.T., M.L. Hertog, T.L. Tran, N.T. Quyen, B. Van de Poel, C.I. Mata, and B.M. Nicolaï. (2017): Population modeling approach to optimize crop harvest strategy: The case of field tomato. *Front. Plant Sci.* **8** :608.

Tripathi P., and Dubey N. K., (2004): Exploitation of Natural Products as an Alternative Strategy to Témoin Postharvest Fungal Rotting of Fruit and Vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, **32**: 235-245.

Van Driesche, R.G., & Bellows, T. S. (1996): Biology of Arthropod Parasitoids and Predators. *In Biological Témoin*, Springer, Boston, 309–336.

van Lenteren, J.C., & Colazza, S., (2006): IOBC Newsletter 80. International Organization for Biological Témoin of Noxious Animals and Plants (IOBC).

Vincent, C., et Coderre, D., (1992) : La lutte biologique. Gaëtan Morin, Québec, Canada.

Williamson B., Tudzynski B., Tudzynski P. & Van Kan JAL., (2007). *Botrytis cinerea*: the cause of grey mould disease. *Molecular Plant Pathology*. 580p.

Winkler, K., (2005) : Évaluation des risques et des avantages des bordures de champs fleuris : utilisation stratégique des sources de nectar pour renforcer la lutte biologique. Thèse, Université de Wageningen, Laboratoire d'Entomologie, Pays-Bas, 118 p.

Wu, G. et Wang, C. (2014): Investigating the Effects of Simulated Transport Vibration on Tomato Tissue Damage Based on Vis/Nir Spectroscopy. *Postharvest Biol. Technol.* **98**: 41–47.

Yan, Y., Bornscheuer, U. T., Stadler, G., Lutz-Wahl, S., Reuss, M. & Schmid, R. D., (2001): Production of sugar fatty acid esters by enzymatic esterification in a stirred-tank membrane reactor: optimization of parameters by response surface methodology. *Journal of the American Oil Chemists' Society.* **78**: 47–53.

Yarou B.B., Silvie P., KomLan A.F., Mensah A., Alabi T., Verheggen F. et Francis F., (2017) : « Plantes pesticides et protection des cultures maraichères en Afrique de l'Ouest (synthèse bibliographique) », *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, **21** : 288-304.

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.

ANNEXES

“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*)

Amenan Fanny Akpo^{1,2,3,4*}; Yardjouma Silué^{1,2,3,4*}; Charlemagne Nindjin^{2,4}; Kohi Alfred Kouamé^{2,4}; Kablan Tano^{4,5}; Fabrice Achille Tetchi^{4,5}; Georges N’Guessan Amani^{4,5}, Felicie Lopez-Lauri^{1,3,5}.

¹Avignon Université, F-84916 Avignon, France

²Centre Suisse de Recherche Scientifique en Côte d’Ivoire ;

³Qualisud, Univ Montpellier, CIRAD, Univ d’Avignon, Institut Agro, IRD, Univ de La Réunion, F-34398, Montpellier, France

⁴Université Nangui Abrogoua, Côte d’Ivoire ;

⁵co-authors have jointly supervised the work

(*) corresponding author

E-mail address of corresponding author: fannyakpo01@gmail.com, 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 research 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*.

Keywords: *Ocimum gratissimum* L, antifungal activity, phytopathogenic fungi

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 and insects (Alexander 2016; Dubey *et al.* 2002; Okigbo and Ogbonnaya 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 (Pandey 2017); mineral deficiency (K^+ and Ca^{2+}) and 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 and 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 and 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 essential oil, have considerable 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 *Ocimum 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.

Material and methods

2.1 Plant material

Leaves of *Ocimum gratissimum* L. were collected fresh from Dabou located on the outskirts of Abidjan, Ivory Coast, and for taxonomic identification, sent to the Botanical Laboratory, Department of Natural Sciences, Nangui Abrogoua University. The essential oil of *O. gratissimum* L., was purchased from Myrtea (Berzet, France).

2.2 Fungal material

The *Colletotrichum gloeosporioides* (Strain Nurc-MG01) and *Fusarium oxysporum* strains were provided by UMR Qualisud (Montpellier, France). The strain BC1 of *Botrytis cinerae* was obtained from INRAE (Avignon, France). Each fungus was maintained on Potato-Dextrose-Agar (PDA) medium at 4 °C until the use.

2.3 Preparation of *Ocimum gratissimum* crude extract

The *Ocimum gratissimum* leaves were thoroughly washed using tap water and air-dried under shade between 16 °C and 18 °C for 7 days. Dried leaf samples were ground using an electronic grinder into powdered form. Then placed and sealed in polyethylene bags, and brought to the UMR Qualisud laboratory, (Avignon University, France). Powder samples were stored at 4 °C

until their further use. To prepare *O.gratissimum* extracts, 100 g of powered leaves were incubated with 1000L of water to give a concentration of 10% (w/v). The mixture was autoclaved at 121 °C for 20 min. After cooling, the extract was filtered through four layers of sterile cheesecloth. Then, the filtrate was filtered again through Whatman filter paper n°1. The filtrate obtained (OGE for *Ocimum gratissimum* extract) was stored at 4°C until further analysis.

2.4 Preparation of the fungal suspension

All fungi strains were cultured (grown) on PDA plates at 25°C in the dark for 7-14 days. For each fungus, the spores were collected by flooding the fungi surface of 7-day old culture with physiological serum (Babysoin, Laboratoire Cooper). Each suspension was vortexed to dissociate cell mass and was filtered through a 30 µm mesh sterile filter to remove mycelium fragments. Homogeneity of cell dispersion and absence of mycelium were checked and the spore counting was carried out. The spore suspensions were adjusted to 10⁶ cells/mL with physiological serum using a haemocytometer.

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 0 %, 30%, 40%, 50%, 60% and 70% (v/v) were prepared as follows: respective volumes of 0 mL, 30 mL, 40 mL, 50 mL, 60 mL et 70 mL of *O. gratissimum* extract were incorporated in 100 mL, 70 mL, 60 mL, 50 mL, 40 mL, and 30 mL PDA medium to obtain a final volume (extract + PDA medium) of 100 mL. For essential oil bio assays, to have concentrations of 0; 62; 125; 250, 500 and 750 ppm, different quantities of essential oil were mixed with a PDA medium to which 175 µL of Tween 80 was appended to ease oil diffusion. Then the mixture was stirred manually to have a homogenized medium. 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, approximately 20 mL of the hot mixture (45-50 °C) was poured into sterile Petri dish under an extractor hood (0.42 m/s). After solidification, 5 µL of fungal suspension (10⁶ cells/mL) was aseptically deposited into the centre of each Petri dish with sterilised zone treatments using a Bunsen burner. 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.

2.6 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 μL suspension (8.10^6 spores/mL) of each fungus was added separately to 95 μL 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.

2.7 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's adjustment for multiple comparisons was used to determine differences ($P \leq 0.05$) among means. Statistical analysis was performed using RStudio software.

Results and discussion

Post-harvest diseases control using plant extracts is a promising alternative method for post-harvest product management and ensures the One Health Approach (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.

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 high 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; 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).

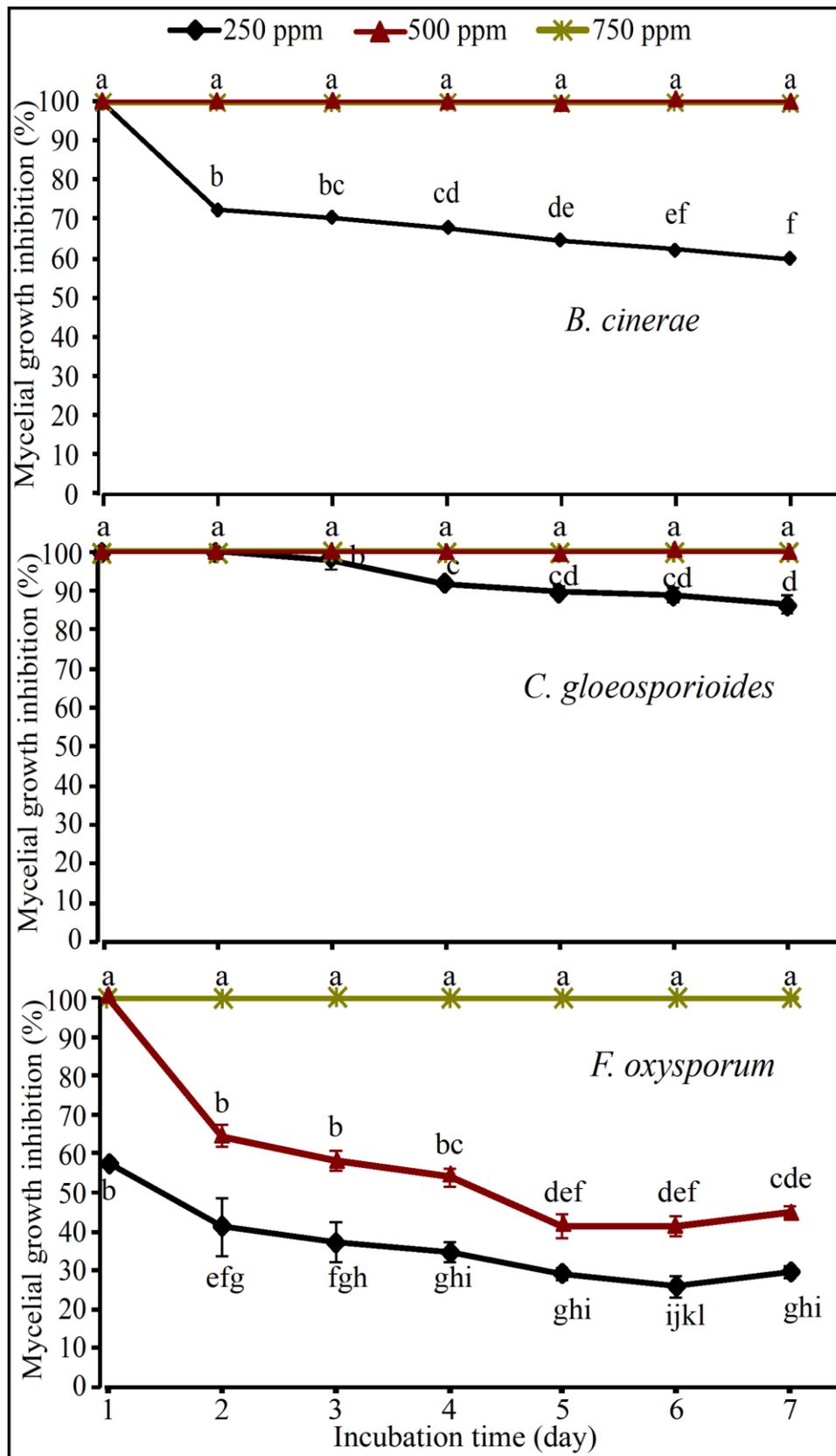


Fig. 1: Antifungal activity of *Ocimum gratissimum* L. essential oil on the mycelial growth of *B. cinerea*, *C. gloeosporioides* and *F. oxysporum* during incubation. Different letters indicate a significant difference at $P < 0.05$

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).

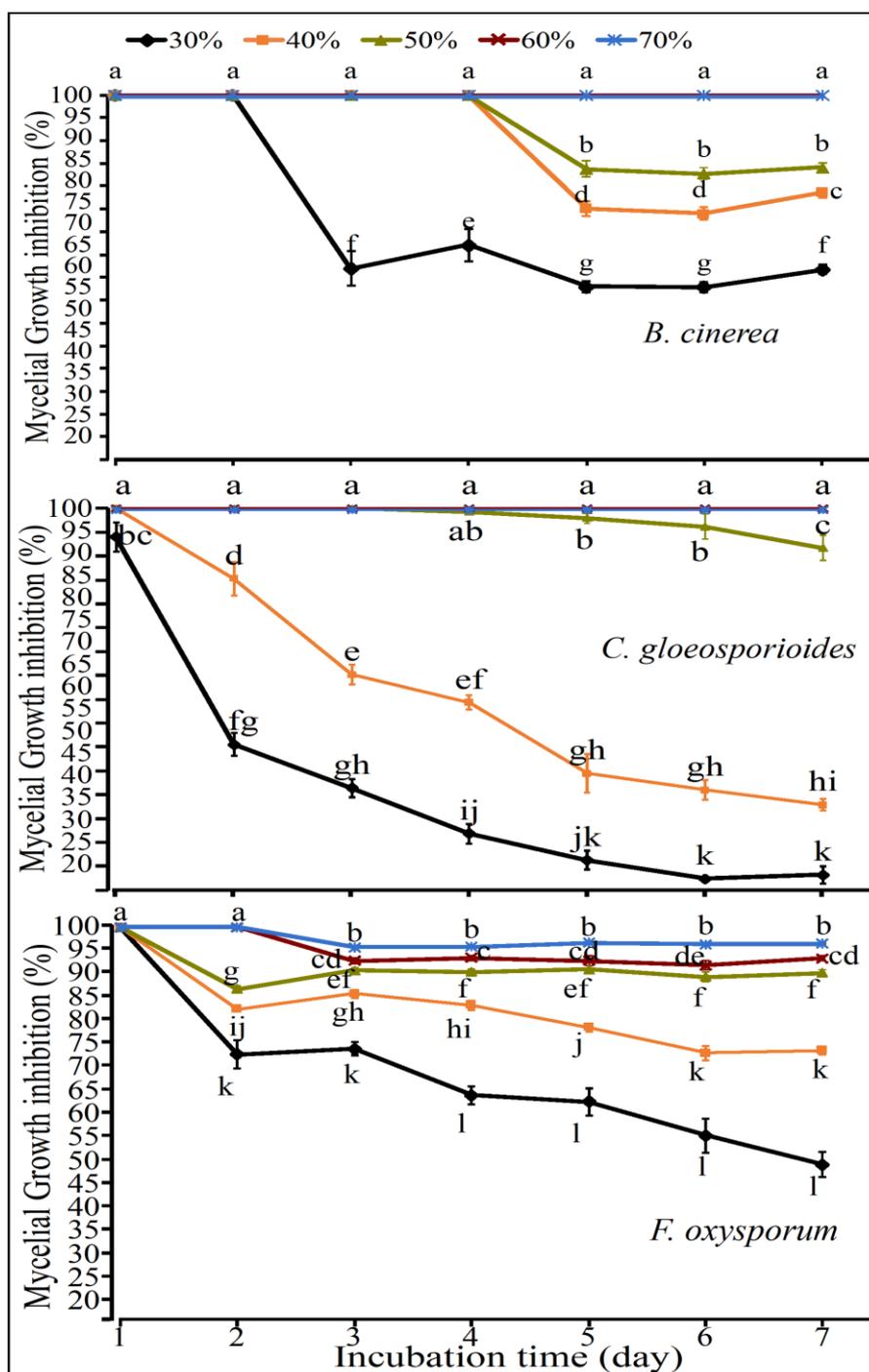


Fig. 2: Antifungal activity of aqueous extract of *Ocimum gratissimum* L. on the mycelial growth of *B. cinerea*, *C. gloeosporioides* and *F. oxysporum* during incubation. Different letters indicate a significant difference at $P < 0.05$.

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 aqueous extract.

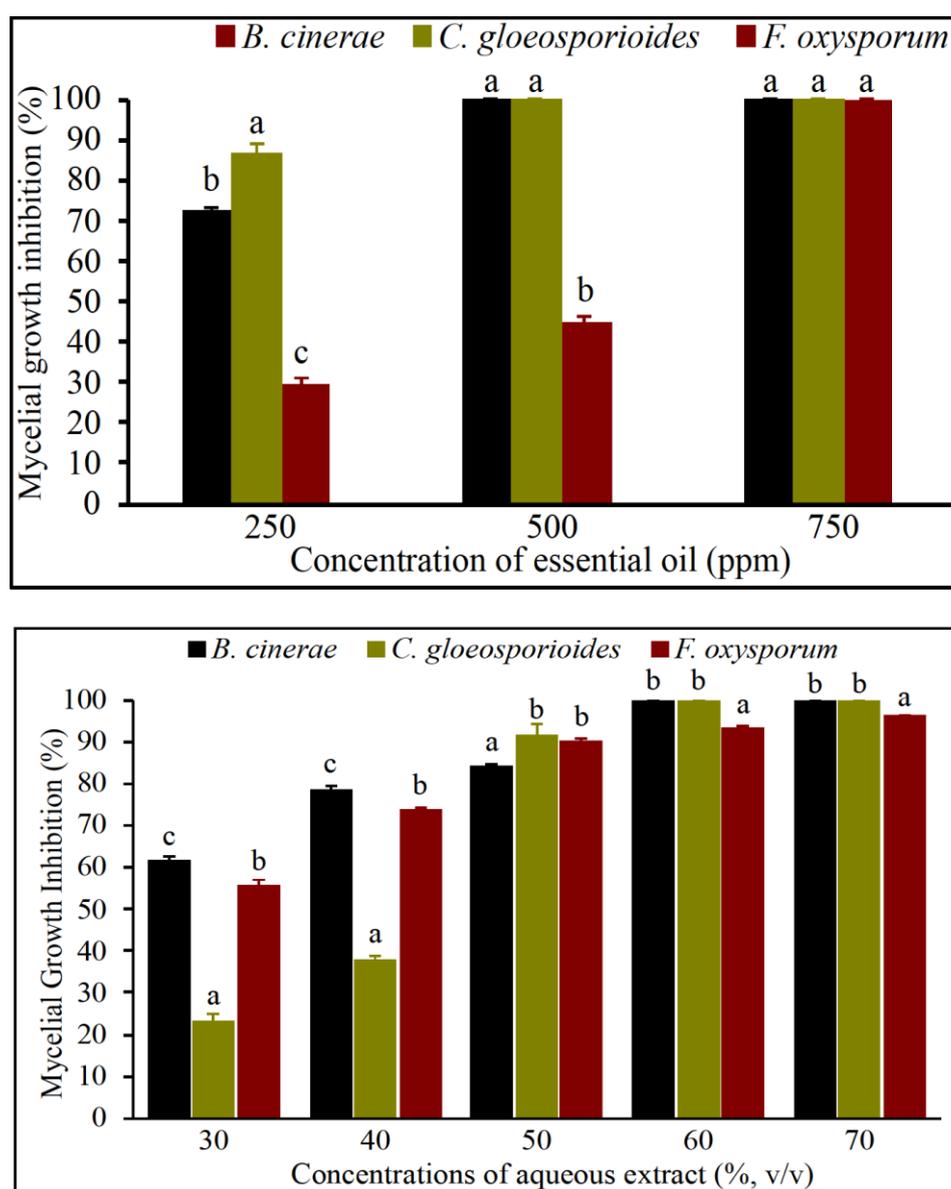


Fig. 3: Sensitivity of the three pathogens to essential oil and aqueous extract of *Ocimum gratissimum* L after seven days of incubation. Different letters indicate a significant difference at $P < 0.05$

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 authors 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 Ivory Coast. 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.

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 suggests that *O. gratissimum* L. essential oil could be as a fungicide at a concentration of 750 ppm. For *Botrytis cinerea* and *Fusarium oxysporum*, during the first days (6h and 24h), no germination was observed. 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 %).

1

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

		<i>Pathogens</i>																			
		<i>Botrytis cinerae</i>								<i>Fusarium oxysporum</i>											
Plant extracts	Dose	6h				24h				48h				72h				6h			
Aqueous extract (% v/v)	30	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	26,32±9,12bc	
	40	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	
	50	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	83.6±3.6b	100a	100a	100a	100a	100a	
	60	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	87.6±2.7b
	70	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a
Essential oil (ppm)	250	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	83,40±3,79b
	500	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a
	750	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a

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

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 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*).

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge the contribution of UMR Qualisud (Montpellier, France) and INRAE (Avignon, France) for provided fungus of this study.

Author Contribution

Amenan Fanny Akpo: methodology, manipulation, data analysis, writing-review; Yardjouma Silue: methodology, manipulation, data analysis, writing-review. Charlemagne Nindjin: supervision, review; Kohi Alfred Kouamé: supervision, review; Kablan Tano: supervision, review; Fabrice Achille Tetchi: supervision, review; Georges N'Guessan Amani: supervision, review; Felicie Lopez-Lauri: supervision, review.

Conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

Funding

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).

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., Macarasin, 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., & Mukiama, 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., & Ogbonnaya, 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. *Radiciis-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>

Résumé

La production de la tomate est confrontée en Côte d'Ivoire à de nombreuses contraintes. La conservation post-récolte de la tomate dans les pays du sud est un verrou non négligeable qu'il est nécessaire de lever. La présente étude a été menée dans l'optique de développer et proposer aux opérateurs de la filière tomate des techniques de conservation innovantes et adaptées à leur contexte de production. La méthodologie a été basée sur l'application du froid, d'un traitement à base d'hexanal et d'un antifongique naturel. L'étude a permis de montrer le pouvoir antifongique de la plante *Ocimum gratissimum* L. sur plusieurs pathogènes de la tomate. L'huile essentielle à une concentration de 750 ppm a permis d'inhiber à 100 % la croissance de *Fusarium*, *Alternaria* et *Botrytis*. La décoction de cette même plante a inhibé la croissance fongique à plus de 90 %. Concernant les conditions post-récoltes, les résultats ont montré que le stade de récolte approprié pour la conservation de la tomate avec les différents traitements est le stade Breaker. En effet, c'est ce stade qui présente la longue durée de conservation. Le traitement post-récolte des fruits de tomates avec une solution à base d'hexanal et d'une combinaison d'hexanal et de *O. gratissimum* L n'ont pas permis de contrôler les pourritures durant la conservation des tomates. Cependant, il est à noter que les paramètres de qualité des tomates n'ont pas été affectés en comparaison avec celles qui ont muries en plein champ. Des formulations à base d'*Ocimum gratissimum* ont également été testées en pré récolte contre l'alternariose dont nous avons montré la forte présence dans les cultures. Les résultats in situ et in planta ont montré un ralentissement du développement de la maladie en curatif et une absence totale lorsqu'elle est appliquée en préventif sur les plants de tomates. De ce fait, la tisane de *Ocimum* peut être utilisée en traitement préventif sur les plants de tomates. De cette étude il ressort que l'application de traitements post-récoltes sont peu efficace et qu'une alternative est de traiter dès le champ, les plants de tomates à base de tisane de *Ocimum* en prévention de l'alternariose. L'abaissement fongique de la charge des fruits en pathogène pourra contribuer à limiter les pertes post récolte.

Mots clés : Hexanal, paramètre de qualité, *Ocimum gratissimum*, post- récolte, maladies de la tomate